

На правах рукописи

Урицкая Ольга Юрьевна

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИЗИСОВ НА ОСНОВЕ
ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ВАЛЮТНЫХ КУРСОВ**

Специальность 08.00.13. – математические и
инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2004

Работа выполнена на кафедре "Информационные системы в экономике и менеджменте" Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

Научный руководитель: доктор экономических наук,
профессор Кузин Борис Иванович

Официальные оппоненты: доктор экономических наук,
профессор Медников Михаил Дмитриевич

кандидат экономических наук,
доцент Монахов Андрей Васильевич

Ведущая организация Санкт-Петербургский государственный
университет экономики и финансов

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 2004 г. в ____ час. ____ мин.
на заседании диссертационного совета Д 212.229.23 при ГОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет по адресу:
195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., дом 29, Ш учебный корпус,
ауд. ____.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат экономических наук, доцент

Сулоева С.Б.

Актуальность темы исследования

В условиях открытого рынка и глобализации стабильное функционирование национальной экономики каждого государства затрагивает интересы всего мирового сообщества и, в свою очередь, зависит от устойчивости международной экономической системы. Поэтому прогнозирование и количественное описание критических состояний открытых макроэкономических систем является одной из важных задач экономической математики, от успеха решения которых зависит своевременность принятия решений при планировании и антикризисном управлении, гибкость финансового регулирования и возможность предупреждения широкомасштабных экономических кризисов.

Одним из наиболее универсальных и объективных показателей состояния экономической системы любого государства является цена ее денежной единицы на международном рынке – курс национальной валюты, который может служить как индикатором развития экономики страны, так и объектом целенаправленного государственного управления. Плавающие валютные курсы являются результатом самоподстройки стоимости валюты к состоянию национальной экономики и международной конъюнктуре. Такой механизм определения обменного курса валюты, принятый многими государствами, дает возможность анализа состояния макроэкономических систем на основе изучения валютных временных рядов, содержащих информацию о равновесии валютного рынка и экономики в целом.

В общем случае математический анализ валютных кризисов, как частного случая экономических кризисов, должен учитывать всю совокупность факторов, влияющих на изменения валютного курса. Курс валюты определяется банковско-финансовыми механизмами как внутри страны, так и за ее пределами, и испытывает непрерывное влияние со стороны международных валютных спекуляций. В результате взаимодействия этих процессов возникает сложная картина валютной динамики, устойчивость которой имеет принципиально неравновесную природу и требует использования новых методов анализа, ориентированных не на оценку средних значений параметров состояния, а на определение условий сохранения ожидаемого динамического режима функционирования валютной системы.

Объектом исследования являются национальные валютные системы стран, придерживающихся модели плавающего курса.

Предметом исследования является нестационарная динамика среднесуточных значений курсов национальных валют, включающая устойчивые, предкризисные и посткризисные периоды.

В качестве **эмпирической базы исследований** использованы ежедневные среднесуточные данные межбанковских обменных валютных курсов стран, придерживающихся модели плавающего обменного курса, за период 1973-2003 гг.

Целью работы является разработка и обоснование модели прогноза численных характеристик острой фазы валютного кризиса на основе фрактального анализа временных рядов плавающих обменных курсов.

Задачи исследования

1. Теоретическое обоснование применимости методов фрактального анализа для определения количественных признаков динамической устойчивости макроэкономических систем и выявления закономерностей возникновения и развития финансовых кризисов.

2. Разработка методики фрактальной оценки эффективности валютного рынка; создание пакета прикладных программ для вычисления фрактальной размерности валютных временных рядов с учетом нестационарной динамики волатильности.

3. Определение информативного диапазона временных масштабов валютной динамики и границ устойчивости макроэкономической системы в пространстве значений волатильности и фрактальной размерности валютных флуктуаций.

4. Классификация видов нарушения эффективного состояния валютных рынков по данным фрактального анализа валютных временных рядов. Выявление и сопоставление характерных признаков предкризисной динамики обменных курсов.

5. Определение количественных критериев нарушения гомеостатической устойчивости национальных валютных систем на основе нестационарной фрактальной оценки эффективности валютных рынков.

6. Анализ влияния снижения эффективности валютного рынка на динамику развития кризиса в макроэкономической системе и построение на этой основе фрактальной регрессионной модели прогноза характеристик активной фазы валютного кризиса.

Теоретическая и методологическая основа работы

Развиваемые в настоящем исследовании положения базируются на фундаментальных выводах теории информационно эффективных финансовых рынков, теории рациональных ожиданий и теории самоорганизованной критичности. При разработке методики количественного оценивания эффективности валютного рынка использованы современные представления макроэкономики (А.П. Градов, М.Д. Медников, А.В. Монахов), экономико-математического моделирования (Б.И. Кузин, Д.В. Соколов), финансовой математики (В.В. Глухов, Э.А. Козловская), прикладной теории фракталов (П. Бак, Б. Мандельброт) и экономической статистики (Э.Петерс). При разработке методики оценки устойчивости нашли применение следующие математические методы: метод оценки фрактальной размерности экономического временного ряда по алгоритму С.-К. Пенга; методы определения волатильности на основе логарифмических приращений обменного курса; метод исследования динамики нестационарных колебаний фрактальных показателей с применением скользящего окна.

Научная значимость и новизна результатов

1. Впервые предложена, разработана и апробирована методика определения гомеостатической устойчивости макроэкономической системы, основанная на фрактальном анализе нестационарной динамики плавающих валютных курсов и интерпретации его результатов в рамках теорий самоорганизованной критичности и эффективного рынка.

2. Доказано существование нестационарных колебаний фрактальной размерности валютных временных рядов. Определены диапазоны нормальных колебаний размерности и нижняя критическая граница интенсивности флуктуаций, за пределами которых макроэкономическая система переходит в функционально неустойчивое состояние, приводящее к кризису.

3. Построена регрессионная модель, позволяющая прогнозировать размах флуктуаций плавающего валютного курса, длительность периода неуправляемой девальвации и максимальный ущерб от падения курса в активной фазе макроэкономического кризиса.

4. Разработана методика мониторинга устойчивости неравновесной макроэкономической системы и построения долгосрочного прогноза ее развития, позволяющая получать оперативную информацию по принятию решений, направленных на предотвращение экономических кризисов, разработку обоснованных стратегий антикризисного управления и формирование гибкой политики управления неравновесными процессами в открытой экономике.

