

**Геннадий Павлович БЫСТРАЙ** —  
профессор кафедры общей и молекулярной физики  
Уральского государственного университета  
(г. Екатеринбург),

доктор физико-математических наук

**Лев Александрович КОРШУНОВ** —  
ректор Алтайского государственного  
технического университета (г. Барнаул),  
кандидат экономических наук, доцент  
korhunov@altrrc.ru

**Наталья Леонидовна НИКУЛИНА** —  
научный сотрудник  
Центра экономической безопасности  
Института экономики Уральского отделения РАН  
(г. Екатеринбург),  
кандидат экономических наук  
nikulinanl@mail.ru

**Иван Александрович ЛЫКОВ** —  
аспирант Уральского государственного  
университета (г. Екатеринбург)  
john-winner@yandex.ru

УДК 330.42

**ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ  
В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ\***

**DIAGNOSTICS AND FORECASTING OF SOCIAL AND ECONOMIC  
DEVELOPMENT OF REGIONS WITHIN THE LIMITS  
OF NONLINEAR DYNAMICS**

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассмотрено применение методов нелинейной динамики к экономике региона, в частности фрактального метода, с целью прогнозирования развития экономических систем с учетом времени достоверного прогноза на примере территорий Уральского федерального округа.

**SUMMARY.** The article considers the application of nonlinear dynamics methods, in particular the application of fractal method, for the purpose of forecasting the development of economic systems with the view of time of the authentic forecast. The application of these methods is discussed on the basis of the Ural federal district territories.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Нелинейная динамика, фрактальный метод, прогнозирование.

**KEY WORDS.** Nonlinear dynamics, fractal method, forecasting.

\* Работа частично финансировалась за счет целевой программы УрО РАН поддержки междисциплинарных проектов, выполняемых в содружестве с учеными СО и ДВО РАН, в рамках интеграционного проекта «Социально-экономический иммунитет региона: диагностика и прогноз защищенности от кризисных явлений» (проект №09-С-6-1001 «Диагностика состояния, моделирование тенденций и прогноз развития регионов России на период до 2030 г.»).

На сегодняшний день одной из наиболее популярных и активно развивающихся научных парадигм стала синергетика, или теория самоорганизации. В рамках синергетики для прогнозирования социально-экономического развития регионов возможно применение методов нелинейной динамики, среди которых можно выделить построение неравновесных потенциальных функций с целью определения устойчивости (локальной или глобальной) состояний региональной экономики [1], а также фрактальный метод, основанный на RS-анализе.

Небольшое количество точек временного ряда показателей рассматриваемого процесса является неким препятствием для построения адекватной экономико-математической модели. Использование для прогнозирования методов нелинейной динамики позволяет достроить временной ряд на определенные интервалы, учитывая при этом время достоверного прогноза.

Прогноз будущих значений временного ряда в работе производится с помощью модернизированного метода Херста [2]; [3]; [4]. Алгоритм построения следующей точки ряда при прогнозе заключается в переборе всех предполагаемых значений исследуемой величины с определенным шагом и вычисления для ряда, содержащего достроенную точку, функции нормированного размаха  $R(\tau)/S(\tau)$  и последующим ее сравнением с  $R(\tau)/S(\tau)$  функцией исходного ряда. Выбирается точка, дающая для прогнозируемого значения показателя такую же (или наиболее близкую) функцию Херста, какая была и для исходного ряда. Следовательно, и  $H^*(\tau)$  для достроенного на одну точку ряда должна максимально точно совпасть с  $H^*(\tau)$  для исходного ряда:

$$H^*(\tau_k) = \frac{\ln(R(\tau_{k+1})/S(\tau_{k+1})) - \ln(R(\tau_k)/S(\tau_k))}{\ln(\tau_{k+1}) - \ln(\tau_k)}, \quad (1)$$

где  $R(\tau)$  — функция абсолютного размаха;

$S(\tau)$  — стандартное отклонение;

$R(\tau)/S(\tau)$  — функция нормированного размаха (функция Херста);

$\tau$  — временной масштаб.

Затем берется следующая точка, рассматривается следующий временной промежуток (через год) и производятся те же действия. Аналогично поступают и для следующих точек.

