УДК 519.21

08.00.00 Экономические науки

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦИКЛИЧНОСТИ ВРЕМЕННОГО РЯДА УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Темиров Астемир Алиевич
аспирант
E-mail: t-ast@mail.ru
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

В статье рассматривается алгоритм фазового анализа как один из методов нелинейной динамики для исследования временных рядов на цикличность. В настоящее время большой интерес для науки представляют методы нелинейной динамики. Особенно стало актуальным применение их в анализе временных рядов. Существующие в классической эконометрике методы оценки цикличности разработаны для случайных систем, динамика которых подчиняется нормальному закону распределения. Известно, что в природе также существуют и неслучайные системы, характеризующиеся трендами, периодическими и непериодическими циклами, называемыми квазициклами. В статье представляется вычислительный процесс выявления квазициклов, который иллюстрируется на примере временного ряда урожайности «зерновых всего» в России за последние 119 лет. Фазовый портрет рассматриваемого временного ряда представляется в пространстве размерности два и состоит из 22-х неустойчивых, в плане периодичности, квазициклов совокупность которых образует странный аттрактор. Статистика квазициклов представлена табличной и геометрической моделями, а так же в виде нечеткого множества. Квазициклы имеют количественную (длина), и качественную (конфигурация), характеристики. Совокупность этих двух характеристик определяют собой такое важное свойство временного ряда как «трендоустойчивость». В статье задействован математический аппарат теории нечеткого множества, на базе которой разработан и представлен алгоритм формирования нечеткого множества длин квазициклов. Фазовый анализ является сильной формой анализа временных рядов на цикличность и служит достаточно адекватным инструментом для предпрогнозного анализа

Ключевые слова: НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА, ВРЕМЕННОЙ РЯД, ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ, ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ, АТТРАКТОР, НЕЧЕТКОЕ МНОЖЕСТВО, КВАЗИЦИКЛИЧНОСТЬ

UDC 519.21

Economics

CYCLIC RECURRENCE ASSESSMENT OF GRAIN YIELD TIME SERIES USING PHASE ANALYSIS INSTRUMENTS

Temirov Astemir Alievich
postgraduate student
E-mail: t-ast@mail.ru
Financial university under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

An algorithm of phase analysis as the instrument of nonlinear dynamics' methods used to study cyclic recurrence of time series is viewed in current article. The existing classical econometric methods for estimating cyclic recurrence developed for random systems which dynamics matches to the normal distribution. However, there also exists non-random systems characterized by trends, periodic and non-periodic cycles called quasicycles. An example of computing process of identifying quasicycles is illustrated on time series of all grain yields in Russia for the last 119 years. Phase portrait of this time series is illustrated in two-dimension space. As a result, the phase portrait consists of 22 frequently unstable quasicycles which tottality forms a strange attractor. Quasicycles have quantitative (length) and quality (configuration) characteristics. Their combination defines very important characteristic called trend-stability. Phase analysis is a powerful form of analysis of time series to assess cyclic recurrence and is a tool for pre-forecasting analysis. Fuzzy sets' mathematical apparatus is also used in this article. An algorithm of formation of fuzzy sets' quasicycles' length is also presented here. Quasicycles' statistics are presented in tables, geometric patterns and in the form of fuzzy sets

Keywords: NONLINEAR DYNAMICS, TIME SERIES, PHASE ANALYSIS, PHASE PORTRAIT, ATTRACTOR, FUZZY SET, QUASICYCLIC RECURRENCE

В экономической науке анализ временных рядов (ВР) занимает особое место. Исследование временной структуры данных в реальных экономических процессах позволяет адекватно отразить их в математических и экономических моделях. Исследуя временные ряды, по сути, происходит оценка экономических и социальных связей между переменными, что немаловажно для процесса принятия управленческих решений. Понимание и осознание этого факта всегда приводит к развитию различных методов анализа временных рядов.

В настоящее время большой интерес для науки представляют методы нелинейной динамики. Особенно стало актуальным применение их в анализе временных рядов. Это такие методы как: фрактальный анализ, фазовый анализ с применением теории нечеткого множества и теории детерминированного хаоса. Также стали популярными прогнозные модели на базе интеллектуальных систем: нейронные сети, клеточные автоматы, генетические алгоритмы, дающие хорошие прогнозы с достаточно приемлемой погрешностью [4,5,6,7,8]. Развитию методов нелинейной динамики предшествовало также наметившийся прогресс в компьютерных технологиях, когда стало возможным визуализировать на экране дисплея результаты моделирования достаточно сложных процессов и систем в виде графиков и диаграмм.