Практическая значимость результатов

Построенная в настоящем исследовании модель прогноза валютного кризиса ориентирована на практическое использование в рамках мониторинга устойчивости открытых макроэкономических систем, нацелена на выработку рекомендаций по предотвращению кризисных событий в экономике и реализована в виде пакета готовых к внедрению прикладных компьютерных программ.

Предложенная и обоснованная в работе методика оценки динамической устойчивости может быть применена к исследованию текущего состояния, анализу и прогнозированию предкризисных и послекризисных состояний широкого круга экономических систем, динамика которых представлена в виде фрактальных временных рядов.

Результаты, полученные в работе, имеют практическое значение с точки зрения совершенствования учебных курсов по дисциплинам "Теория принятия решений и управление рисками" и "Моделирование макроэкономических процессов".

Апробация результатов работы

Основные результаты были опубликованы в 11 печатных работах; представлены на IV Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (Санкт-Петербург, 2001); III Международной конференции "Применение физических методов в финансовом анализе" (Лондон, 2001); I Международном симпозиуме по флуктуациям и шуму в сложных системах и

стохастической динамике (Санта-Фе, США, 2003); на Международной научной школе "Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах" (Санкт-Петербург, 2003). Результаты доложены на научных семинарах факультета экономики и менеджмента государственного политехнического университета (Санкт-Петербург, 1997–2002), отдела нелинейной динамики сложных систем и группы экономической физики университета штата Мэриленд (США, 1999-2001) и на заседании Международной экономической школы (Колледж Парк, США, 2001).

Материалы и результаты исследований были приняты в программу подготовки специалистов по специальности "Государственное и муниципальное управление" и включены в курсы лекций по дисциплинам "Основы теории экономического риска" и "Теория принятия решений".

Программная реализация использованных в работе алгоритмов оценки фрактальной размерности экономических временных рядов положена в основу учебной компьютерной игры "Принятие решений на валютной бирже", включенной в программу обучения указанной специальности.

Методика определения устойчивости по фрактальной размерности временных рядов была успешно апробирована на статистическом материале налоговых поступлений в административные районы Санкт-Петербурга.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 145 страниц машинописного текста, 28 рисунков, 5 таблицы, библиографию из 123 наименований и 3 приложения.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи, научная новизна полученных результатов, кратко изложен ход исследований.

В первой главе на основе анализа выработанных к настоящему времени подходов к изучению динамической устойчивости макроэкономических систем решается задача определения количественных критериев стабильной и предкризисной динамики экономических систем по нарушению фрактальной структуры флуктуаций параметров их состояния.

Вторая глава содержит основные результаты фрактального анализа валютных временных рядов в странах с разным уровнем экономического развития и макроэкономической устойчивости. На основе нестационарных оценок фрактального индекса Пенга проведена классификация валютных временных рядов по уровню гомеостатической устойчивости.

Третья глава посвящена установлению оптимального диапазона значений волатильности валютных флуктуаций и выработке критериев эффективного устойчивого состояния валютного рынка. Полученные данные обобщены в форме диаграмм устойчивости, позволяющих идентифицировать устойчивые, условно устойчивые и предкризисные состояния национальных макроэкономических систем.

В четвертой главе исследуется влияние предкризисного нарушения фрактальной структуры временного ряда на численные характеристики

активной фазы экономического кризиса. На основе выявленных закономерностей построена регрессионная модель прогноза параметров экономического кризиса.

В заключении излагаются результаты и выводы проведенного исследования.

Результаты исследования, выносимые на защиту

1. Классификация состояния экономик по уровню гомеостатической устойчивости, основанная на зависимости между потерей устойчивости макроэкономической системы и нарушением условия информационной эффективности валютного рынка, выраженным в отклонении фрактальной размерности от значения 1.5.

Теория информационной эффективности финансовых рынков, теория рациональных ожиданий и теория самоорганизованной критичности, фундаментальные выводы которых использованы в диссертационном исследовании, разработаны в рамках гомеостатического представления об устойчивости экономических систем. Гомеостатическая устойчивость проявляется в способности системы сохранять намеченный режим функционирования несмотря на внешние и внутренние возмущения, выводящие ее из равновесия.

Нарушение гомеостатической устойчивости экономической системы приводит к критическим и кризисным событиям – резким изменениям значений наблюдаемых переменных и состояния системы в целом при плавном изменении управляющих параметров. Критические события обратимы и служат одним из движущих факторов развития открытой экономической системы, являясь необходимым условием ее стабильного функционирования на длительных интервалах времени. Кризисные события, напротив, необратимы и приводят к потере экономического равновесия, что сопровождается глубокой перестройкой поведения системы и ломкой сложившихся тенденций ее развития (Р. Манделл).

К настоящему времени установлено, что временные ряды интегральных параметров макроэкономической системы, отражающие ее гомеостатическую динамику на разных масштабах времени, обладают масштабно-инвариантной иерархически организованной структурой, характерной для случайных фракталов. Абсолютные величины приращений фрактального временного ряда $x(t)$ подчиняются соотношению

$$\langle |x(t + \Delta t) - x(t)| \rangle = \frac{1}{r^H} \langle |x(t + r\Delta t) - x(t)| \rangle, \quad (1)$$

выполняемому для всех значений $r > 0$ в пределах диапазона фрактального поведения ряда. Траектория такого ряда обладает дробной размерностью Хаусдорфа-Безиковича $D = 2 - H$, лежащей в пределах от 1 до 2. Величина C

автокорреляций для последовательности приращений фрактального ряда рассчитывается как

$$C = 2^{2H-1} - 1, \quad (2)$$

Таким образом, при $H=0.5$ ($D=1.5$) автокорреляции равны нулю, и приращения статистически независимы, что согласно теории эффективного рынка соответствует условию информационной эффективности и оптимальной самоорганизации рынков открытой макроэкономической системы в окрестности точки равновесия спроса и предложения.

На основе исследования фрактальной динамики среднесуточных значений плавающих обменных курсов 31 валюты за период с 1973 по 2003 гг. была обнаружена зависимость между нарушением динамической устойчивости и отклонением фрактальной размерности валютных флуктуаций от оптимального значения $D=1.5$, дающая возможность классификации макроэкономических систем по уровню гомеостатической устойчивости.

