

---

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ВЫЯВЛЕНИЯ ДОЛГОСРОЧНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

---

**Попова Елена Витальевна**<sup>1</sup>, д-р экон. наук, проф.

**Кумратова Альфира Менлигуловна**<sup>1</sup>, канд. экон. наук, доц.

**Третьякова Наталья Владимировна**<sup>2</sup>, канд. экон. наук

**Пономарева Дарья Николаевна**<sup>1</sup>, маг.

<sup>1</sup> Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: elena-popov@yandex.ru; alfa05@yandex.ru

<sup>2</sup> Ростовский государственный экономический университет (Черкесский филиал), ул. Красная, 3, Черкесск, Россия, 369000

*Цель:* статья посвящена развитию и адаптации математических и инструментальных методов анализа и управления рисками через предпрогнозный анализ динамики экономических показателей. *Обсуждение:* исследуются значения временных рядов разной природы цикличности (цены на пшеницу и объемы стоков горной реки Кубань), полученные на базе фазового анализа. Особенностью исследуемых временных рядов является неподчинение нормальному закону распределения, отсутствие видимого тренда. *Результаты:* в статье рассматриваются вопросы путей снижения социально-экономических рисков на базе предпрогнозного анализа.

**Ключевые слова:** временной ряд, фазовый портрет, габаритный прямоугольник, квазицикл, фазовый анализ.

**DOI:** 10.17308/meps.2015.7/1283

### **Введение**

Актуальность представленного в работе исследования, базирующегося на применении методов фазового анализа к задачам экономико-математического моделирования отрасли агропромышленного комплекса и природных риск-факторов, не вызывает сомнений. Авторами в комплексе применены известные методы классической статистики и методы нелинейной динамики.

Переход на новую экономику вызывает необходимость разработки новых программных инструментариев экономико-математического моделирования, в том числе и оценки меры риска (прогноза и предпрогнозного

анализа), в частности, таких как фазовый анализ, фрактальный анализ, линейный клеточный автомат, методы динамического хаоса.

Касаясь темы актуальности пользы прогнозирования значений временных рядов (ВР) урожайностей сельскохозяйственных культур, можно отметить, что значение планирования, достижения и поддержания развития темпов экономического роста, а также в целях обеспечения высокого уровня жизни населения, постоянно возрастает. Отметим, что планирование и прогнозирование деятельности предприятия является объективной необходимостью при любой экономической системе.

### Методология исследования

В статье представлено сравнение результатов предпрогнозного анализа временных рядов разной природы цикличности (цены на пшеницу и объемы стоков горной реки Кубань), полученных на базе фазового анализа. Продемонстрируем метод фазового анализа на базе ВР ежемесячных объемов стоков горной р. Кубань за период с 1926 года по 2003 год (далее ВР «Кубань»), который имеет четкую годовую цикличность [5]. А в качестве сравнения рассмотрим ВР цен за бушель на пшеницу в американских центах с января 1993 года по декабрь 2014 года (далее ВР «Пшеница»). Отметим, что бушель – это единица объема, используемая в английской системе мер. В основном применяют для измерения сельскохозяйственных товаров. Один бушель пшеницы приблизительно равен 27,2 кг.

ВР ежемесячных объемов стоков горной реки Кубань обозначим:

$$Z = \langle z_i \rangle, i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $N$  – количество уровней ВР.

При исследовании указанного ВР достаточно целесообразным и информативным является построение фазовых портретов ВР (1) в фазовом пространстве  $F(Z)$  [2, 6] размерности 2:  $F(Z) = \{(z_i, z_{i+1})\}, i = 1, 2, \dots, n-1$ . На рис. 1 представлена фазовая траектория ВР «Кубань».

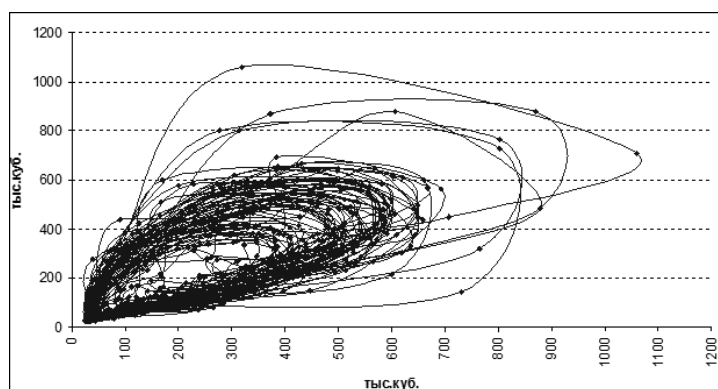


Рис. 1. Фазовая траектория ВР «Кубань»