Анализ многочисленных публикаций [4,5,6,8] показывает, что свойство нелинейности характерно для многих социальных, экономических, природных и других процессов. Особенно большое количество научной литературы и статей посвящено исследованиям финансовых временных рядов методами нелинейной динамики [6]. Одним из преимуществ этих методов является то, что применение их в анализе временных рядов не требует подчинения исследуемых систем нормальному закону распределения, как это принято в классических моделях анализа и прогнозирования.

При построении прогнозной модели очень важно знать предпрогнозные характеристики исследуемой системы. Опираясь на них можно осуществить выбор адекватной прогнозной модели и вместе с тем и принятие правильного управленческого решения. Одной из таких задач является задача исследования экономического временного ряда на цикличность.

Проблема цикличности в экономических системах всегда волновала умы великих ученых из многих областей науки. Однако среди экономистов, признающих цикличность, нет единого мнения, относительно природы данного явления. Традиционно выделяют экзогенный и эндогенный подходы к объяснению этого явления. Основателем теории внешних факторов является английский экономист У.С. Джевонс, связавший экономический цикл с 11-летним циклом солнечной активности. Он связывал цикличность солнечной активности в основном с сельским хозяйством и торговлей, а его последователи распространили влияние солнечного цикла на всю экономику.

Существует классические методы выявления циклической компоненты в экономических временных рядах. Это известные в эконометрике автокорреляции различных порядков, также некоторые модели из серии ARIMA. Основная особенность этих моделей заключается в том, что поведение исследуемых временных рядов должно подчиняться нормальному закону распределения. Последнее не всегда верно для многих временных рядов [4,6,8].

Фазовый анализ (ФА) как один из инструментальных методов нелинейной динамики представляет интерес в исследовании цикличности в экономических временных рядах [5,6]. Анализ публикаций по теме исследования показывает, что существуют так называемые графические тесты хаоса Гилмора [1,7], которые выявляют неустойчивые квазипериодические конфигурации орбит, заключенные в странном аттракторе. Для определения таких орбит наиболее адекватным представляется метод «построения фазового портрета и его разложение на квазициклы» [5,6,7].

В настоящей статье предлагается следующий алгоритм фазового анализа, состоящий из 4-х этапов.

На первом этапе выбирается размерность ρ фазового пространства $\Phi_\rho(X)=\{(x_i,x_{i+1})\},\ i=\overline{1,n-1}$. Второй этап заключается в построении фазового портрета изучаемой системы методом соединения соседних точек $\{(x_i,x_{i+1}),\ (x_{i+1},x_{i+2})\}\in \Phi_\rho(X),\ \ i=\overline{1,n-1}$ либо отрезками, либо кривой. На третьем этапе фазовый портрет раскладывается на «квазициклы» и представляется в виде нечеткого множества.

Выше перечисленные этапы алгоритма фазового анализа проиллюстрируем на примере временного ряда урожайности «зерновых всего» в России за период с 1896 г. по 2014 г., графическое представление которого визуализируется на рис. 1.