Для оценки размерности временных рядов использовался устойчивый к инфляционным трендам алгоритм, основанный на вычислении функции (С.–К. Пенг, 1995)

$$F_t(\tau) = \sqrt{\frac{1}{(\tau+1)(T-\tau+1)} \sum_{k=t-T}^{t-\tau} \left(\sum_{i=k}^{k+\tau} (y_i - [a(i, i+\tau) + b(i, i+\tau) \times i]) \right)^2}, \quad (3)$$

где τ – временной масштаб, t – крайняя правая точка исследуемого временного интервала, T – его ширина, $a(t_1, t_2)$ и $b(t_1, t_2)$ – коэффициенты линейной регрессионной модели временного ряда накопленных отклонений

$$y_i = \sum_{k=t-T}^i \left(x_k - \frac{1}{T+1} \sum_{m=t-T}^t x_m \right), \quad t-T \leq i \leq t, \quad (4)$$

на интервале времени $[t_1, t_2]$. Для фрактальных рядов, описываемых соотношением (1), функция (3) имеет степенную зависимость от масштаба

$$F \sim \tau^\alpha, \quad (5)$$

которая используется для определения фрактального индекса α , связанного с фрактальной размерностью соотношением $\alpha = 3 - D$. С помощью формул (3)-(5) были определены информативные диапазоны временных масштабов, отражающие краткосрочные ($\tau = 4-30$ суток, индекс α_1) и долгосрочные ($\tau = 30-90$ суток, индекс α_2) тенденции в нарушении информационной эффективности валютных рынков. Разработана методика нестационарного определения значений α_1 и α_2 в скользящем окне шириной 360 суток и сдвигом 30 суток, позволившая провести классификацию фрактальной структуры валютных временных рядов и выделить на этой основе группы стран с высоким и низким уровнем эффективности валютных рынков, совпавшие с группами стран с высокой и низкой гомеостатической устойчивостью (рис. 1).

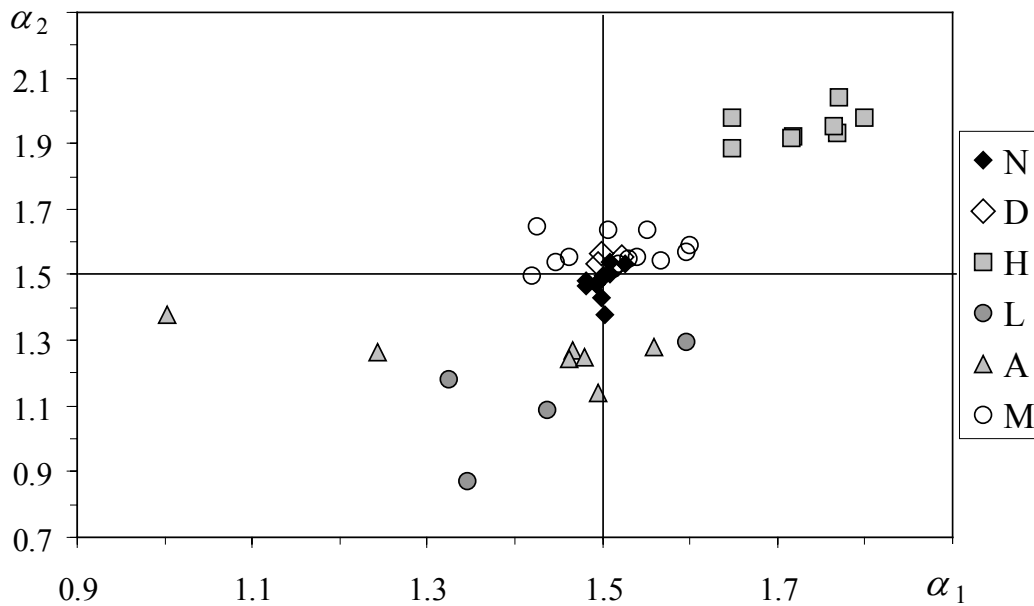


Рис. 1. Классификация валютных временных рядов на основе оценки фрактальных индексов α_1 ($\tau=4-30$ суток) и α_2 ($\tau=30-90$ суток). Условие $\alpha_1=\alpha_2=1.5$ соответствует эффективному состоянию валютных рынков и их максимальной динамической устойчивости. Обозначения групп в таблице 1.

Таблица 1. Классификация валют по группам устойчивости

	Характер динамики	Характеристика фрактальной структуры	Макроэкономическая характеристика
N	бескризисная, устойчивая	нормальные значения фрактальных индексов $\alpha_1=1.500\pm 0.009$, $\alpha_2=1.479\pm 0.031$	экономически развитые страны: Великобритания, Греция, ЕС, Канада, Новая Зеландия, Норвегия, США, Швеция, Япония, Австралия,
D	бескризисная, относительно устойчивая	незначительные отклонения от нормы $\alpha_1=1.505\pm 0.038$, $\alpha_2=1.550\pm 0.055$	развивающиеся страны, не перенесшие кризис: Израиль, Колумбия, Чили, ЮАР
H	предкризисная, неустойчивая	повышенные (H) значения α_1 и α_2 $\alpha_1=1.729\pm 0.048^*$, $\alpha_2=1.952\pm 0.041^*$	страны в период перед экономическим кризисом: Болгария, Бразилия, Индия, Казахстан, Мексика, Россия, Румыния, Турция, Эквадор
L		пониженные (L) значения α_2 $\alpha_1=1.426\pm 0.226$, $\alpha_2=1.109\pm 0.333^*$	
A	предкризисная, неустойчивая	пониженные значения α_2 $\alpha_1=1.387\pm 0.181$, $\alpha_2=1.261\pm 0.064^*$	развивающиеся азиатские страны перед кризисом 1997 года: Индонезия, Малайзия, Сингапур, Таиланд, Тайвань, Филиппины, Южная Корея
M	посткризисная	нормализация значений фрактальных индексов $\alpha_1=1.513\pm 0.038$, $\alpha_2=1.567\pm 0.032^*$	страны групп H, L и A после кризиса

* достоверные отличия от группы N ($p<0.05$)

Согласно полученным данным, устойчивые валюты развитых стран (группа N) характеризуются наиболее стабильной и однородной фрактальной структурой. Их фрактальная размерность остается практически постоянной в широком диапазоне временных масштабов, на что указывает равенство индексов α_1 и α_2 , средние величины которых сходятся к значению, характерному для эффективных рыночных систем (табл.1). Нестационарные колебания фрактальных индексов обладают многомасштабной структурой, не зависящей от периода наблюдений, и симметричны относительно уровня 1.5.

