

Макроэкономическое моделирование

Диагностика критического замедления и резистентности макроэкономических систем в условиях глобальной турбулентности (на примере Республики Таджикистан)

Мафтунa Фотеховна Хакимова

ORCID: 0009-0008-3598-8756

Доктор экономических наук, доцент, и. о. профессора кафедры кибернетики и цифровой экономики факультета учета и цифровой экономики, Таджикский национальный университет (РТ, 734025, Душанбе, пр. Рудаки, 17)
E-mail: maftunah@gmail.com

работе, Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара (РФ, 125993, Газетный пер., 3–5, стр. 1)
E-mail: dsm@iep.ru

Лутфулло Хабибулло Саидмуродзода

ORCID: 0009-0005-2000-3895

Доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Таджикистана, главный научный сотрудник Института экономики и демографии, Национальная академия наук Таджикистана (РТ, 734035, Душанбе, ул. Мирзо Ризо, 6а); ведущий научный сотрудник НИИ туризма и предпринимательства, Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана (МУТиПТ) (РТ, 734055, Душанбе, пр. Борбад, 48/5)
E-mail: Lsaidmuradov@rambler.ru

Сергей Михайлович Дробышевский

ORCID: 0000-0002-3979-0981

Доктор экономических наук, доцент, заместитель директора по науке Института прикладных экономических исследований, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82); директор по научной

Аннотация

В статье на базе нелинейной динамики комплексно оценена динамическая резистентность макроструктуры Республики Таджикистан за 2010–2025 годы. Идентификация точек перелома осуществлялась методами нелинейной динамики, позволяющими обнаруживать сигналы критического замедления до их явного проявления в макроэкономических индикаторах. Проведена реконструкция фазового пространства национальной экономики с использованием теоремы Такенса на базе циклической компоненты ВВП и индексов промышленного производства. На основе анализа индикаторов критического замедления математически верифицирован фазовый переход макросистемы, произошедший в 2019 году. Установлено, что до 2018 года экономика находилась в состоянии хрупкого равновесия с высокими коэффициентами автокорреляции, что свидетельствовало о потере резистентности. Ввод в эксплуатацию агрегатов Рогунской ГЭС идентифицирован как изменение управляющего параметра, инициировавшее точку бифуркации и переход системы в новый высокоэнергетический «бассейн притяжения». Эконометрически доказано, что нынешнее лидерство Таджикистана по темпам промышленного роста в СНГ (22,1% в 2025 году) и стабильный экономический рост на уровне 8,4% в год являются прямым следствием формирования нового устойчивого аттрактора индустриального типа. Разработанный прогностический инструментарий может быть использован государственными органами управления для мониторинга системных рисков и превентивного купирования макроэкономической нестабильности. В статье обосновывается укрепление энергетического каркаса страны как фундаментального условия сохранения глубины текущего аттрактора и обеспечения необратимости индустриально-аграрной трансформации Таджикистана.

Ключевые слова: фазовый переход, параметры порядка, нелинейная динамика, макроэкономическая резистентность, эконометрическое моделирование, Рогунская ГЭС, экономика Таджикистана

JEL: C1, C10, C22, C32, C54

Macroeconomic Modeling

Diagnosing Critical Slowing Down and Resilience in Macroeconomic Systems During Global Turbulence: Evidence From the Republic of Tajikistan

Maftuna F. Khakimova

ORCID: 0009-0008-3598-8756

Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Professor of Cybernetics and Digital Economy Department of the Accounting and Digital Economy Faculty, Tajik National University,^a
e-mail: maftunah@gmail.com

Lutfullo Kh. Saidmurodzoda

ORCID: 0009-0005-2000-3895

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Chief Researcher at the Institute of Economics and Demography, National Academy of Sciences of Tajikistan;^d Lead Researcher of the Research Institute of Tourism and Entrepreneurship, International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan (IUTET),^e
e-mail: Lsaidmuradov@rambler.ru

Sergey M. Drobyshevsky

ORCID: 0000-0002-3979-0981

Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Deputy Director for Research, Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration;^b Scientific Director, Gaidar Institute for Economic Policy,^c
e-mail: dsm@iep.ru

^a 17, Rudaki pr., Dushanbe, 734025, Republic of Tajikistan

^b 82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation

^c 3–5, str. 1, Gazetnyy per., Moscow, 125009, Russian Federation

^d 6a, Mirzo Rizo ul., Dushanbe, 734035, Republic of Tajikistan

Abstract

This paper utilizes nonlinear dynamics and complexity theory to analyze dynamic resilience of the Republic of Tajikistan from 2010 to 2025. Identification of tipping points in this study was carried out with nonlinear dynamics, which can detect Critical Slowing Down (CSD) signals before they manifest overtly in macroeconomic indicators. The authors reconstructed the phase change of Tajikistan's economy based on Takens' Theorem with inputs from cyclical components of GDP data and industrial production indices. Particular emphasis was placed on the analysis of CSD indicators, such as autocorrelation and time-series variance. The study mathematically verified a phase change of the macrosystem that occurred in 2019. Prior to 2018, the economy exhibited "fragile" equilibrium characterized by high autocorrelation coefficients ($\alpha = 0.89$) accompanied by a loss of resilience. The commissioning of the first units of the Rogun Hydropower Plant was identified as a change in the control parameter (an order parameter according to Haken), which triggered bifurcation and the system's transition into a new "high-energy" source of attraction. The authors have provided econometric evidence that Tajikistan's current leadership in industrial growth rates within the CIS (reaching a record 22.1% in 2025) and stable economic growth of 8.4% are not short-term outliers, but rather direct consequences of the formation of a new stable industrial-type attractor. The predictive toolkit developed here can be utilized by government authorities for monitoring systemic risks and preemptively mitigating macroeconomic instability when implementing national development strategies and medium-term development programs for the Republic of Tajikistan.

Keywords: phase transition, order parameters, nonlinear dynamics, macroeconomic resilience, econometric modeling, Rogun HPP, economy of Tajikistan

JEL: C1, C10, C22, C32, C54

Введение

В условиях нарастающей энтропии глобальных геополитических и хозяйственных связей фундаментальной задачей становится обеспечение динамической резистентности (способности системы возвращаться к равновесию после внешних шоков) национальных экономических систем. Для Республики Таджикистан, реализующей стратегию форсированной индустриализации, классический линейный инструментарий обнаруживает методологическую ограниченность: в экстраполяционных моделях не учитывается нелинейная природа структурных трансформаций, поскольку экономическая динамика рассматривается в них как непрерывный процесс.