Следуя Э. Петерсу [7], Н. Пакарду [1] для ВР  $Z$  (1) в качестве его фазового пространства ВР используем формулу:

$$\Phi_{\rho}(Z) = \{z_i, z_{i+1}, \dots, z_{n-p+1}\}, i = 1, 2, \dots, n - \rho + 1 \quad (2)$$

Вопрос о его размерности  $\rho$  является принципиально важным вопросом при построении фазового пространства (2) для конкретного ВР. Эта размерность должна быть не меньше, чем размерность аттрактора наблюдаемого ряда. В качестве размерности аттрактора можно использовать фрактальную размерность  $C$  этого ряда. Значение этой размерности, как отмечено в [7], определяется по формуле:

$$D = 2 - H. \quad (3)$$

Поскольку значение показателя Херста изучаемых ВР находится в окрестности  $(0;1)$ , то соответственно получаем оценку  $D < 2$  [5, 7]. Отсюда вытекает вывод о том, что для данного исследования достаточно использовать фазовое пространство размерности  $\rho = 2$ .

Определение понятия «квазицикл» подробно описано в работе [6].

### **Обсуждение результатов**

Важная и примечательная особенность прогнозирования ВР «Кубань» состоит в том, что фазовый портрет состоит из непрерывной последовательности непересекающихся квазициклов, размерность которых равна году, то есть точно 12 месяцам. В целом траектория фазового портрета для ВР «Кубань» состоит из 16 непересекающихся квазициклов  $C_r$ ,  $r = 1, 2, \dots, 16$ . Квазициклы строятся с февраля месяца по январь, образуя тем самым 12-месячные циклы.

Большинство классических методов исследования стали доступны благодаря статистическим прикладным пакетам. Компьютер стал выполнять всю трудоемкую, рутинную и объемную работу по вычислению разных статистических показателей, построению диаграмм и графиков. Исследователю остается преимущественно творческая деятельность: постановка задачи, определение метода её решения, получение и анализ результатов исследования. Именно эту цель и преследует разработанная и представленная авторами в статье программа «Фазовый анализ» (среда Си++) для автоматической реализации расчетов фазового анализа (в соответствии с рис. 4). Эта программа имеет удобный интерфейс и дает возможность экономисту-эксперту реализовать аналитический процесс.

В терминах инструментария фазового анализа в качестве типичного квазицикла, присущего ВР «Кубань», на рис. 3 представлен отдельный годовой цикл, принадлежащий ВР  $Z$  (1).

Наряду с ВР «Кубань» (в соответствии с рис. 4а) построены фазовые портреты для ВР «Пшеница» (в соответствии с рис. 4б).

Последнее обусловлено существованием лага в работе алгоритма последовательного анализа. В данном случае размер этого лага равен 3. Вышеуказанный лаг представлен тремя точками 13, 14 и 15 (в соответствии с рис. 2а).

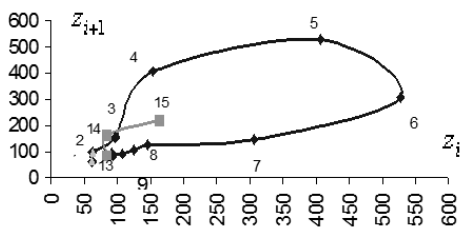


Рис. 2. Первый квазицикл фазового портрета  $\Phi_2(Z)$ , включая лаг – 13, 14, 15

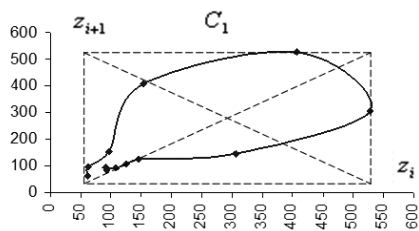
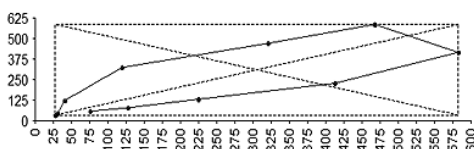
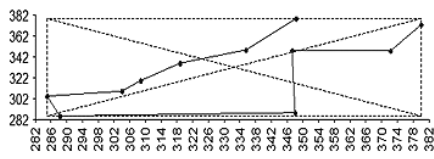


Рис. 3. Первый квазицикл ВР  $Z$ , размер которого равняется 12



а) ВР «Кубань»



б) ВР «Пшеница»

Рис. 4. Вкладка «Фазовые портреты» программы «Фазовый анализ»

В таблице представлены размерности  $L_k$  всех 16 квазициклов.