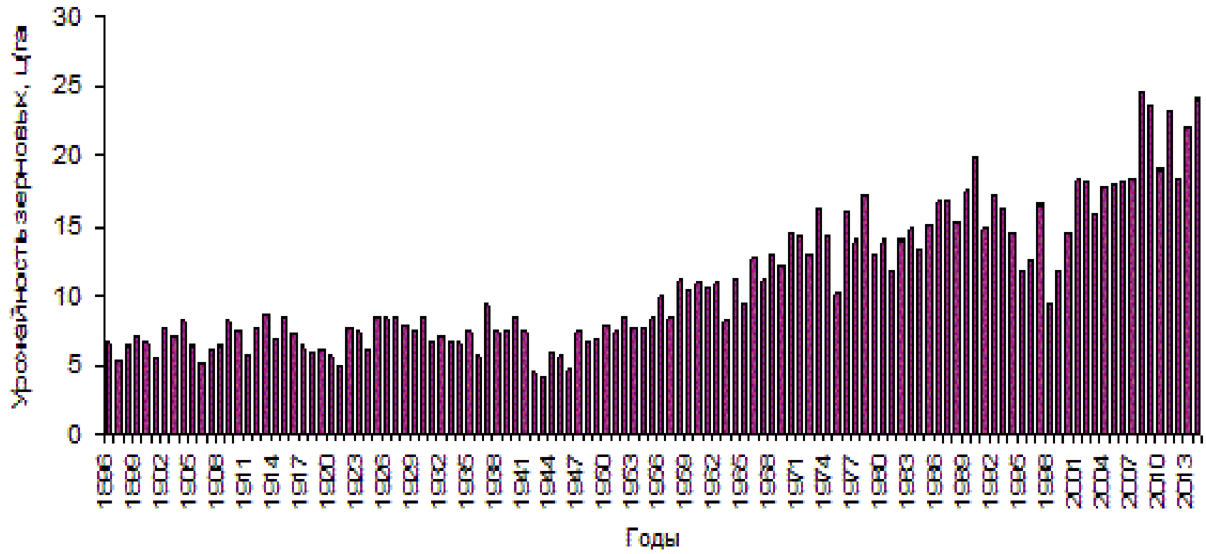


Рисунок 1. Временной ряд урожайности зерновых культур в России за период 1896-2007гг

Введем обозначение этого ВР

$$X = \langle x_i \rangle, \quad i = 1,2,...,n. \tag{1}$$

Число наблюдений для ВР (1) составляет $n = 119$, при этом каждое наблюдение приравнивается к одному году. Численные значения наблюдений x_i, $i = \overline{1,119}$ определяют средний объем выхода урожайности зерновых на текущий год и измеряется в ц/га. Для различных экономических временных рядов достаточным является построение фазового портрета в фазовом пространстве размерности два, т.е. $\rho = 2$. В литературе [5] отмечено, что для конструирования истинного фазового пространства, необходимо знать все переменные, релевантные изучаемой системе. В случае временных рядов, мы имеем дело с одной лишь известной динамической переменной. Для восстановления фазового пространства по одной динамической переменной Паккард и Рюэль [4] предложили простой метод, который наполняет другие размерности посредством запаздывающих значений одной наблюдаемой переменной. Есть исходный временной ряд, уровни которого откладываются по оси абсцисс, и есть второй временной ряд, значения уровней которого откладываются по оси ординат, и являющийся той же реализацией, но с отставанием на один период. Математическое объяснение Паккарда такому механизму построения фазового портрета состоит в том, что нелинейные динамические системы являются детерминированными, и являются внутренне зависимыми системами. Это означает, что текущие величины каждой переменной есть результат воздействия на них прошлых величин [4,5].

Рассмотрим фазовый портрет исследуемого ВР (1), построенный по механизму Паккарда [4,5] и представленный на рис. 2 в виде траектории точек, в которой каждая соседняя пара соединена кривой. Визуализация этого фазового портрета свидетельствует о циклической природе рассматриваемого ВР X. Для получения числовых и качественных характеристик этой цикличности разложим его на «квазициклы». Термин «квазицикл» в переводе с греческого языка означает «как бы цикл» и он близок к определению «цикла». Отличие квазицикла от цикла состоит в следующем:

– во-первых, квазицикл допускает точного несовпадения начала цикла с его концом;

– во-вторых, для квазицикла достаточно вхождение конечной его точки в область начальной точки;

– в-третьих, допускает самопересечение начального и конечного звеньев квазицикла, если это приводит к наименьшему расстоянию между точками начала и конца его.