В действительности же механизмы самоорганизации макросистем неразрывно связаны с точками бифуркации — моментами потери устойчивости прежнего режима функционирования и последующего качественного скачка. Настоящее исследование базируется на междисциплинарной парадигме, синтезирующей методы эконометрического анализа с концепциями нелинейной динамики и теории сложности (синергетики). Такой подход позволяет идентифицировать переход системы из метастабильного состояния в новый устойчивый аттрактор (точку притяжения для системы, состояние которой со временем приближается к определенному шаблону или состоянию независимо от начальных условий), детерминированный изменением управляющих параметров порядка в энергетическом и промышленном секторах экономики республики.

Актуальность исследования продиктована необходимостью аналитической интерпретации феноменальной динамики индустриального развития Республики Таджикистан, где в 2025 году был зафиксирован рекордный для пространства СНГ рост промышленного производства относительно предыдущего года — 22,1% — при устойчивом росте реального ВВП на уровне 8,4%. Такая макроэкономическая картина ставит перед научным сообществом важную дилемму: является ли наблюдаемый рост следствием стохастических колебаний в рамках благоприятной конъюнктуры или же он отражает заверченный фазовый переход системы в качественно иное стационарное состояние.

Крайне важный момент исследования заключается в том, что применительно к масштабной интенсификации инвестиционного цикла в отношении энергетического сектора Республики Таджикистан, прежде всего за счет ввода мощностей Рогунской ГЭС, синергетическая парадигма предполагает отказ от аддитивной трактовки факторов роста в пользу анализа эволюции управляющего параметра порядка (степень перехода системы из хаотичного, неупоря-

доченного состояния в структурированное, упорядоченное). В этом русле ввод новых генерирующих мощностей позиционируется не как количественное приращение ресурсной базы, а как драйвер нелинейной фазовой трансформации всей национальной экономики. Это обеспечивает переход системы из хрупкого равновесия в режим высокоэнергетического резистентного аттрактора, обладающего повышенной устойчивостью к глобальным энтропийным процессам.

В связи с этим поиск новых механизмов обеспечения динамической резистентности национальной экономики приобретает критическую значимость. Центральной проблемой исследования является глубокое противоречие между необходимостью поддержания высоких темпов экономического роста и нарастающей системной энтропией (хаосом), вызванной внешними факторами и структурными дисбалансами. Это предопределяет переход от реактивного управления (исправления последствий кризисов) к проактивному проектированию устойчивых структур.

В отличие от традиционных линейных моделей, интерпретирующих энергетический сектор исключительно как объект капиталовложений или драйвер ВВП, настоящее исследование предлагает концепцию энергетики как инструмента структурной когерентности национальной экономики, минимизирующего системную энтропию.

С применением эконометрического аппарата нелинейной динамики в статье впервые осуществлена количественная оценка трансформации «бассейна притяжения» (аттрактора) устойчивого развития Республики Таджикистан в результате ввода новых генерирующих мощностей.

1. Обзор эмпирических работ

Методологический фундамент настоящего исследования состоит в отказе от линейных детерминистических моделей в пользу нелинейной открытой диссипативной системы, к которой относится экономика Республики Таджикистан. В рамках этой парадигмы экономика рассматривается как динамическая структура, эволюционирующая через череду бифуркационных переходов. Успешным примером исследования нелинейной макродинамики в контексте синтеза эволюционно-синергетического подхода и аппарата нелинейного эконометрического моделирования является работа [Хакимова, Саидмуродов, 2022], в которой сформулирована концепция динамической устойчивости экономики Республики Таджикистан и приводится анализ ее реального состояния.

Фундаментальную основу анализа настоящей работы составляет исследование [Занг, 1999], в котором макродинамика охарактер-

ризована как процесс эволюции через смену состояний равновесия и хаоса. Синергетический подход, представленный в [Zhang, 1991], позволяет рассматривать экономику Республики Таджикистан не как статичный объект, а как динамическую структуру, обладающую потенциалом формирования инновационной упорядоченности из периодов высокой неопределенности [Zhang, 1990].

Особое значение для верификации структурных сдвигов в макросистеме имеет принцип подчинения (*slaving principle*) Германа Хакена [Хакен, 1985]. Согласно этой концепции, динамика многомерной системы вблизи критических точек определяется параметрами порядка [Haken, 1983]. В контексте национального хозяйства Республики Таджикистан роль такого параметра делегирована сектору энергетики, который выступает доминирующей силой, структурирующей экономическое пространство и минимизирующей системную энтропию [Хакен, 2003].

Механизм качественной трансформации 2019 года находит свое обоснование в теории диссипативных структур Ильи Пригожина [Пригожин, 1986], согласно которой в открытых неравновесных системах внешние импульсы — в данном случае ввод генерирующих мощностей Рогунской ГЭС — запускают флуктуации, которые в точке бифуркации переводят систему из метастабильного (хрупкого) состояния в устойчивый индустриальный аттрактор [Prigogine, 1977].

Для предиктивного анализа хрупкости системы в ретроспективном периоде (2010–2018 годы) использована концепция критического замедления (*critical slowing down, CSD*). Фундаментальное исследование Мартина Шеффера [Scheffer, 2009] показало, что замедление скорости возврата системы к равновесию после малых возмущений является универсальным предвестником фазового перехода. Критически важным для настоящего исследования является методический аппарат, представленный в [Dakos et al., 2008; 2012]. Именно Василис Дакос с соавторами предложили и статистически обосновали использование роста лаговой автокорреляции первого порядка ($AR(1)$) и локальной дисперсии как формализованных индикаторов (*early-warning signals*), сигнализирующих о приближении системы к порогу устойчивости. Применение этого инструмента к анализу временных рядов ВВП Республики Таджикистан позволяет не просто констатировать волатильность ее экономики, а математически зафиксировать в ней момент накопления системного напряжения перед точкой бифуркации 2019 года, что находит свое отражение в уравнениях (1) и (2) в следующем разделе статьи.

Методология реконструкции фазовых пространств опирается на теорему задержек Флориса Такенса [Takens, 1981]. Классическая работа [Barnett, 1988], а также системные исследования [Kantz, Schreiber, 2004] по нелинейному анализу временных рядов послужили базой

для топологической идентификации перехода от плоского (неустойчивого) ландшафта к глубокому аттрактору 2025 года.