Таблица

Размерности всех квазициклов

$C_k$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$
$L_k$	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Обозначим через  $Z_k$  такой отрезок ВР  $Z$ , который получается процедурой удаления из  $Z$  всех точек наблюдения, относящихся к квазициклам  $C_1, C_2, \dots, C_{r-1}$ ; согласно этому определению  $Z_1 = Z$ .

Из таблицы вытекает вывод о том, что наличие долговременной памяти в рассматриваемом ВР наряду с другими факторами обусловлено также циклической компонентой этого ВР.

Для каждого квазицикла  $C_r$  строится «габаритный прямоугольник квазицикла  $C_r$ » [5]. Пересечение диагоналей габаритного прямоугольника определяет так называемый центр вращения квазицикла  $O_r$ , координаты которого обозначим  $O_r(x_r, y_r)$ .

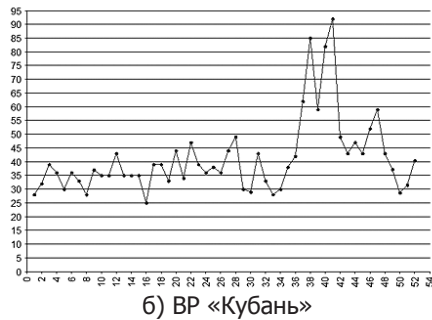
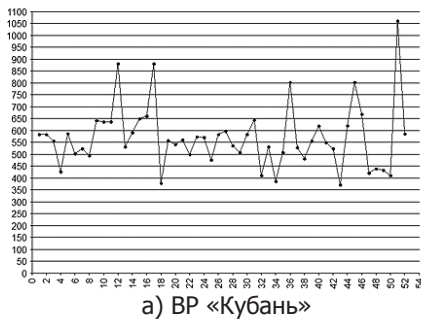


Рис. 5. Эволюция максимальных и минимальных значений по оси Ох ВР ежемесечных объемов стоков горной реки Кубань за период с 1926 года по 2003 год с учетом параметра времени.

Вкладки «Максимумы» и «Минимумы» программы «Фазовый анализ»

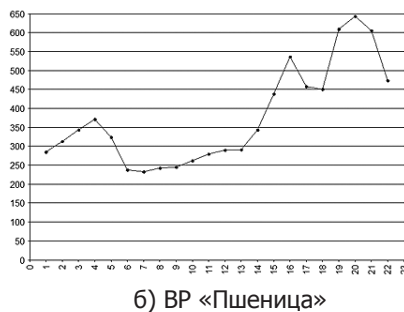
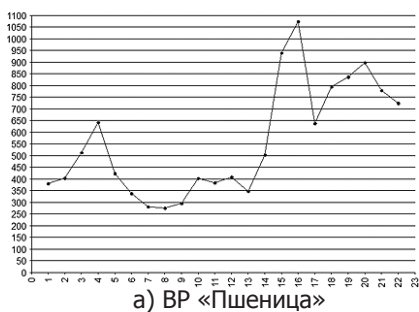


Рис. 6. Эволюция максимальных и минимальных значений по оси Ох ВР цен на пшеницу в американских центах за бушель с января 1993 года по декабрь 2014 года с учетом параметра времени.

Вкладки «Максимумы» и «Минимумы» программы «Фазовый анализ»

Перечислим выявленные особенности фазовых траекторий ВР «Кубань».

1. Фазовый портрет ВР «Кубань» состоит из квазициклов, размерность которых равна 12. Данный факт не противоречит результатам фрактального анализа, посвященного оценке глубины памяти ВР [4].

2. В проведенном исследовании каждое звено всех квазициклов имеет направление вращения по часовой стрелке. Габаритный прямоугольник можно разбить на 4 сектора прямыми линиями.

3. Центры квазициклов  $O_r(x_r, y_r)$ , в порядке их нумерации  $r = \overline{1, 72}$  эволюционируют по определенной траектории, точки которой расположены в достаточно малой окрестности биссектрисы положительного ортанта декартовых координат.