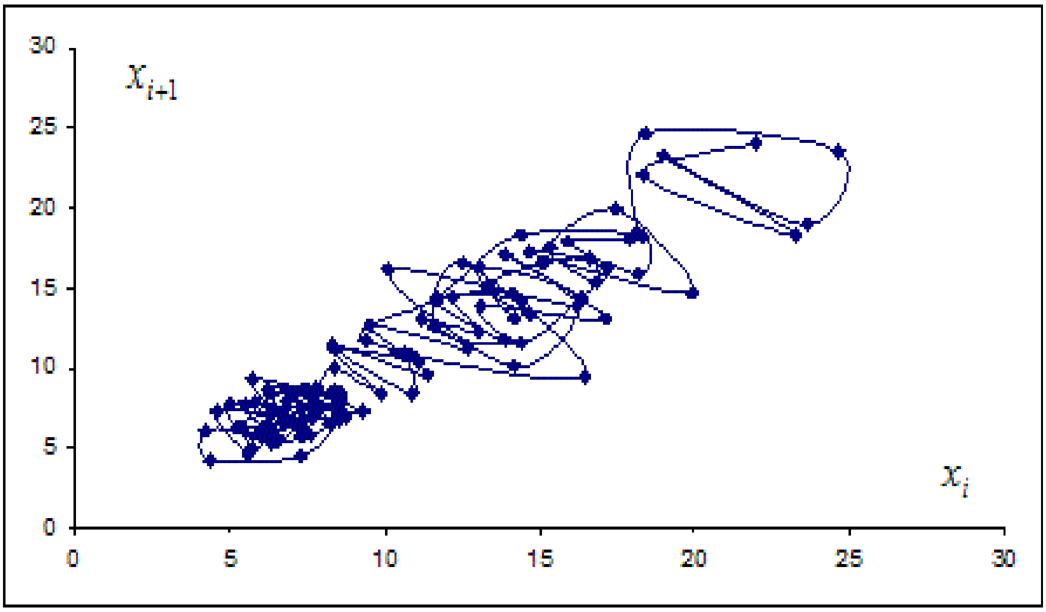
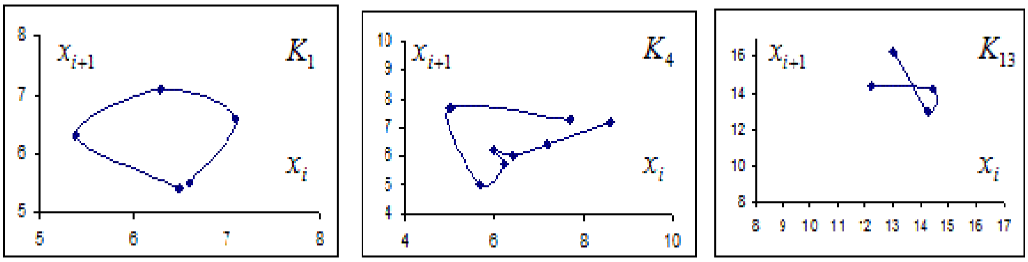


Рисунок 2. Фазовый портрет временного ряда урожайности зерновых культур (1)

В целом фазовый портрет исследуемого ВР разложился на 22 последовательных неустойчивых в плане периодичности квазицикла K_i, $i=\overline{1,22}$, совокупность которых демонстрирует странный аттрактор [7,8]. Квазициклы имеют количественную (длина), и качественную (конфигурация) характеристики. Число точек в квазицикле K_i называется его длиной и обозначается через L_i. Типичные квазициклы различных длин и конфигураций для временного ряда X представлены на рис. 3.



а) б) в)

Рисунок 3. Типичные квазициклы в фазовом пространстве для ВР X:
а, б – квазициклы K_1, K_4, не имеющие точку самопересечения;
в – квазицикл K_{13}, имеющий точку самопересечения

Типичный квазицикл K_1, длины $L_1 = 5$, представленного на рис. 3а, например, означает, что цикл определяется 5-тью уровнями исходного ВР и при этом ВР обладает свойством 5-летней цикличности. Статистика длин квазициклов исследуемого ВР X (1) представлена в табл. 1.

Таблица 1. Статистика длин квазициклов ВР (1)

K_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
L_i	5	7	4	8	6	5	4	4	4	5	6	3	4	3	4	5	3	5	5	4	3	4

Таким образом, представленный на рис. 1. временной ряд урожайности «зерновых всего» в России фактически состоит из 22 завершенных квазициклов, которые в совокупности включают в себя 103 годовых уровня исходного ВР. Отсюда получаем среднее значение длины квазициклов и составляет $L_{cp} = 103/22 \approx 4{,}6$ лет. Характерной особенностью квазициклов рассматриваемого временного ряда урожайности зерновых является то, что чаще всего появляются квазициклы длины 4 и 5 в области значений длин

$\{3,4,...,8\}$, откуда вытекает 5-летнее значение средней длины годичных квазициклов.