Если проанализировать поведение  $H^*$  от временного масштаба  $\tau$ , то по его постоянству можно классифицировать ряд как фрактальный или нефрактальный. Если  $H^* = const$  на любом временном масштабе  $\tau$  и при этом  $H^* \neq const$ , то ряд можно считать статистически фрактальным с фрактальной размерностью  $D = 2 - H^*$ . Фрактальность при этом является характеристикой структуры экономических отношений, которая мало меняется с годами, так же как и сами экономические отношения в системе.

Если же функция  $H^*(\tau)$  испытывает скачок при каком-либо значении  $\tau^*$ , это означает, что существует некоторый характерный временной масштаб изменения фрактальной размерности  $D$ . При этом для периодических функций будет наблюдаться переход от  $H^* > 0,5$  к  $H^* < 0,5$ . Для рядов с локальной антиперсистентностью и глобальным поддержанием тенденции  $H^*(\tau)$  будет испытывать обратный скачок. Персистентностью называется свойство ряда к поддержанию тенденции ( $H > 0,5$ ), то есть если в прошлом была тенденция роста — рост будет наблюдаться и в будущем, если существовала тенденция к убыванию — в будущем она также сохраняется. Антиперсистентность в данном случае — это

склонность к смене тенденции ( $H < 0,5$ ). Рост в прошлом сменяется убыванием в будущем, и наоборот. В этом случае можно выделить характерное время изменения характера поведения исследуемого параметра, равное  $\tau^*$ , при котором и произошел скачок.

Таким образом, по поведению  $H^*(\tau)$  можно классифицировать временные ряды как статистически фрактальные, случайные, периодические, и выделить еще один тип — с глобальной персистентностью, который характерен для функций роста или убывания.

**Показатель Херста  $H$**  указывает на поддержание повышающей или понижающей тенденции, если  $H > 0,5$ . Значения  $H < 0,5$  указывают на склонность к смене тенденции, если в прошлом был рост — в будущем произойдет спад, и наоборот.

В результате анализа было выяснено, что более рационально применять данный метод к темпам изменения показателей, так как исследуемые временные ряды темпов имеют более сложную фрактальную структуру, чем временные ряды самих показателей.

**Время достоверного прогноза.** Предсказать конечный временной ряд больше, чем на половину его длины при помощи данного метода с приемлемой точностью невозможно, так как статистика на таких временных интервалах для исходного ряда становится довольно скудна. Также следует учитывать, что предсказание каждого последующего значения основывается, в том числе, и на предсказании предыдущего (для  $N+2$  точки и так далее), следовательно, статистическая точность предсказания снижается на каждом шаге алгоритма, то есть для каждой вновь предсказанной точки  $x^*(t_{N+n})$ , где  $n \geq 2$ . Это также накладывает ограничение на время прогноза сверху. Предсказание ряда даже на половину его длины становится невозможным.

В случае статистически нефрактальных временных рядов, для которых  $H^*$  существенно зависит от временного масштаба ( $H^*(\tau)$ ), максимальное время прогноза не может превышать значения временного масштаба  $\tau^*$ , начиная с которого функция  $H^*(\tau)$  стремится к 0,5. При этом значении теряется корреляция между прошлыми и будущими значениями временного ряда, то есть ряд становится случайным [2]; [4]. Данное значение  $\tau^*$  можно также считать максимальным временем достоверного прогноза ряда, как и величину  $t_r$ , определенную по показателям Ляпунова.

Для расчета предельного времени достоверного прогноза через положительный показатель Ляпунова используется формула Г.П. Быстрая, связывающая начальный фазовый объем  $\mu_0$ , занимаемый динамической системой; предельное значение фазового объема  $L$ , до которого расширяется фазовый объем системы и которое связано с размером описываемого аттрактора; и положительный показатель Ляпунова  $\lambda_p$  со временем забывания динамической системой начальных условий  $t_r$  [7]:

$$t_r = \frac{1}{\lambda_p} \cdot \ln \left( \frac{L}{\mu_0} \right). \quad (2)$$

В данном случае  $t_r$  является *максимальным временем достоверного прогноза*, то есть точного предсказания состояний нелинейной системы, так как за это время динамическая система полностью забывает свои начальные условия и возвращение в исходную точку из состояния в момент времени, больший  $t_r$ , невозможно.