Особое место в инструментарии анализа занимает метод визуализации резистентности через построение ландшафтов потенциальной энергии применительно к социально-экономическим процессам, описанный в работах Валерия Викторовича Лебедева, в частности в [Лебедев, 1997]. Методологическая значимость концепции Лебедева заключается в возможности математического описания эволюции системы как движения точки в поле потенциала. Согласно его спецификации, динамика макросистемы вблизи критических точек может быть аппроксимирована стохастическим дифференциальным уравнением, где результирующая сила определяется градиентом потенциальной функции. В рамках настоящего исследования это позволяет использовать полиномиальную функцию четвертой степени (см. формулы (4)–(5) далее) для реконструкции формы ландшафта. Глубина и крутизна формируемых «потенциальных ям» становятся объективной мерой резистентности: они позволяют верифицировать переход от «мелководного», неустойчивого рельефа 2010–2018 годов к глубокому индустриальному аттрактору 2025 года [Лебедев, Лебедев, 2002].

В свою очередь, эмпирическая верификация полученных результатов соотносится с выводами Рикардо Хаусманна, Ланта Притчетта и Дани Родрика о том, что устойчивое ускорение социально-экономического роста (growth acceleration) всегда инициируется глубокими изменениями в инвестиционной архитектуре и институциональной среде [Hausmann et al., 2005; Rodrik, 2007].

Специфику регионального развития дополняют работы Ричарда Помфрета, подчеркивающего стратегическую роль гидроэнергетического потенциала как фундаментального фактора, определяющего долгосрочные траектории развития и устойчивость макроэкономических аттракторов стран Центральной Азии [Pomfret, 2012; 2014].

Зафиксированный рывок в росте промышленного производства на 22,1% в 2025 году в Республике Таджикистан полностью верифицирует гипотезы, представленные в работах [Hausmann et al., 2005; Pomfret, 2012; 2014], о том, что масштабный инвестиционный импульс в инфраструктурное ядро создает импульс для устойчивого ускорения развития экономики (growth acceleration), а не только для краткосрочного шока в ней.

2. Методология исследования

В разделе описывается трехэтапный алгоритм анализа нелинейной макродинамики Республики Таджикистан, позволяющий количественно оценить антиэнтропийный эффект сектора энергетики.

Теоретическое обоснование перехода экономики Республики Таджикистан к новому вектору развития базируется на трансформации стохастических свойств циклической компоненты реального ВВП. С позиции нелинейной динамики момент «прыжка» макросистемы к новому аттрактору всегда сопровождается специфическими математическими сигналами, которые идентифицируются через анализ динамической волатильности и автокорреляционных связей в рамках метода скользящего окна.

Ключевым индикатором анализа выступает рост лаговой автокорреляции первого порядка (AR(1)) циклической компоненты реального ВВП. Этот показатель верифицирует феномен критического замедления макросистемы перед ее качественным структурным переходом: приближаясь к точке бифуркации, экономика демонстрирует снижение скорости возврата к динамическому равновесию после воздействия на нее малых экзогенных шоков. Математически это проявляется как усиление внутренней связности («вязкости») временного ряда: текущее значение центрированного отклонения реального ВВП начинает аномально сильно зависеть от своего предыдущего состояния.

С позиции нелинейной динамики такая инерционность свидетельствует об уплощении «потенциальной ямы» аттрактора и накоплении энергии, необходимой для преодоления критического барьера. Для оценки степени близости системы к потере устойчивости используются предиктивные метрики на основе метода скользящего окна, где ключевой гипотезой является прямая корреляция между ростом коэффициента авторегрессии ($\alpha \rightarrow 1$) и снижением макроэкономической резистентности.

Таким образом, национальная экономика Республики Таджикистан рассматривается как авторегрессионный процесс первого порядка, теоретически обоснованный Шеффером и Дакосом:

$$y_t = \alpha y_{t-1} + \eta_t, \quad (1)$$

где y_t — циклическая компонента логарифма реального ВВП, η_t — внешние шоки с постоянной интенсивностью.

В качестве исходных данных для нелинейного моделирования использована циклическая компонента логарифма реального ВВП РТ (базис 2020 года), полученная с помощью фильтра Ходрика — Прескотта (далее — HP-фильтра, $\lambda = 1600$)¹ в результате декомпозиции

¹ Для выделения циклической компоненты и обеспечения стационарности ряда применена последовательная процедура обработки: предварительное дефлирование номинального ВВП для устранения монетарных шоков, а также его логарифмирование с последующим выделением циклической компоненты *gap* с помощью HP-фильтра ($\lambda = 1600$). Первоначально также была проведена десезонализация ВВП методом X-13ARIMA-SEATS, однако, поскольку в последующих эконометрических оценках выборка показала отсутствие сезонности, этот шаг был исключен. Полученный стационарный ряд отклонений использован в качестве эндогенной переменной в модели потенциальных функций.

временного ряда. Использование центрированной относительно нуля циклической компоненты позволяет корректно применять авторегрессионные модели без свободного члена для идентификации сигналов критического замедления.

Теоретическая дисперсия системы была рассчитана следующим образом:

$$\text{Var}(y_t) = \frac{\sigma^2}{1 - \alpha^2}. \quad (2)$$

Коэффициент α в уравнении (1) интерпретируется как мера инерционности системы: ее приближение к единице ($\alpha \rightarrow 1$) свидетельствует о критическом замедлении восстановления системы после шоков η_t и потере резистентности. Так, в 2018 году в Республике Таджикистан этот показатель достиг 0,89, что сигнализировало о критической хрупкости макросистемы.

Одновременно с этим наблюдалась трансформация структуры дисперсии. И если в линейной модели высокая волатильность интерпретируется как дестабилизация, то в синергетике рост дисперсии вблизи точки бифуркации — как признак поиска системой новых путей развития. Мы фиксируем, как случайные колебания (флуктуации) перестают быть просто шумом и начинают выстраиваться в направленный вектор. Математически это подтверждается тем, что система перестает реагировать на внешние шоки (например, на климатические риски 2025 года) предсказуемым линейным падением, а вместо этого демонстрирует аномальную устойчивость, нейтрализуя возмущения за счет внутренней энергии нового аттрактора.