При анализе временных рядов обменных курсов развивающихся стран с неустойчивыми валютными системами (группы H, L, A) были выявлены различные формы нарушения фрактальной структуры в предкризисные периоды, причем наиболее информативным оказался индекс α_2 . Обнаружено, что валютному кризису могут предшествовать как аномально низкие, так и аномально высокие значения индекса, указывающие на значительное снижение динамической устойчивости, которая в посткризисный период, как правило, восстанавливается до нормы.

Установленные зависимости интерпретированы как проявление нарушений условий самоорганизации и гомеостатической устойчивости при формировании предкризисных состояний макроэкономических систем и положены в основу методики обнаружения неустойчивых режимов экономического развития.

2. Границы нормального диапазона колебаний фрактальной размерности и волатильности среднесуточных значений обменного курса, выход из которого сопровождается формированием предкризисных режимов функционирования макроэкономической системы.

На основе сопоставления временных рядов обменных курсов развитых и развивающихся стран были изучены закономерности нестационарного поведения фрактальной структуры валютных флуктуаций в периоды устойчивой и неустойчивой макроэкономической динамики.

При анализе колебаний индекса α_2 (ширина скользящего окна 360 суток, шаг 1 сутки) эмпирически определены нижняя и верхняя границы диапазона значений, отвечающего условию устойчивой бескризисной динамики (соответственно $\alpha_2=1.25$ и $\alpha_2=1.75$). Установлено, что при искажении фрактальной структуры валютных флуктуаций, сопровождаемом продолжительным выходом индекса за эти границы, открытая экономическая система входит в нестабильное критическое состояние. В отсутствие адекватных мер по восстановлению устойчивости это состояние, как правило, заканчивается крупномасштабным кризисом.

Наличие критической границы устойчивости было обнаружено также при анализе амплитуды валютных флуктуаций. С этой целью рассмотрены две характеристики волатильности обменного курса x_i : статистическая температура

T , оцениваемая на основе аппроксимации плотности вероятности распределения значений доходности $r_t = \lg(x_t / x_{t-1})$ соотношением

$$p(r) = e^{-\frac{|r|}{T}} / T, \quad (6)$$

и стандартное отклонение доходности

$$\sigma_r = \sqrt{\langle (r_t - \langle r \rangle)^2 \rangle}. \quad (7)$$

Как показали результаты анализа нестационарных оценок T и σ_r , предкризисные состояния неустойчивых макроэкономических систем отличаются существенным снижением волатильности, что может быть обусловлено государственной политикой ограничения плавающих валютных курсов, которая часто практикуется в странах с высоким уровнем инфляции. Обнаруженная закономерность подтверждает опасность такой стратегии в долгосрочной перспективе, что согласуется с выводами экономических исследований неоклассического направления (М. Фридман, Р. Лукас, Р. Барро).

В ряде случаев неустойчивое поведение валютных рядов сопряжено не только с изменением фрактальной размерности и уменьшением амплитуды флуктуаций, но и с искажением формы распределения (6), связанным с появлением "тяжелого хвоста" (В.Парето). Показано, что этот эффект является дополнительным признаком сниженной устойчивости системы.

Выявленные закономерности предоставляют возможность диагностики предкризисных состояний макроэкономических систем по выходу индекса α_2 за границы области нормы и критическому снижению показателей волатильности валютной динамики. Систематическое нарушение этих условий является индикатором приближения крупномасштабного кризиса, масштаб которого зависит от продолжительности нахождения валютного временного ряда в неустойчивом режиме за пределами установленных диапазонов нестационарных фрактальных колебаний.

Для оценки риска наступления кризиса временные ряды валютных курсов исследованы в комбинированном пространстве параметров, описывающем взаимосвязь количественных (σ_r, T) и структурных (α_2) характеристик фрактальной валютной динамики. Такое представление данных позволяет определить положение области самоорганизации, соответствующей наибольшему уровню гомеостатической устойчивости макроэкономической системы. Предкризисная динамика сопровождается существенным и продолжительным отклонением за пределы этой области, при котором статистическая температура и интенсивность флуктуаций однозначно снижаются, а фрактальный индекс α_2 выходит за верхнюю либо нижнюю границы области нормы. Полученные данные измерений были обобщены в форме двумерных диаграмм (рис. 2), позволяющих идентифицировать устойчивые, условно устойчивые и предкризисные состояния макроэкономической системы.