При реальном моделировании сложных систем значительная часть информации, необходимой для их математического описания, существует в виде нечетких представлений или пожеланий экспертов. Для преодоления трудностей представления неточных понятий, анализа и моделирования систем, в которых участвует человек, американским математиком Лотфи Заде была предложена так называемая теория нечетких множеств [3,4]. Представим в виде нечеткого множества (НМ) статистику длин квазициклов. Для этих целей данные частотного распределения квазициклов представим в виде табличной модели (см.табл. 2).

Таблица 2. Табличная модель представления нечеткого множества длин квазициклов K_r

Длина квазициклов, $L_i, i=\overline{3,8}$	3	4	5	6	7	8
Частота появления, соответствующих длин квазициклов, w	4	6	7	3	1	1
Доля квазицикла в общем числе, v	0,18	0,27	0,32	0,14	0,05	0,05
Функция принадлежности, μ	0,56	0,84	0,98	0,42	0,14	0,14

Предлагается следующий алгоритм формирования нечеткого множества длин квазициклов.

На первом шаге экспертным путем [3,4], с учетом того, что функция принадлежности μ может принимать значения в интервале от 0 до 1, присваиваем наиболее часто встречающемуся квазициклу, а это K_5, заведомо высокое значение функции принадлежности, и пусть это будет $\approx 0{,}98$, т.е. $\mu(K_5)=0{,}98$. Значение функции принадлежности равное единице соответствует истинности высказывания, а $\mu=0$ – соответствует ее отсутствию [3,4].

На втором шаге, для остальных квазициклов K_3, K_4, K_6, K_7, K_8 вычисляем значения функции принадлежности по формуле: $\mu(K_i) = \frac{\mu(K_5)}{\nu(K_5)} \cdot \nu(K_i)$, где $i = 3,4,6,7,8$ и заполняем результатами вычисления μ последнюю строку табл.2.

На третьем шаге попарно объединяем элементы первой и последней строки табл.2 и представляем запись нечеткого множества так, как это принято в литературах по теории нечеткого множества [3]. Полученная оценка длин квазициклов для ВР X представляется в виде нечеткого множества вида (2):

$$M(X) = \{(3;0,56), (4;0,84), (5;0,98), (6;0,42), (7;0,14), (8;0,14)\}. \quad (2)$$

Для наглядности на рис.4 представлено графическое изображение НМ $M(X)$ длин квазициклов для ВР X.

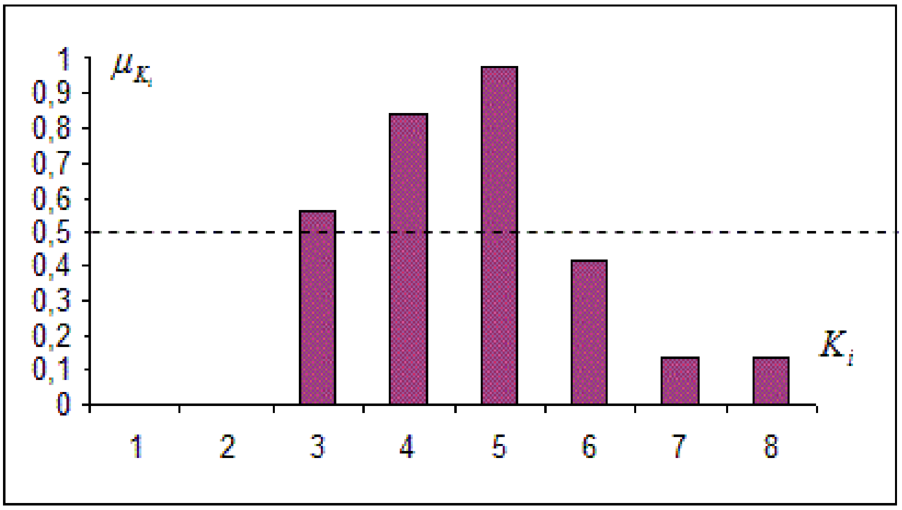


Рисунок 4. Графическое представление нечеткого множества длин квазициклов для ВР X

Из рис.4 видно, что наиболее значимыми для ВР X оказались квазициклы длины 3, 4 и 5. Об этом свидетельствуют не только численные значения их соответствующих функций принадлежности $\mu = 0,56$, $0,84$ и $0,98$, но и попадание их в область выше 0,5 [3]. Следует отметить при этом, что менее выраженным из них оказался трехлетний цикл.