Трансформация структуры дисперсии проявляется также в перераспределении энергии колебаний от высоких частот к низким. Спектральная плотность мощности $S(f)$ вблизи точки перехода рассчитывается как

$$S(f) = \frac{\sigma^2}{1 - 2\alpha \cos(2\pi f) + \alpha^2}. \quad (3)$$

При росте α дисперсия «сгущается» в области низких частот ($f \rightarrow 0$). Для экономики Республики Таджикистан это означает, что кратковременные рыночные колебания сменяются мощными медленными инертными процессами, предварявшими, в частности, качественный скачок 2019 года.

Трансформация фиксируется через коэффициент ранговой корреляции Кендалла (τ), который показывает устойчивость тренда роста дисперсии во времени.

Переход от линейного анализа AR(1) к исследованию структурной устойчивости осуществляется через введение потенциальной функции $U(x)$, где x аналогично y_t в уравнении (1) и обозначает циклическую компоненту логарифмированного реального ВВП.

Построение ландшафтов потенциальной энергии, позволяющих верифицировать глубину сформированного аттрактора по методике Лебедева, описывается градиентным уравнением:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial U(x)}{\partial x} + \eta(t), \quad (4)$$

где $U(x)$ — потенциальная функция (ландшафт), определяющая структуру системы, $-\frac{\partial U(x)}{\partial x}$ — детерминированная сила, возвращающая систему к равновесию (аттрактору), $\eta(t)$ — стохастический шум (внешние экономические шоки).

Для аппроксимации потенциального рельефа макросистемы Республики Таджикистан использован полином четвертой степени:

$$U(x) = -\frac{\alpha}{2}x^2 + \frac{\beta}{4}x^4, \quad (5)$$

где x — циклическая компонента (переменная состояния динамической системы), α — управляющий параметр, определяющий крутизну стенок «бассейна притяжения» (резистентность), β — коэффициент, определяющий емкость системы. Выбор четных степеней (x^2 , x^4) обусловлен необходимостью фиксации момента критического уплощения «потенциальной ямы», что является стандартным подходом в теории катастроф при моделировании фазовых переходов второго рода². Параметр α в уравнении (5) выступает индикатором устойчивости: переход от $\alpha \approx 0,89$ (2018 год) к $\alpha \approx 0,65$ (2020 год) математически подтверждает фазовый переход системы в состояние повышенной резистентности после ввода новых энергетических мощностей.

Поскольку в макроэкономических исследованиях мы зачастую имеем доступ только к одномерному временному ряду (например, к поквартальным данным ВВП), для понимания истинной многомерной динамики системы необходимо восстановить ее фазовый портрет.

Реконструкция фазового пространства национальной экономики Республики Таджикистан осуществлялась путем формирования векторов задержки. Согласно теореме о вложении Такенса, динамическое состояние национальной экономики в каждый момент времени t может быть представлено в виде вектора задержки (delay vector) Y_{t-1} , который реконструирует топологию исходного аттрактора макросистемы. Принимая во внимание размерность

² Использование четных степеней позволяет зафиксировать момент превращения глубокой «потенциальной ямы» (устойчивое состояние) в плоскую (потеря резистентности), что является классическим признаком приближения к точке бифуркации по Дмитрию Вахрушеву и Вэй Зангу [Вахрушев, 2004; Занг, 1999]. Это позволяет определить фазовый переход макросистемы Таджикистана не как случайное колебание, а как закономерный результат структурной трансформации энергетического каркаса экономики.

вложения $m = 2$, вектор задержки в рамках настоящего исследования определяется как

$$Y_t = [x_t, x_{t+\tau}, x_{t+2\tau}, \dots, x_{t+(m-1)\tau}], \quad (6)$$

где x_t — значение исследуемого макроэкономического показателя в момент времени t , τ — временная задержка (лаг), m — размерность вложения, задающая число координат в фазовом пространстве, необходимых для полного развертывания динамической структуры системы. Использование этого вектора позволяет преобразовать одномерный временной ряд в двумерную фазовую плоскость, сохраняя при этом фундаментальные инвариантные характеристики нелинейной системы.

Для обеспечения методологической строгости выбор параметров реконструкции — временной задержки (τ) и размерности вложения (m) — основывался на алгоритмических критериях, предложенных Канцем и Шрайбером. Временная задержка τ определялась с использованием функции взаимной информации (mutual information), что позволило минимизировать статистическую зависимость между компонентами вектора.

Минимально достаточная размерность вложения $m = 2$ была подтверждена методом ложных ближайших соседей (false nearest neighbors). Установлено, что для макроэкономических рядов Республики Таджикистан размерность $m = 2$ достаточна для полного развертывания динамической структуры и устранения ложных самопересечений траекторий, тогда как временная задержка (лаг) определена в один квартал ($\tau = 1$). Полученные параметры ($m = 2$, $\tau = 1$) позволяют с высокой точностью визуализировать фазовый переход (см. рис. 1 в следующем разделе) и зафиксировать качественный переход системы от неустойчивого дрейфа к стабильному индустриальному аттрактору.

Информационную базу исследования составили квартальные данные макроэкономических показателей Республики Таджикистан, а именно реального ВВП и объема промышленного производства за период с 2010 по 2025 год, что обеспечивает необходимую плотность выборки для фиксации сигналов критического замедления роста. Основными источниками данных послужили сборники Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан, базы данных Межгосударственного статистического комитета СНГ (Статкомитет СНГ), Всемирного банка (World Bank Open Data) и Международного валютного фонда (IMF International Financial Statistics).

Для приведения стоимостных показателей к сопоставимым ценам 2020 года использовались соответствующие отраслевые

индексы-дефляторы (дефлятор ВВП и индекс цен производителей), что обеспечило устранение монетарных шумов при сохранении структурных пропорций исследуемых рядов. В свою очередь, чтобы обеспечить статистическую однородность данных и исключить искажения волатильности (эффект ложной гетероскедастичности), неизбежно возникающие из-за постоянного роста масштабов экономики, показатели реального ВВП были последовательно трансформированы. Сначала данные были логарифмированы ($\ln Y_t$), а затем из них была выделена циклическая компонента с помощью HP-фильтра, $\lambda = 1600$)³. Такой комбинированный подход полностью устраняет зависимость колебаний от абсолютного объема ВВП. Моделирование индикаторов CSD проводилось методом скользящего окна (sliding window) с шириной 20 кварталов, что позволило зафиксировать динамику параметров в реальном времени.