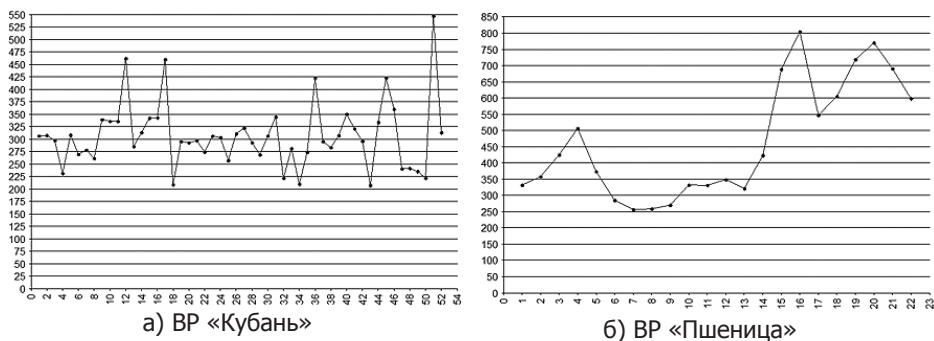


Рис. 7. Эволюция центров квазициклов исследуемых временных рядов

Координаты центров всех квазициклов определяют собой точки биссектрисы положительного ортанта  $X_r, X_{r+1}$  декартовых координат (в соответствии с рис. 8). Отметим, что траектория движения этих координат характеризуется внушительным размахом  $R \approx 550 - 200 = 350$ , что более чем в 1,5 раза превосходит точку минимума.

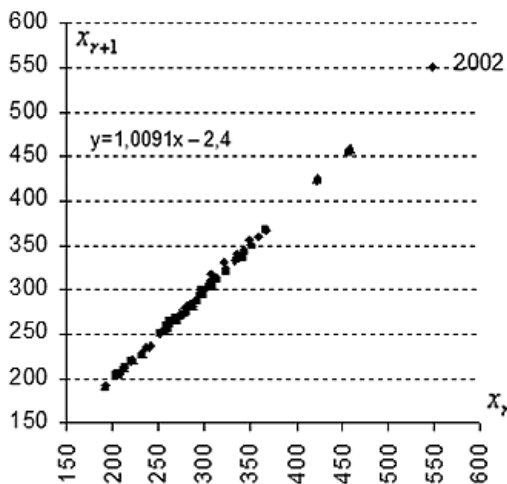


Рис. 8. Движение центров квазициклов ВР «Кубань»

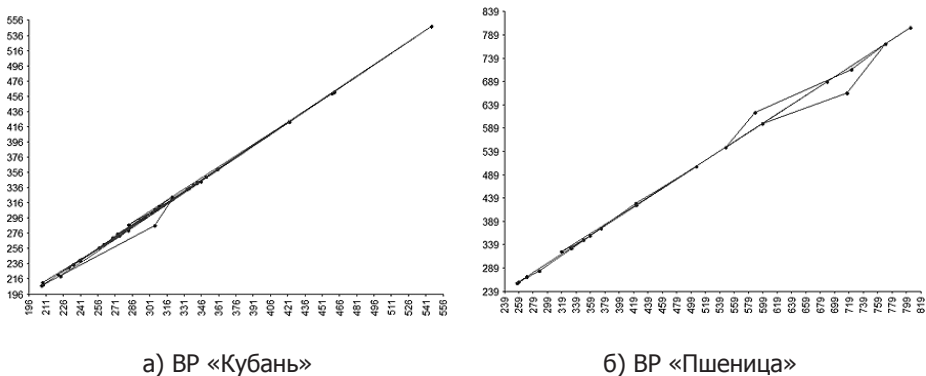


Рис. 9. Движение центров квазициклов ВР «Кубань» и «Пшеница»

В связи с вышесказанным представляет практический интерес определить долгосрочные тенденции, которым подчиняется движение центров габаритных прямоугольников. Для этого осуществлено разделение на рис. 10 на периоды: с 1926 г. по 1940 г. (в соответствии с рисунком 10а); с 1946 г. по 1987 г. (в соответствии с рис. 10б); с 1988 г. по 2003 г. (в соответствии с рис. 10в). Визуализация рисунка 8 выявляет следующую тенденцию: при приблизительно одном и том же значении  $\min \approx 200$  с течением времени растет значение размаха в следующем соотношении:  $R_1 \approx 350 - 200 = 150$  (в соответствии с рис. 10а),  $R_2 \approx 450 - 200 = 200$  (в соответствии с рис. 10б),  $R_3 \approx 550 - 200 = 350$  (в соответствии с рис. 10в). Известное высказывание климатологов о существовании общей тенденции потепления климата в северном полушарии подтверждает приведенный ряд значений величины размаха, т.к. наполнение горных рек определяется интенсивностью таяния ледников, особенно в летние месяцы.