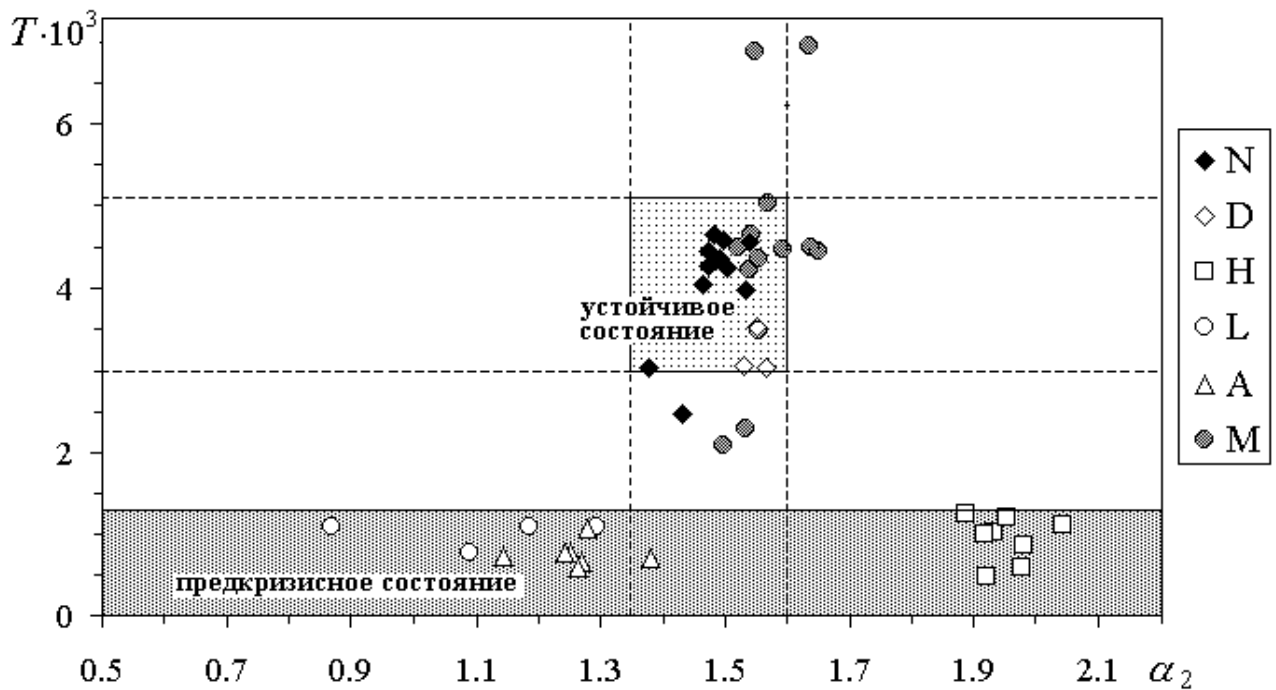
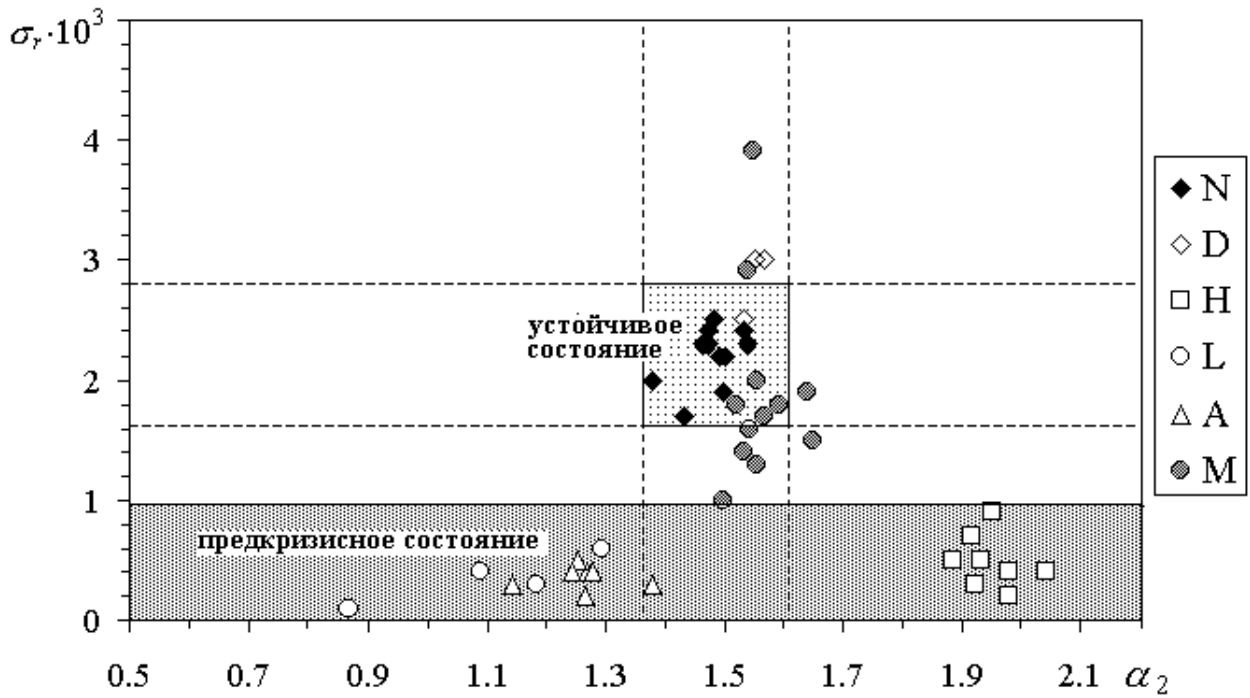


Рис. 2. Диаграммы устойчивости динамики национальных валют: интенсивность σ_r и статистическая температура T валютных флуктуаций как функции фрактального индекса α_2 . Штриховые линии соответствуют уровням отклонения параметров группы N на величину трех стандартных отклонений ($\pm 3\sigma$) от средних значений.

3. Зависимости масштаба и продолжительности кризиса от величины накопленного отклонения значений фрактального индекса временных рядов валютных курсов за пределы нормального диапазона колебаний.

При анализе динамики протекания макроэкономических кризисов в странах с неустойчивыми финансовыми системами было обнаружено, что масштаб девальвации в период активной фазы кризиса существенно зависит от величины и продолжительности нарушения фрактальной структуры валютных флуктуаций в течение предкризисного периода. Для количественного изучения этого эффекта исследована корреляция накопленных отклонений $S_{\alpha < 1.25}^-$ и $S_{\alpha > 1.75}^+$ фрактального индекса со стороны его верхней ($\alpha_2 < 1.25$) и нижней ($\alpha_2 > 1.75$) границ оптимального диапазона с параметрами активной фазы валютных кризисов. Вычисление накопленных отклонений проводилось на основе соотношений

$$S_{\alpha > 1.75}^+ = \sum_{t=t_0-L}^{t_0} (\alpha_t - 1.75) \times \theta(\alpha_t - 1.75), \quad S_{\alpha < 1.25}^- = \sum_{t=t_0-L}^{t_0} (1.25 - \alpha_t) \times \theta(1.25 - \alpha_t), \quad (8)$$

$$\alpha_t = \frac{\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} \left(\left(\lg \tau - \frac{1}{\tau_2 - \tau_1 + 1} \lg \prod_{\eta=\tau_1}^{\tau_2} \eta \right) \left(\lg F_t(\tau) - \frac{1}{\tau_2 - \tau_1 + 1} \lg \prod_{\eta=\tau_1}^{\tau_2} F_t(\eta) \right) \right)}{\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} \left(\lg \tau - \frac{1}{\tau_2 - \tau_1 + 1} \lg \prod_{\eta=\tau_1}^{\tau_2} \eta \right)^2}, \quad (9)$$

где θ – функция Хэвисайда ($\theta(a)=1$ при $a \geq 0$, $\theta(a)=0$ при $a < 0$);

$\tau_1=30$, $\tau_2=90$ – минимальный и максимальный временные масштабы определения фрактального индекса α_2 ,

t_0 – время начала кризиса,

$F_t(\tau)$ – временной ряд значений функции Пенга (3).