На основе фрактального подхода авторами разработаны алгоритмы расчета и программный продукт по определению фрактальных характеристик и хаотических свойств динамических систем на уровне региона по временным рядам, на основании которых осуществляется прогноз поведения экономической системы. Это принципиально новый метод прогнозирования, который требует дополнительных исследований. Отличительной же особенностью программного продукта является автоматический режим всех расчетов, за исключением определения показателей Ляпунова. Ниже представлены результаты расчетов прогнозируемых значений темпов роста валового регионального продукта (ВРП), индекса потребительских цен и уровня безработицы\* для двух субъектов Уральского федерального округа: Курганской (территория с агропромышленной специализацией) и Свердловской областей (старопромышленная территория). Выбранные показатели позволяют провести экспресс-диагностику и выявить влияние финансово-экономического кризиса на социально-экономическое положение территорий. Диагностика экономической безопасности в разрезе сфер жизнедеятельности по расширенному списку показателей приведена в работах [5]; [6].

На рис. 1 и 2 приведен долгосрочный прогноз до 2030 г. показателя ВРП для анализируемых субъектов УрФО. Прогнозируемые точки вычислены с использованием описанного выше фрактального метода. Предполагается, что структура экономических отношений со временем меняется очень незначительно, несмотря на сильные изменения экономических показателей.

В 2010 г. по данным прогноза в Курганской области наблюдается увеличение ВРП по сравнению с 2008 и 2009 гг., а в 2011 г. — резкое уменьшение данного показателя. Расчеты для Свердловской области, показывают следующее: 2009–2011 гг. — снижение объемов ВРП, 2012 г. — повышение, что можно было бы объяснить сложившейся структурой экономических отношений в условиях кризиса, а также статистическим самоподобием (фрактальностью) временного ряда.

Прогноз остается справедливым до тех пор, пока фрактальные свойства временного ряда, соответствующие сложившейся структуре экономических отношений, не изменятся.

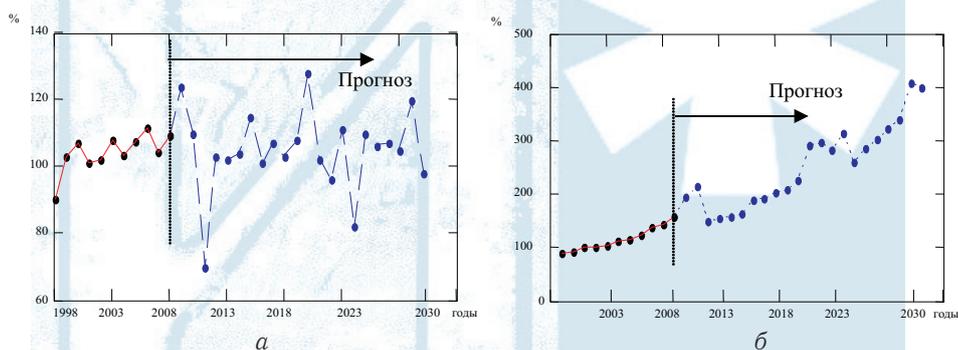


Рис. 1. Прогноз ВРП до 2030 г. для Курганской области:

а — % к предыдущему году; б — % к 1997 г.

Стрелкой здесь и на других рисунках обозначена временная область прогноза

\* Фактические значения ВРП, индекса потребительских цен и уровня безработицы приведены на основании материалов сайта Федеральной службы государственной статистики [www.gks.ru](http://www.gks.ru).