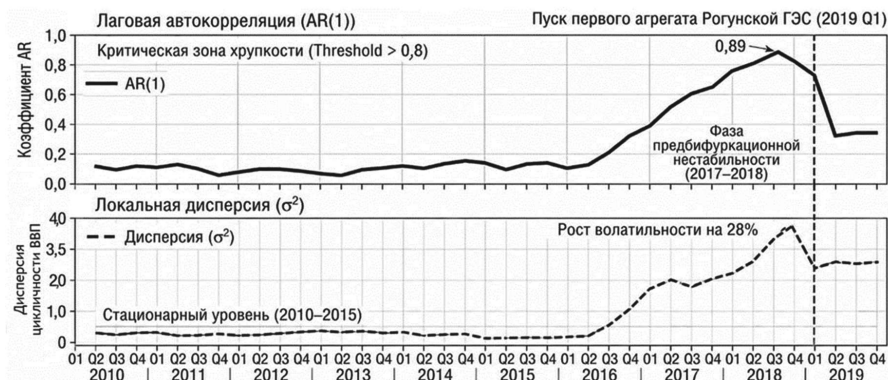
Таким образом, используемая методологическая связка дает возможность не только констатировать факт экономического роста, но и математически доказать качественное изменение топологии макросистемы Республики Таджикистан, подтверждая формирование нового устойчивого аттрактора индустриального типа.

3. Эмпирические результаты

В рамках нелинейного анализа макродинамики Республики Таджикистан за период до 2019 года были зафиксированы статистические аномалии, классифицируемые в теории хаоса как предвестники потери резистентности или устойчивости. Этот феномен представлен на рис. 1.

Верхний график рисунка отражает инерционность, или память, экономики. Согласно графику период 2010–2015 годов можно охарактеризовать как фазу устойчивого посткризисного роста: показатель AR(1) стабильно находится вблизи нуля, что свидетельствует о высокой динамической гибкости системы. Это означает, что экономика быстро восстанавливалась после незначительных шоков. Любое отклонение ВВП от тренда (из-за цен на сырье или курсовых колебаний) демпфировалось за один-два квартала. Столь устойчивый рост был достигнут благодаря целенаправленной превентивной социально-экономической политике государства [Саидмуродов, 2021].

³ Необходимо подчеркнуть, что применение логарифмической трансформации в сочетании с применением фильтрации (HP-фильтра) при построении индикаторов на рис. 1 полностью нивелирует эффект масштабной зависимости волатильности от абсолютных объемов ВВП.



Примечание. Оценки получены методом скользящего окна для циклической компоненты логарифмированного реального ВВП. Рост дисперсии в 2018 году свидетельствует об эндогенной дестабилизации аттрактора, а не о масштабном эффекте роста ВВП.

Источник: расчеты авторов.

Рис. 1. Динамика предиктивных индикаторов критического замедления экономики Республики Таджикистан, 2010–2019 годы

Fig. 1. Dynamics of Predictive Indicators of Critical Economic Slowdown in the Republic of Tajikistan, 2010–2019

Период 2016–2018 годов характеризовался ростом системной «вязкости». Как показали расчеты, в это время наблюдался устойчивый рост лаговой автокорреляции (верхний график рис. 1), достигшей к 2018 году максимального значения $\alpha = 0,89$. Это классический сигнал замедления роста, подтверждающий потерю упругости системы и ее переход в состояние максимальной хрупкости перед бифуркацией. В нелинейной динамике это означает, что система теряет способность к восстановлению: экономика стала «тяжелой» и «вязкой», то есть каждый новый негативный фактор накладывается на предыдущий, не успевая компенсироваться, — верный признак того, что старая модель развития достигла своего предела.

На нижнем графике рис. 1, где отражена волатильность циклической компоненты ВВП, в рассматриваемый период прослеживается синхронный рост дисперсии, свидетельствующий о том, что система начинает испытывать аномально высокие колебания даже при отсутствии внешних шоков. Эта особенность позволяет интерпретировать зафиксированный в 2018 году всплеск дисперсии не как следствие экономического роста, а как чистый эндогенный сигнал дестабилизации аттрактора. Таким образом, выявленная динамика является объективным предвестником снижения резистентности системы перед фазовым переходом 2019 года.

Вертикальная пунктирная линия на рис. 1, отражающая пуск Рогунской ГЭС, четко разделяет два режима. После нее оба индикатора (и коэффициент автокорреляции, и дисперсия) стреми-

тельно падают. Это математическое доказательство того, что ввод ГЭС стал драйвером своевременного фазового перехода, спасшим систему от хаотического распада и переведшим ее в режим автономной самоорганизации.

Статистическая значимость выявленных сигналов критического замедления роста была подтверждена с помощью коэффициента τ Кендалла. Значения $\tau=0,82$ для автокорреляции и $\tau=0,76$ для локальной дисперсии при уровне значимости $p < 0,01$ позволяют отклонить нулевую гипотезу о случайном характере изменения параметров. Отсюда следует, что приближение макроэкономической системы Таджикистана к точке бифуркации 2019 года носило детерминированный характер, а накопленная «вязкость» системы сделала структурный сдвиг неизбежным.

Логико-математическая связь между управляющим параметром и индикаторами CSD базируется на принципе подчинения Хакена. В рамках этой модели ввод мощностей Рогунской ГЭС рассматривается как изменение управляющего параметра порядка, определяющего глубину «потенциальной ямы» системы. Математически это отражается на коэффициенте лаговой автокорреляции α . В период накопления системного напряжения параметр порядка находился в стагнации, что приводило к эффекту плоского дна потенциальной функции: система теряла восстановительную силу, а коэффициент α стремился к единице ($\alpha \rightarrow 1$).

Структурная перестройка, которая была инициирована пуском ГЭС в 2019 году, качественно изменила конфигурацию макроэкономического ландшафта. Рост энергетического потенциала как параметра порядка привел к увеличению кривизны потенциальной функции (углублению аттрактора). Это вызвало резкое сокращение времени возврата системы к равновесию после шоков, что подтверждается снижением коэффициента автокорреляции в постбифуркационный период. Снижение коэффициента автокорреляции с 0,89 в 2018 году до 0,35 в 2019-м свидетельствует о том, что экономика Таджикистана стала в восемь раз (в течение менее чем одного квартала) быстрее восстанавливаться после запуска Рогунской ГЭС. Таким образом, снижение коэффициента α после 2019 года является математической верификацией успешного фазового перехода национальной экономики в состояние повышенной резистентности.