Валютные кризисы характеризовались длительностью L и нормированным масштабом $W = \sigma_1/\sigma_0$, где σ_1 и σ_0 – стандартные отклонения валютного курса в периоды активной и подготовительной фаз кризиса:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{L+1} \sum_{t=t_0-L}^{t_0} \left(x_t - \frac{1}{L+1} \sum_{t=t_0-L}^{t_0} x_k \right)^2}, \quad \sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{L+1} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+L+1} \left(x_t - \frac{1}{L+1} \sum_{k=t_0+1}^{t_0+L+1} x_k \right)^2}. \quad (10)$$

При регрессионном анализе соотношений между указанными параметрами обнаружено существование достоверных зависимостей масштаба и длительности кризиса от накопленных отклонений фрактальных индексов (рис. 3-4).

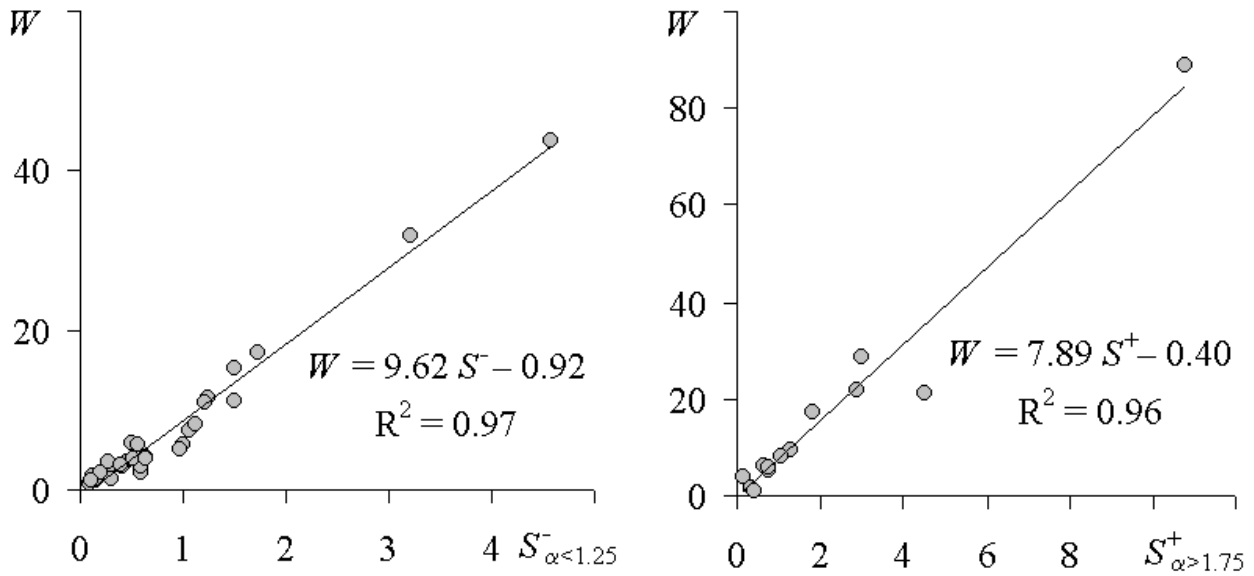


Рис. 3. Масштаб кризиса W (отн.ед.) как функция накопленных отклонений индекса Пенга α_2 за пределами нижней ($S_{\alpha < 1.25}^-$) и верхней ($S_{\alpha > 1.75}^+$) границ оптимального диапазона, соответствующего эффективному состоянию национальных валютных рынков.

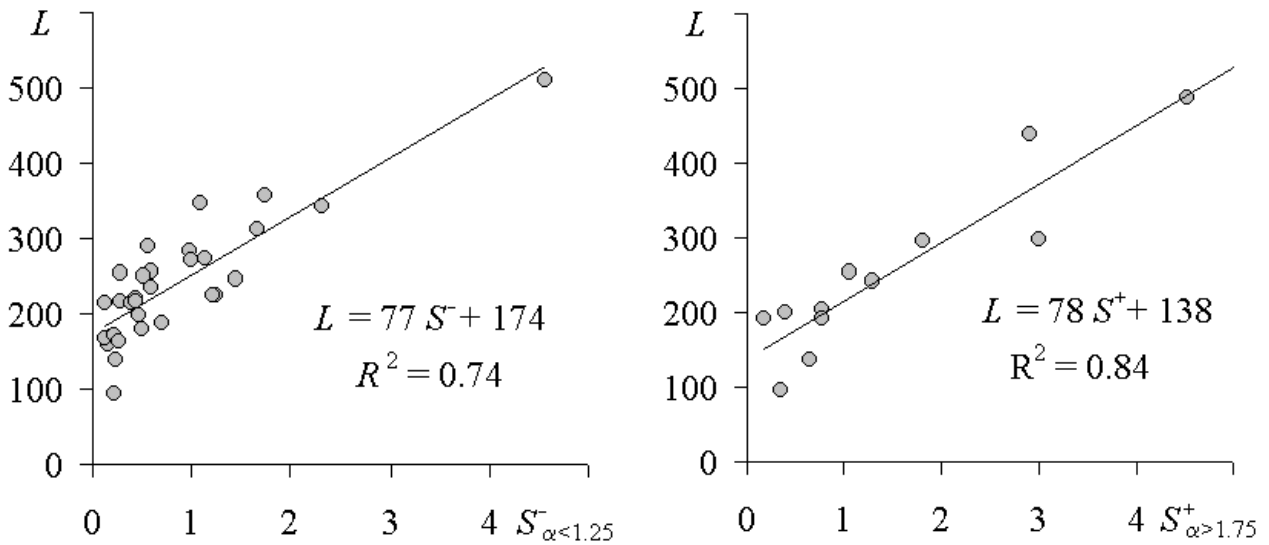


Рис. 4. Зависимости продолжительности кризиса в сутках от величины накопленного отклонения индекса α_2 за пределами критических границ $\alpha_2=1.25$ и $\alpha_2=1.75$.