Центр тяжести нечеткого множества $M(X)$, вычисленный по формуле $ЦТ = \left(\sum_{K=3}^{8} \mu_K \cdot K\right) \Big/ \left(\sum_{K=3}^{8} \mu_K\right) = \frac{14{,}48}{3{,}06} \approx 4{,}73$, выдал результат, вполне согласующийся с суждением о приблизительной 5-годичной цикличности урожайности зерновых.

По результатам фазового анализа можно сделать заключение о том что, рассматриваемый временной ряд урожайности «зерновых всего» в России содержит компоненту цикл, которая имеет непериодический характер и тем самым порождает «квазициклы» различных конфигураций.

Свойство цикличности, присущее динамике урожайности зерновых, обязательно должно учитываться при планировании, прогнозировании и управлении сельскохозяйственным производством.

Результаты фазового анализа позволяют сделать обоснованные выводы о том, что в динамике ВР урожайности зерновых присутствует свойство «квазицикличности», которое обычно присуще нелинейным процессам и системам [5, 6, 7]. Последнее дает основание утверждать о неадекватности классических прогнозных моделей для их прогнозирования. Желательно для качественного их прогнозирования применить методы, которые базируются на таких интеллектуальных системах, как: нейронные сети, клеточные автоматы, генетические алгоритмы, зарекомендовавшие себя сильными прогнозными моделями.

Литература

1. Gilmore C.G. A new test for chaos / C.G. Gilmore //Journal of economic behavior and organization, №22, 1993. - P. 209-237.
2. Бессонов В.А. Введение в анализ российской макроэкономической динамики переходного периода/ В.А. Бессонов. – М.: ЦЭМИ РАН, 2003. – 151 с.
3. Кофман А., Хил Алуха Х. Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями / А. Кофман, Х. Хил Алуха.– Минск: Высшая школа, 1992.
4. Перепелица В.А. Структурирование данных методами нелинейной динамики для двухуровневого моделирования /В.А. Перепелица, Ф.Б. Тебуева, Л.Г. Темирова – Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 2006. – 284 с.
5. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс – М.: Интернет-Трейдинг, 2004. – 304 с.
6. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка / Э. Петерс – М.: Мир, 2000. - 333 с.
7. Сергеева Л.Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) / Л.Н. Сергеева - Запорожье: ЗГУ, 2002. - 227 с.
8. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение / Г. Шустер - М.: Мир, 1988. - 240 с.

REFERENCES

1. Gilmore C.G. A new test for chaos / C.G. Gilmore //Journal of economic behavior and organization, №22, 1993. - P. 209-237.
2. Bessonov V.A. Vvedenie v analiz rossijskoj makrojekonomicheskoj dinamiki perehodnogo perioda/ V.A. Bessonov. – M.: CJeMI RAN, 2003. – 151 s.
3. Kofman A., Hil Aluha H. Vvedenie teorii nechetkih mnozhestv v upravlenii predprijatijami / A. Kofman, H. Hil Aluha.– Minsk: Vysshaja shkola, 1992.
4. Perepelica V.A. Strukturirovanie dannyh metodami nelinejnoj dinamiki dlja dvuhurovnevogo modelirovanija /V.A. Perepelica, F.B. Tebueva, L.G. Te-mirova – Stavropol': Stavropol'skoe knizhnoe izdatel'stvo, 2006. – 284 s.
5. Peters Je. Fraktal'nyj analiz finansovyh rynkov: Primenenie teorii Haosa v investicijah i jekonomike / Je. Peters – M.: Internet-Trejding, 2004. – 304 s.
6. Peters Je. Haos i porjadok na rynkah kapitala. Novyj analiticheskij vzgljad na cikly, ceny i izmenchivost' rynka / Je. Peters – M.: Mir, 2000. - 333 s.
7. Sergeeva L.N. Modelirovanie povedenija jekonomicheskih sistem metodami nelinejnoj dinamiki (teorii haosa) / L.N. Sergeeva - Zaporozh'e: ZGU, 2002. - 227 s.
8. Shuster G. Determinirovannyj haos: Vvedenie / G. Shuster - M.: Mir, 1988. - 240 s.