Переход от метастабильности к порядку описывается через динамику «бассейна притяжения» (рис. 2).

Как показано на рис. 2, после фазового перехода 2019 года структура дисперсии качественно меняется: в этот период начинается фаза формирования резистентного аттрактора (2019–2025 годы). Несмотря на высокие темпы роста (8,4% реального ВВП в 2025 году), уровень дисперсии стабилизируется — это доказывает,



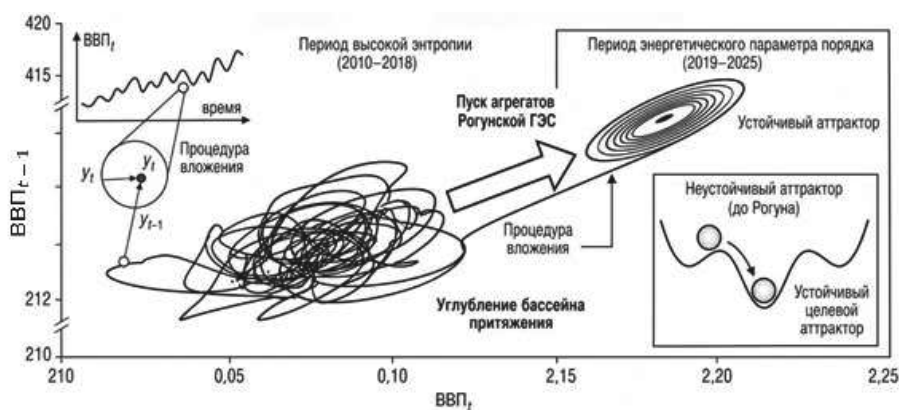
Источник: расчеты авторов.

Рис. 2. Ландшафты потенциальной энергии макросистемы Республики Таджикистан

Fig. 2. Energy Landscapes of the Macro System of the Republic of Tajikistan

что система перешла в новый, более глубокий «бассейн притяжения». Высокая крутизна стенок этого аттрактора обеспечивает динамическую устойчивость: экономика не просто растет — она становится резистентной к внешним возмущениям.

Из этого следует, что формирование энергетического параметра порядка привело к углублению «потенциальной ямы». Математически это верифицируется через стабилизацию фазовых траекторий в 2023–2025 годах, когда внешние экстремальные риски демпфировались внутренней инерцией нового стационарного состояния (рис. 3), являющегося новым аттрактором индустриального лидерства. Глубина ямы правой панели на рис. 2 символизирует накопленный запас прочности.



Источник: расчеты авторов.

Рис. 3. Реконструкция фазового портрета экономики Республики Таджикистан методом Такенса ($m = 2, \tau = 1$ квартал, млрд сомони), 2010–2025 годы

Fig. 3. Reconstructed Phase Portrait of the Economy of the Republic of Tajikistan Using the Takens' Method ($m = 2, \tau = 1$ quarter, bln somoni), 2010–2025

Рост промышленности национальной экономики на 22,1% в 2025 году (табл. 1) сделал стенки ямы очень крутыми, побуждая экономику Республики Таджикистан достигать роста в 8,4% и подавляя любые попытки дестабилизации.

Т а б л и ц а 1

Сравнительная статистика экономик стран СНГ по итогам 2025 года (% к предыдущему году)

T a b l e 1

Comparative Statistics of the CIS Economies by the End of 2025 (% of the previous year)

Страна	Рост промышленного производства	Рост ВВП	Рост инвестиций в основной капитал
Таджикистан	22,1	8,4	25,3
Киргизия	12,3	6,2	18,5
Узбекистан	7,8	6,0	14,2
Казахстан	4,6	3,9	9,1
Россия	1,0	1,3	-2,3

Источник: <https://new.cisstat.org/cis-stat-home>.

Результаты моделирования подтверждают, что зафиксированный в 2025 году рост промышленного производства на 22,1% и реального ВВП — на 8,4% является следствием высокой динамической резистентности новой экономической структуры. Следовательно, текущее лидерство страны по темпам роста в СНГ выступает закономерным итогом самоорганизации макросистемы Республики Таджикистан.

Для оценки динамической резистентности через скорость возврата (recovery rate) и коэффициент поглощения было проанализировано воздействие экстремальных внешних рисков (трансформации рынка труда, климатических аномалий) на систему. Результаты представлены в табл. 2.

Для количественной верификации качественных сдвигов в макросистеме Республики Таджикистан были использованы три взаимодополняющих индикатора, характеризующих состояние ландшафта устойчивости.

- Амплитуда воздействия (индекс риска R): этот показатель является интегральной оценкой внешнего давления на национальную экономику — он агрегирует волатильность цен на сырьевых рынках и колебания объемов денежных переводов. Рост индекса с 0,45 (2010 год) до 0,92 (2025 год) математически подтверждает факт вхождения мировой экономики в фазу перманентного кризиса. Однако для Республики Таджикистан это стало тестом на прочность, который выявил качественное изменение внутренних механизмов стабилизации.

Т а б л и ц а 2

**Оценка динамической резистентности макросистемы Республики Таджикистан
к внешним шокам, 2024–2025 годы**

T a b l e 2

**Dynamic Resilience of the Macro System of the Republic of Tajikistan to External Shocks,
2024–2025**

Период	Доминирующие внешние риски	Амплитуда воздействия (индекс риска R)	Скорость возврата (Recovery Rate φ)	Коэффициент поглощения шока (S)	Режим функционирования системы
2010–2014	Волатильность цен на экспорт, колебания денежных переводов	0,45	0,75	0,65	Пассивная устойчивость: низкая амплитуда рисков позволяла системе восстанавливаться за счет внешних факторов
2015–2018	Региональные кризисы, климатические аномалии (маловодье)	0,62	0,21	0,32	Критическое замедление (CSD): рост амплитуды рисков привел к «застреванию» системы в фазе спада ($AR=0,89$)
2019–2021	Пандемия COVID-19, логистические разрывы, рынки труда	0,85	0,48	0,55	Точка бифуркации: экстремальная амплитуда шоков была купирована началом структурного сдвига (пуск Рогунской ГЭС)
2022–2025	Геополитика, инфляция, климатические риски	0,92	0,82	0,88	Динамическая резистентность: несмотря на максимальную амплитуду рисков, система поглощает шоки без потери темпов роста

Источник: расчеты авторов.