Было также установлено, что в рамках зависимостей $W(S_{\alpha < 1.25}^-)$ и $W(S_{\alpha > 1.75}^+)$ могут быть описаны как кратковременные неустойчивые состояния валютных систем развитых стран, так и крупномасштабные валютные кризисы развивающихся финансовых рынков. Универсальное поведение неустойчивостей разного масштаба указывает на важную с практической точки зрения возможность изучения сравнительно редких широкомасштабных кризисов на основе информации, полученной при анализе событий малого

масштаба, число которых может быть достаточным для получения количественных оценок финансового риска и составления статистических прогнозов.

Выявленные зависимости были взяты за основу при разработке регрессионной модели прогноза валютного кризиса по величине нарушений фрактальной структуры временных рядов плавающих валютных курсов.

4. Регрессионная модель валютного кризиса, предоставляющая возможность прогноза параметров его активной фазы по степени нарушения фрактальной структуры валютных флуктуаций в предкризисный период.

Объясняющими переменными модели являются накопленные отклонения $S_{\alpha < 1.25}^-$ и $S_{\alpha > 1.75}^+$ фрактального индекса α_2 от нижней и верхней границ диапазона нормальных значений, среднее значение $\langle x \rangle_0$ и стандартное отклонение σ_0 курса валюты в период подготовительной фазы кризиса.

В качестве объясняемых переменных рассмотрены продолжительность L и нормированный масштаб W кризиса, максимальная высота инфляционного скачка x_{\max} и стандартное отклонение σ_1 курса валюты в период активной фазы кризиса (табл.2).

Таблица 2. Параметры фрактальной регрессионной модели валютного кризиса

	Нарушения верхней границы $S_{\alpha < 1.25}^- = 0, S_{\alpha > 1.75}^+ \neq 0$	Нарушения нижней границы $S_{\alpha < 1.25}^- \neq 0, S_{\alpha > 1.75}^+ = 0$
Уравнения регрессии	$L = K_L^+ S_{\alpha > 1.75}^+ + a_L^+$ $W = K_W^+ S_{\alpha > 1.75}^+ + a_W^+$	$L = K_L^- S_{\alpha < 1.25}^- + a_L^-$ $W = K_W^- S_{\alpha < 1.25}^- + a_W^-$
Прогноз волатильности	$\sigma_1 = \sigma_0 (K_W^+ S_{\alpha > 1.75}^+ + a_W^+)$	$\sigma_1 = \sigma_0 (K_W^- S_{\alpha < 1.25}^- + a_W^-)$
Прогноз глубины максимальной девальвации	$x_{\max} = \langle x \rangle_0 + 3\sigma_0 (K_W^+ S_{\alpha > 1.75}^+ + a_W^+)$	$x_{\max} = \langle x \rangle_0 + 3\sigma_0 (K_W^- S_{\alpha < 1.25}^- + a_W^-)$
Коэффициенты регрессии ($p < 0.01$)	$K_W^+ = 7.9 \pm 1.3$ $a_W^+ = -0.41 \pm 0.86$ $K_L^+ = 78 \pm 13$ $a_L^+ = 138 \pm 20$	$K_W^- = 9.6 \pm 0.7$ $a_W^- = -0.92 \pm 0.64$ $K_L^- = 77 \pm 7$ $a_L^- = 174 \pm 17$

В случае обнаружения на основе анализа диаграмм устойчивости (рис. 2) угрозы кризиса построенная модель дает возможность заблаговременной оценки его масштабов и позволяет определить адекватность используемых превентивных мер. Прогноз точного времени наступления кризиса выходит за рамки предложенного подхода, поскольку требует учета структурной специфики анализируемой макроэкономической системы и знания полного набора внешних управляющих параметров.

Полученная с помощью разработанной модели информация может быть взята за основу при построении эффективных стратегий антикризисного управления. Использование этой информации дает необходимый ключ к своевременной коррекции экономической политики, направленной на предупреждение кризиса через внесение поправок в управляющие макроэкономические переменные, таких, как номинальная процентная ставка (рис. 5).