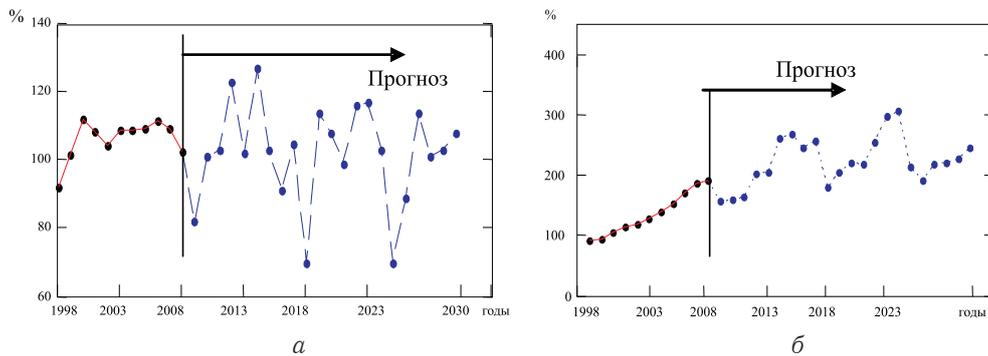


Рис. 2. Прогноз ВРП до 2030 г. для Свердловской области:  
 а — % к предыдущему году; б — % к 1997 г.

Аналогичные расчеты с использованием методов нелинейной динамики проведены для индекса потребительских цен и уровня безработицы (рис. 3 и 4). Индекс потребительских цен и Свердловской, и Курганской областей будет расти. В Свердловской области, по данным прогноза, будет наблюдаться снижение только в 2024 году.

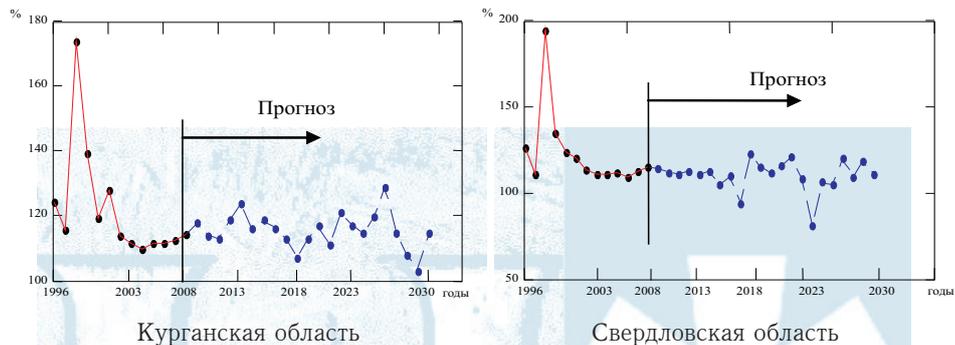


Рис. 3. Прогноз индекса потребительских цен до 2030 г.,  
 % декабрь к декабрю предыдущего года

Прогнозируется, что уровень безработицы в Курганской области в 2010-2011 гг. останется на уровне 2008 г., в 2012 году будет наблюдаться повышение значений данного показателя. В Свердловской области к 2010 г. уровень безработицы повысится по сравнению с 2008 г., в 2011-2012 гг. — снизится.

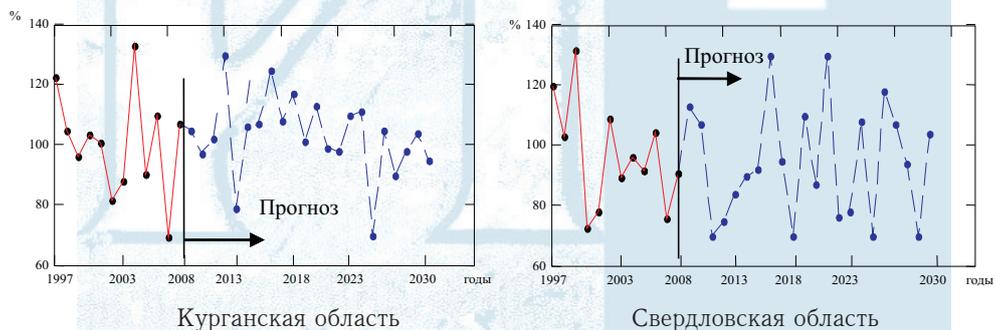


Рис. 4. Прогноз темпов уровня безработицы до 2030 г., % к предыдущему году

Для временных рядов показателей экспресс-диагностики социально-экономического развития территории исследованы их хаотические свойства:

1. Хаотические временные ряды по годам.
2. Псевдофазовый портрет.
3. Фазовый портрет.
4. Показатель Херста  $H$ .
5. Фрактальная размерность  $D$ .
6. Корреляционная функция  $C$ .
7. Прогноз будущих значений.
8. Показатели Ляпунова.
9. Максимальное время достоверного прогноза  $t_r$ .
10. Энтропия Колмогорова.
11. Сжатие фазового объема как характеристика состояния устойчивости.
12. Спектр пульсаций и характерные частоты.