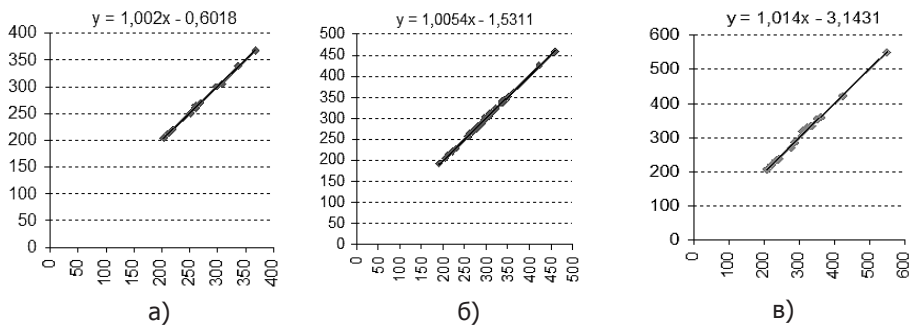


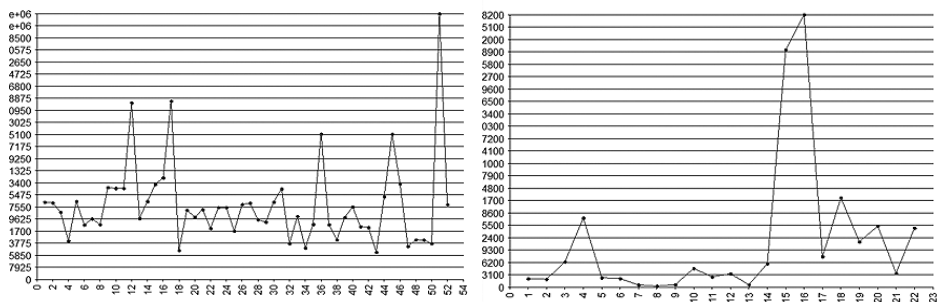
Рис. 10. Движение центров фазовых траекторий по периодам (с учетом параметра времени)



Рис. 11. Эволюционирование площадей габаритных прямоугольников с учетом параметра времени

4. Движение размеров (площади) габаритных прямоугольников квазициклов имеет циклический характер, что подтверждает визуализация рис. 11.

На основании проведенного анализа авторами предлагается следующий подход к прогнозированию ВР рассмотренного вида, который состоит из следующих шагов:



а) ВР «Кубань»

б) ВР «Пшеница»

Рис. 12. Эволюционирование площадей габаритных прямоугольников с учетом параметра времени.

Вкладка «Площади» программы «Фазовый анализ»

1. Проведение фрактального анализа ВР (1) с целью установления наличия долговременной памяти выявления оценки ее глубины. При этом получаем нечеткое множество  $L = L(Z) = \{(l, \mu_l)\}$  оценки глубины памяти ВР  $Z$ .

2. Построение фазового портрета  $\Phi_\rho(Z)$  для указанного ВР.

3. Разложение фазового портрета на квазициклы  $C_r$ .

4. Проведение анализа движения центров квазициклов  $O_r(x_r, y_r)$ , движения размеров площадей габаритных прямоугольников квазициклов, а также направлений вращения звеньев квазициклов.

5. Построение прогноза по принципу продолжения (достройки) соответствующего квазицикла с использованием результатов этапа 4 для двух случаев, когда последний квазицикл является:

а) незавершенным (используем габаритные размеры и характер вращения квазициклов с учетом сектора габаритного прямоугольника, которому принадлежит прогнозируемая точка);

б) завершенным (используем габаритные размеры и характер вращения квазициклов, но с учетом эволюции центров и переходов от завершающей точки одного цикла к начальной точке нового цикла).