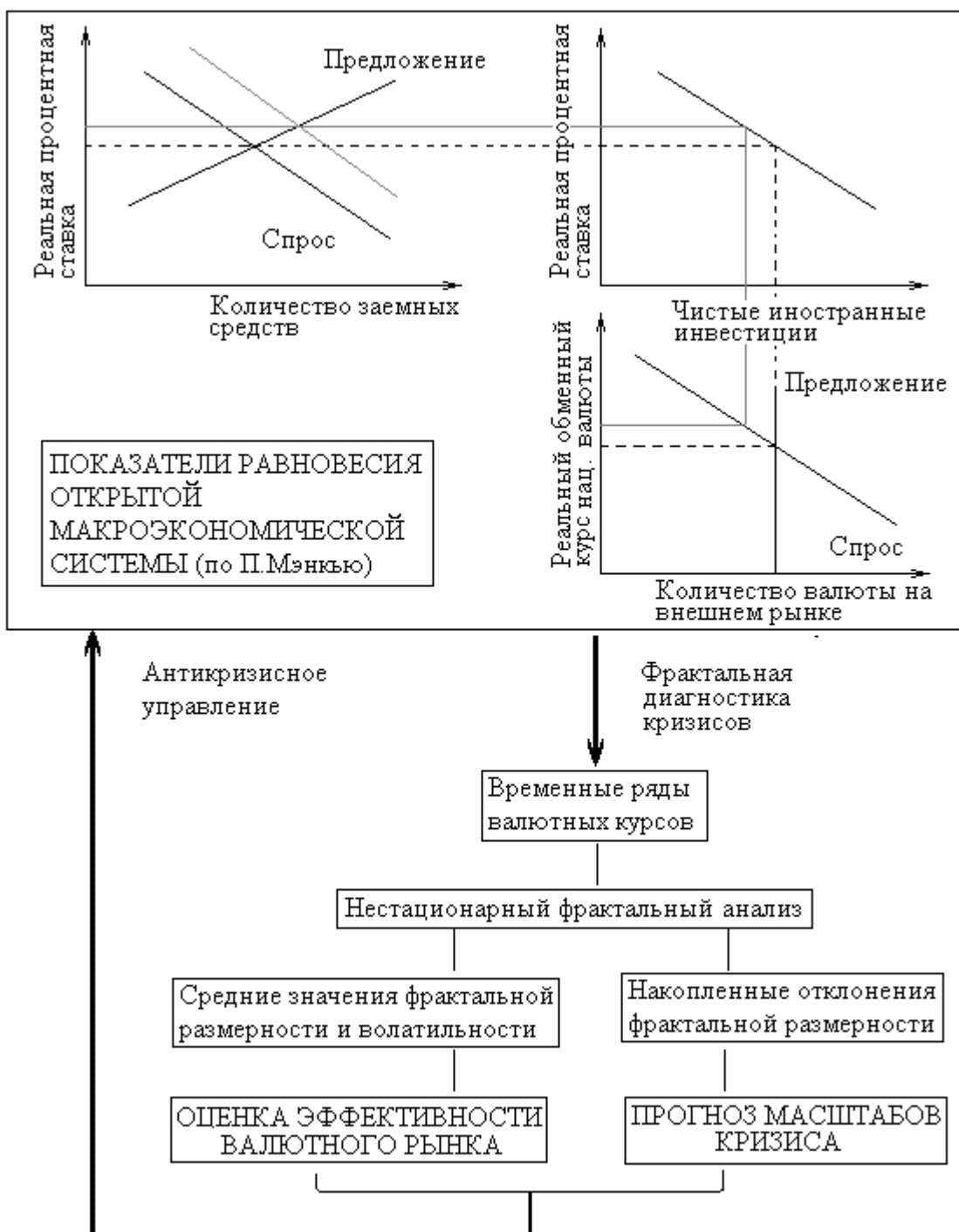


Рис. 5. Методика фрактального мониторинга динамической устойчивости экономической системы и оценки эффективности превентивных мер антикризисного управления.

Результаты работы подтверждают возможность фрактальной диагностики предкризисных нарушений в открытых макроэкономических системах и указывают на то, что наиболее устойчивым состоянием динамики таких систем является состояние самоорганизованной критичности (П.Бак и др., 1987), характеризуемое фрактальной структурой валютных временных рядов со значением размерности, предсказываемым теорией эффективных рынков. При отклонении от этого состояния фрактальная размерность закономерно меняется, что может использоваться для прогноза и своевременного предупреждения экономических кризисов.

Основные результаты и выводы исследования

1. Разработан новый методологический подход к исследованию устойчивости открытых макроэкономических систем, основанный на применении математического аппарата нестационарного фрактального анализа к временным рядам обменных курсов валют.

2. Доказано существование нестационарных колебаний фрактальной размерности валютных временных рядов. Определены оптимальные диапазоны колебаний фрактальной размерности и волатильности флуктуаций валютных курсов, совместимые с устойчивым состоянием открытой макроэкономической системы.

3. Разработана система классификации валютной динамики в развитых и развивающихся странах. Выявлена зависимость между нарушением устойчивости открытой макроэкономической системы и отклонением значений фрактальных динамических характеристик валютного временного ряда от нормы, определяемой условием гомеостатической самоорганизации.

4. Установлено, что кризису в открытой макроэкономической системе предшествует длительный период скрытых нарушений динамической устойчивости и информационной эффективности валютного рынка, сопровождаемый выходом исследованного фрактального индекса за границы нормальных значений. Посткризисная динамика сопровождается полным или частичным возвратом финансового рынка в эффективное состояние.

5. Найдены количественные зависимости масштаба и продолжительности кризиса от величины отклонения фрактального индекса и волатильности временных рядов валютных курсов от диапазонов нормы. Полученные данные обобщены в форме диаграмм устойчивости, позволяющих оценивать риск макроэкономического кризиса.

6. Построена регрессионная модель связи параметров активной фазы кризиса с величинами накопленных отклонений фрактальных характеристик обменного курса в предкризисный период, позволяющая прогнозировать размах флуктуаций валютного курса, длительность периода неуправляемой девальвации и максимальный ущерб от падения обменного курса в активной фазе макроэкономического кризиса.

7. Разработана методика мониторинга устойчивости макроэкономической системы, позволяющая формирование гибкой политики антикризисного управления неравновесными процессами в открытой экономике.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Урицкая О.Ю. Перспективы применения фрактальных методов анализа к исследованию аperiodических колебательных процессов в экономике // Современные проблемы и методы совершенствования управления. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 142 – 149 (0.5 п.л.).
2. Урицкая О.Ю., Федотов А.В. О применении теории самоорганизованной критичности в моделировании сложных экономических систем. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. С.124 – 131 (0.5 п.л.).
3. Урицкая О.Ю. Основы теории экономического риска: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 54 с. (3.5 п.л.).
4. Урицкая О.Ю. Основы теории принятия решений: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 94 с. (6.0 п.л.).
5. Урицкая О.Ю., Урицкий В.М., Федотов А.В. Фрактальный анализ устойчивости бюджетных поступлений на примере административных районов Санкт-Петербурга // Сб. докладов IV Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM 2001 (25-27 июня 2001 г., С.-Петербург). – СПб.: СПбГУ, 2001. – Т.2, с.184 – 187 (0.5 п.л.).
6. Урицкая О.Ю., Урицкий В.М. Фрактальный анализ динамики валютных курсов в странах с различными системами финансового регулирования // Сб. докладов IV Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM 2001 (25-27 июня 2001 г., С.-Петербург). – СПб.: СПбГУ, 2001. – Т.2, с.188 – 191 (0.5 п.л.).
7. Урицкая О.Ю. Основы теории экономического риска // Методика и практика подготовки специалистов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – С.150 – 151 (0.3 п.л.).
8. Урицкая О.Ю. Основы теории принятия решений // Методика и практика подготовки специалистов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – С.151 – 153 (0.3 п.л.).
9. Урицкая О.Ю. Влияние предкризисного нарушения фрактальной структуры колебаний обменных курсов на характеристики активной фазы валютного кризиса // Современные проблемы и методы совершенствования государственного и муниципального управления. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – С.341 – 364 (1.5 п.л.).
10. Урицкая О.Ю. Исследование устойчивости налоговых поступлений методами фрактального анализа // Современные проблемы и методы совершенствования государственного и муниципального управления. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – С.365 – 378 (0.9 п.л.).
11. Урицкая О.Ю. Определение оптимального диапазона флуктуаций валютных курсов методом статистической температуры // Современные проблемы и методы совершенствования государственного и муниципального управления. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – С.378 – 393 (0.9 п.л.).