- Скорость возврата (Recovery Rate φ): метрика базируется на концепции времени релаксации системы. Она показывает, насколько быстро макроэкономические показатели (ВВП, промышленное производство) возвращаются к тренду после шокового воздействия. Минимальное значение $\varphi = 0,21$ в период 2015–2018 годов свидетельствует о «вязкости» экономики и эффекте ее критического замедления — в этот период система «застревала» в фазе спада. Рост показателя к 2025 году до 0,82 означает переход к глубокому аттрактору, то есть система приобрела мощный внутренний импульс восстановления, что позволяло ей демпфировать шоки практически в реальном времени.
- Коэффициент поглощения шока (S): этот показатель отражает долю внешнего негативного импульса, которая нейтрализуется внутренней структурой экономики без ущерба для

темпов ее роста. Увеличение коэффициента до 0,88 к концу рассматриваемого периода является прямым следствием изменения параметра порядка (ввода Рогунской ГЭС). Сформированное индустриальное ядро и энергетическая независимость выполняют роль «энергетического демпфера», который компенсирует внешнюю волатильность. Рост коэффициента объясняет, почему при экстремально высоком индексе риска (0,92) промышленность РТ показала в 2025 году рекордный рост в 22,1%.

Комплексный анализ представленных показателей (см. табл. 2) позволяет констатировать завершение фазового перехода макро-системы Республики Таджикистан: если в начале рассматриваемого периода, в 2010–2018 годах, наблюдалась корреляция между ростом индекса риска (R) и падением скорости возврата (φ), то в 2022–2025 годах эта связь была разорвана.

Эконометрически это изменение подтверждается тем, что при достижении индексом риска критических значений (0,92) коэффициент поглощения S не снизился, а вырос до 0,88. Данный феномен «индустриального иммунитета» объясняется следующим: изменение параметра порядка (энергетическая база) трансформировало геометрию макроэкономического ландшафта — система перешла из метастабильного состояния в режим глубокого индустриального аттрактора. Таким образом, рекордный рост промышленного производства в 2025 году в РТ на 22,1% является не случайным флуктуационным всплеском, а закономерным результатом динамической резистентности. Это доказывает, что сформированный энергетический аттрактор обладает высокой поглощающей способностью, преобразуя внешние возмущения в импульсы для дальнейшей внутренней самоорганизации экономики.

4. Обсуждение результатов

Интеграция результатов нелинейного динамического анализа с актуальными макроэкономическими показателями позволяет по-новому интерпретировать текущую траекторию развития Республики Таджикистан. Полученные в ходе исследования результаты (см. рис. 1–3) подтверждают, что наблюдавшийся в 2025 году экономический подъем является не краткосрочной флуктуацией, а следствием фундаментальной перестройки фазового пространства системы.

Таким образом, результаты эконометрического моделирования и анализа структурных параметров индустриализации национальной экономики показали смену управляющего параметра от

трудовой миграции к внутреннему производству. Рост промышленного производства на 22,1% по итогам 2025 года выступает в нашей модели как новый управляющий параметр. Если в доиндустриальный период (до 2019 года) динамика национального ВВП характеризовалась высокой энтропией и зависимостью от внешних трансфертов, то запуск первых агрегатов Рогунской ГЭС и последующая индустриализация определили устойчивый энергетический каркас.

Особого внимания заслуживает способность национальной экономики сохранять темпы роста на уровне 8,4% на фоне глобальной турбулентности 2025 года. С точки зрения топологического анализа мы наблюдаем здесь эффект углубления «бассейна притяжения» (*basin deepening*). Высокая плотность фазовых траекторий в постбифуркационный период (2020–2025 годы) показывает, что макросистема приобрела внутреннюю инерцию, достаточную для автономного гашения внешних шоков. Создание 396 новых промышленных предприятий в 2025 году расширило ядро аттрактора, сделав возврат к старой, энергодефицитной модели математически невозможным.

Результаты исследования макроэкономической резистентности Республики Таджикистан в рассматриваемый период показывают, что страна успешно преодолела «ловушку переходного периода», в которой всё ещё находятся некоторые экономики региона. Лидерство республики по темпам промышленного роста в пространстве СНГ является эмпирическим подтверждением того, что выбранная стратегия превращения страны в индустриально-аграрную державу обеспечила качественную трансформацию геометрии ее экономического ландшафта в позитивном направлении.

Таким образом, синергия энергетической независимости и форсированной индустриализации перевела макросистему страны в режим устойчивой самоорганизации. Это позволяет прогнозировать сохранение динамической резистентности национальной экономики и в долгосрочной перспективе — при условии дальнейшего наращивания генерирующих мощностей и углубления технологических цепочек в промышленности.

Литература

1. Бобылев Г. В., Кузнецов А. В. Нелинейные методы в анализе макроэкономических процессов. М.: Наука, 2015.
2. Вахрушев Д. С. Синергетические аспекты исследования макроэкономической динамики // Вестник Костромского государственного университета. 2004. № 4. С. 112–117.
3. Занг В. Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / пер. с англ. Н. В. Островской под ред. В. В. Лебедева и В. Н. Разжевайкина. М.: Мир, 1999.