Из 12 характеристик временных рядов свойства 1-3, 6, 10-12 являются в прогнозировании вспомогательными, указывая, в том числе на хаотичность описываемых процессов, а свойства 4, 5, 7-9 необходимы для вычисления показателя Херста, фрактальной размерности, показателей Ляпунова, времени достоверного прогноза, и, следовательно, прогнозирования данных процессов.

В таблице приведены расчеты времени *достоверного* прогноза для анализируемых показателей Курганской и Свердловской областей.

Таблица

**Время достоверного прогноза, лет**

Показатели	Курганская область	Свердловская область
Темпы роста ВРП, % к предыдущему году	1,59	0,504
Индекс потребительских цен, декабрь к декабрю предыдущего года	0,242	2,983
Уровень безработицы, % к предыдущему году	2,45	0,57

С помощью фрактального подхода в рамках нелинейной динамики разработана методика анализа и прогнозирования поведения временных рядов экономических систем регионального уровня. Если устремить длину исходного ряда к бесконечности, и при этом окажется, что ряд является статистически фрактальным, то возможно его неплохое (статистически) предсказание на интервалы времени, существенно превышающие длину самого ряда. Используемый в работе метод Херста (метод функций нормированного размаха) можно применять с хорошей точностью даже к относительно небольшим массивам данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршунов Л.А., Быстрой Г.П. Детерминированное непериодическое изменение валового регионального продукта // Экономика региона. 2010. № 1. С. 196-201.
2. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 254 с.
3. Hurst, H.E. Long-term storage capacity of reservoirs. Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 1951.
4. Быстрой Г.П., Николаева Е.В., Журкина А.В. Рыбалко А.А. Валютные рынки: математическое моделирование хаотических состояний. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 61 с.
5. Татаркин А.И., Куклин А.А., Черепанова А.В. Социально-демографическая безопасность регионов России: текущее состояние и проблемы диагностики // Экономика региона. 2008. № 3 (15). С. 153-161.

6. Денисова О.А., Пыхов П.А. Оценка современного и перспективного состояния УрФО с позиций энергетической безопасности // Экономика региона. 2008. Приложение к № 4 (16). С. 52-61.

7. Быстрой Г.П. Термодинамика открытых систем: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. 120 с.

**Анатолий Леонидович МЫЗИН** —  
профессор кафедры автоматизированных  
электрических систем  
Уральского государственного технического  
университета — УПИ (г. Екатеринбург),  
доктор технических наук  
stas@daes.ustu.ru

**Павел Аркадьевич ПЫХОВ** —  
научный сотрудник Института экономики УрО РАН  
(г. Екатеринбург),  
кандидат экономических наук  
papihov@mail.ru

**Оксана Александровна ДЕНИСОВА** —  
ведущий экономист Института экономики УрО РАН  
(г. Екатеринбург)  
dennioks@mail.ru

УДК 338.246:658.26

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ РОССИИ В ДИНАМИКЕ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ\***

### **DIAGNOSTICS RESULTS OF POWER SAFETY IN THE REGIONS OF RUSSIA IN DYNAMICS OF LATE YEARS**

**АННОТАЦИЯ.** В статье описываются результаты диагностирования энергетической безопасности территорий Российской Федерации, осуществленного по авторской методике. Дан анализ полученных результатов, выделены основные проблемы в обеспечении энергобезопасности территорий страны.

**SUMMARY.** Diagnostics results referred to energy security in the territories of the Russian Federation have been described in the article; the given diagnostics was implemented according to the author's methodology. The obtained results have been analyzed and the basic problems of energy security in Russian territories have been emphasized.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Энергетическая безопасность, регионы, диагностика состояния

**KEY WORDS.** Energy security, regions, condition diagnostics.

Несмотря на то, что исследованиям энергетической безопасности посвящено множество работ, актуальность этой проблемы не только не снижается, но наоборот, все более возрастает. По-видимому, это связано с развитием техни-

\* Исследование выполнено при поддержке РГНФ (проект № 08-02-00031а).