### Заключение

Таким образом, предложенный подход отличается от классических методов прогнозирования новой реализацией учета трендов (эволюция центров и размеров габаритных прямоугольников), представляет собой новый инструментарий (фазовых портретов) для выявления циклической компоненты ВР, что в свою очередь позволяет выявить прогностические свойства исследуемых рядов [3] и таким образом определить пути снижения социально-экономических рисков.



### Список источников

1. Packard N.H., Crutchfield J.P., Farmer J.D., Shaw R.S. Geometry from a Time Series // *Physical Review Letters*, 1980, vol. 45, no. 9, pp. 712-716.
2. Винтизенко И.Г. Детерминированное прогнозирование в экономических системах // *Труды III международной конференции «Новые технологии в управлении, бизнесе и праве»*. Невинномысск, 2003, с. 163-167.
3. Кумратова А.М. Исследование тренд-сезонных процессов методами классической статистики // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*, 2014, no. 103, с. 312-323.
4. Кумратова А.М., Попова Е.В., Курносова Н.С., Попова М.И. Снижение экономического риска на базе предпрогнозного анализа // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2015, no. 3, с. 18-27.
5. Кумратова А.М., Попова Е.В. *Оценка и управление рисками: анализ временных рядов методами нелинейной динамики*. Краснодар, КубГАУ, 2014.
6. Окопная В.А., Перепелица Е.В., Попова Е.В. *Использование методологии нелинейных динамических систем в дискретной многокритериальной оптимизации*. Карачаево-Черкесский технологический институт. 1998.
7. Peters E.E. *Chaos and order in the capital markets*. John Wiley and Sons, 1991.

---

# LONG-TERM TRENDS OF NATURAL AND ECONOMIC PROCESSES' DETECTION TOOLS

---

**Popova Elena Vital'evna**<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Econ.), Prof.

**Kumratova Alfira Menligulovna**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Prof.

**Tret'yakova Natal'ya Vladimirovna**<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Econ.)

**Ponomareva Darya Nikolaevna**<sup>1</sup>, M.A. student

<sup>1</sup> Kuban State Agrarian University, Kalinina st., 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: elena-popov@yandex.ru; alfa05@yandex.ru

<sup>2</sup> Rostov State University of Economics (Cherkessk branch), Krasnaya st., 3, Cherkessk, Russia, 369000

*Purpose:* the article is devoted to the development and adaptation of mathematical and instrumental methods of analysis and risk management through preforecasting analysis of the dynamics of economic indicators.

*Discussion:* explore the value of time series of different cyclical nature (wheat prices and volumes of wastewater of a mountain river Kuban), obtained on the basis of the analysis phase. The peculiarity of the studied time series is not obeying a normal distribution law, there is no visible trend. *Results:* the article examines ways to reduce social and economic risk-based preforecasting analysis.

**Keywords:** time series, phase portrait, bounding box, quasicycles, phase analysis.

## Reference

1. Packard N.H., Crutchfield J.P., Farmer J.D., Shaw R.S. Geometry from a Time Series. *Physical Review Letters*, 1980, vol. 45, no. 9, pp. 712-716.
2. Vintizenko I.G. [Deterministic forecasting economic systems]. *Proceedings of the III International Conference «New Technologies in Management, Business and Law»*, Nevinnomyssk, 2003, pp. 163-167. (In Russ.)
3. Kumratova A.M. [Investigation trend-seasonal processes methods of classical statistics]. *Multidisciplinary network electronic scientific journal KubGAU*, 2014, no. 103, pp. 312-323. (In Russ.)
4. Kumratova A.M., Popova E.V., Kurnosova N.S., Popova M.I. Snizhenie ekonomicheskogo riska na base pred-prognoznogo analiza [Reducing economic risk-based analysis preforecasting]. *Modern Economics: Problems and Solutions*, 2015, no. 3, pp. 18-27. (In Russ.)
5. Kumratova A.M., Popova E.V. *Otsenka i upravlenie riskami: analiz vremennih riadov metodami nelineinoy dinamiki* [Risk assessment and management: time series analysis methods of nonlinear dynamics]. Krasnodar, KubGAU Publ., 2014. (In Russ.)
6. Okopnaya V.A., Perepelitsa V.A., Popova E.V. [Using the methodology of nonlinear dynamical systems in discrete multi-criteria optimization]. Karachai-Circassian Technological Institute, 1998. (In Russ.)
7. Peters E.E. *Chaos and order in the capital markets*. John Wiley and Sons, 1991.