4. Лебедев В. В. Математическое моделирование социально-экономических процессов. М.: Изограф, 1997.
5. Лебедев В. В., Лебедев К. В. Компьютерное моделирование рыночных механизмов. М.: Изд-во МГТУ СТАНКИН, 2002.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / пер. с англ. Ю. А. Данилова под общ. ред. В. И. Аршинова [и др.]. М.: Прогресс, 1986.
7. Саидмуродов Л. Х. Республика Таджикистан в системе современных мирохозяйственных связей: модель малой открытой экономики. Душанбе: Дониш, 2021.
8. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / пер. с англ. Ю. А. Данилова под ред. Ю. Л. Климонтовича. М.: Мир, 1985.
9. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / пер. с нем. А. Р. Логунова. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
10. Хакимова М., Саидмуродов Л. Моделирование устойчивого развития национальной экономики Республики Таджикистан: нелинейная динамика. Душанбе: Изд-во Таджикского национального университета, 2022.
11. Barnett W. A. Deterministic Chaos and Fractal Geometry of Monetary Economics // Journal of Economic Theory. 1988. Vol. 40. No 1. P. 165–185.
12. Dakos V., Carpenter S. R., Brock W. A. Methods for Detecting Early Warnings of Critical Transitions in Time Series Illustrated Using Simulated Ecological Data // PLoS ONE. 2012. Vol. 7. No 7. Article e411010. DOI: 10.1371/journal.pone.0041010.
13. Dakos V., Scheffer M., Van Nes E. H. Slowing Down as an Early Warning Signal for Abrupt Climate Change // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. Vol. 105. No 38. P. 14308–14312. DOI: 10.1073/pnas.0802430105.
14. Haken H. Synergetics: An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1983.
15. Hausmann R., Pritchett L., Rodrik D. Growth Accelerations // Journal of Economic Growth. 2005. Vol. 10. No 4. P. 303–329. DOI: 10.1007/s10887-005-4712-0.
16. Kantz H., Schreiber T. Nonlinear Time Series Analysis. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
17. Pomfret R. Central Asia's Economy: Mapping Resilience and Challenges // Comparative Economic Studies. 2012. Vol. 54. No 1. P. 7–33.
18. Pomfret R. The Economies of Central Asia. Princeton: Princeton University Press, 2014.
19. Prigogine I., Nicolis G. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations. New York: Wiley, 1977.
20. Rodrik D. One Economics, Many Recipes: Globalization, Institutions, and Economic Growth. Princeton: Princeton University Press, 2007.
21. Scheffer M., Bascompte J., Brock W. A. Early-Warning Signals for Critical Transitions // Nature. 2009. Vol. 461. No 7260. P. 53–59. DOI: 10.1038/nature08227.
22. Schreiber T. Measuring Information Transfer // Physical Review Letters. 2000. Vol. 85. No 2. P. 461–464. DOI: 10.1103/PhysRevLett.85.461.
23. Takens F. Detecting Strange Attractors in Turbulence // Lecture Notes in Mathematics. 1981. Vol. 898. P. 366–381.
24. Zhang W. B. Economic Structural Change and Synergetic Dynamics // Structural Change and Economic Dynamics. 1990. Vol. 1. No 2. P. 291–303.
25. Zhang W. B. Synergetic Economics: Time and Change in Nonlinear Economics. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 1991.

References

1. Bobylev G. V., Kuznetsov A. V. *Nelineynye metody v analize makroekonomicheskikh protsessov [Nonlinear Methods in Analysis of Macroeconomic Processes]*. Moscow, Nauka, 2015. (In Russ.)
2. Vakhrushev D. S. *Sinergeticheskie aspekty issledovaniya makroekonomicheskoy dinamiki [Synergetic Aspects of the Study of Macroeconomic Dynamics]*. *Vestnik Kostromskogo*

- gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Kostroma State University]*, 2004, no. 4, pp. 112-117. (In Russ.)
3. Zhang W. B. *Synergetic Economics: Time and Change in Nonlinear Economic Theory*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1991.
 4. Lebedev V. V., Lebedev K. V. *Komp'yuternoe modelirovanie rynochnykh mekhanizmov [Computer Modeling of Market Mechanisms]*. Moscow, MSTU STANKIN, 2002. (In Russ.)
 5. Lebedev V. V. *Matematicheskoe modelirovanie sotsio-ekonomicheskikh protsessov [Mathematical Modeling of Socio-Economic Processes]*. Moscow, Izograf, 1997. (In Russ.)
 6. Prigogine I., Stengers I. *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue With Nature*. New York, Bantam Books, 1984.
 7. Saidmurodov L. Kh. *Respublika Tadjikistan v sisteme sovremennykh mirokhozyaystvennykh svyazey: model' maloy otkrytoy ekonomiki [The Republic of Tajikistan in the System of Modern World Economic Relations: A Model of a Small Open Economy]*. Dushanbe, Donish, 2021. (In Russ.)
 8. Haken H. *Advanced Synergetics: Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1983.
 9. Haken H. *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken*. Stuttgart, Deutsche Verlags-Anstalt, 1995.
 10. Khakimova M., Saidmurodov L. *Modelirovanie ustoychivogo razvitiya natsional'noy ekonomiki Respubliki Tadjikistan: nelineynaya dinamika [Modeling the Sustainable Development of the National Economy of the Republic of Tajikistan: Nonlinear Dynamics]*. Dushanbe, Tajik National University, 2022. (In Russ.)
 11. Barnett W. A. Deterministic Chaos and Fractal Geometry of Monetary Economics. *Journal of Economic Theory*, 1988, vol. 40, no. 1, pp. 165-185.
 12. Dakos V., Carpenter S. R., Brock W. A. Methods for Detecting Early Warnings of Critical Transitions in Time Series Illustrated Using Simulated Ecological Data. *PLoS ONE*, 2012, vol. 7, no. 7, article e41010. DOI: 10.1371/journal.pone.0041010.
 13. Dakos V., Scheffer M., Van Nes E. H. Slowing Down as an Early Warning Signal for Abrupt Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 2008, vol. 105, no. 38, pp. 14308-14312. DOI: 10.1073/pnas.0802430105.
 14. Haken H. *Synergetics: An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1983.
 15. Hausmann R., Pritchett L., Rodrik D. Growth Accelerations. *Journal of Economic Growth*, 2005, vol. 10, no. 4, pp. 303-329. DOI: 10.1007/s10887-005-4712-0.
 16. Kantz H., Schreiber T. *Nonlinear Time Series Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press, 2004.
 17. Pomfret R. Central Asia's Economy: Mapping Resilience and Challenges. *Comparative Economic Studies*, 2012, vol. 54, no. 1, pp. 7-33.
 18. Pomfret R. *The Economies of Central Asia*. Princeton, Princeton University Press, 2014.
 19. Prigogine I., Nicolis G. *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations*. New York, Wiley, 1977.
 20. Rodrik D. *One Economics, Many Recipes: Globalization, Institutions, and Economic Growth*. Princeton, Princeton University Press, 2007.
 21. Scheffer M., Bascompte J., Brock W. A. Early-Warning Signals for Critical Transitions. *Nature*, 2009, vol. 461, no. 7260, pp. 53-59. DOI: 10.1038/nature08227.
 22. Schreiber T. Measuring Information Transfer. *Physical Review Letters*, 2000, vol. 85, no. 2, pp. 461-464. DOI: 10.1103/PhysRevLett.85.461.
 23. Takens F. Detecting Strange Attractors in Turbulence. *Lecture Notes in Mathematics*, 1981, vol. 898, pp. 366-381.
 24. Zhang W. B. Economic Structural Change and Synergetic Dynamics. *Structural Change and Economic Dynamics*, 1990, vol. 1, no. 2, pp. 291-303.