

ПРЕДЛОЖЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАРИЯ ЭКОНОФИЗИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕЗОДИНАМИКИ ОТРАСЛЕЙ РЕГИОНОВ РОССИИ*

Валерий Константинович СЕМЕНЫЧЕВ^a, Галина Анатольевна ХМЕЛЕВА^b,
Анастасия Александровна КОРОБЕЦКАЯ^c*

^a доктор экономических наук, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики, профессор кафедры цифровых технологий и решений, Самарский государственный экономический университет (СГЭУ), Самара, Российская Федерация
505tot@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3705-1509>
SPIN-код: 3569-5320

^b доктор экономических наук, профессор кафедры региональной экономики и управления, Самарский государственный экономический университет (СГЭУ), Самара, Российская Федерация
galina.a.khmeleva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4953-9560>
SPIN-код: 2042-4324

^c кандидат экономических наук, доцент кафедры цифровых технологий и решений, Самарский государственный экономический университет (СГЭУ), Самара, Российская Федерация
kaa.sseu@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5500-7360>
SPIN-код: 4342-6363

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 218/2020
Получена 16.04.2020
Получена в доработанном виде 30.04.2020
Одобрена 15.05.2020
Доступна онлайн 30.07.2020

УДК 330.43

JEL: C53, C65, O12, Q01

Аннотация

Предмет. Для анализа мезодинамики отраслей 78 регионов России сформирован комплекс из моделей трендов, среднесрочных бизнес-циклов и сезонных компонент, осуществляющих аддитивно-мультипликативное взаимодействие между собой.

Цели. Провести качественный и количественный мониторинг эволюции траекторий мезодинамики показателей 12 основных отраслей каждого региона с 2005 по 2017 г. для характеристики однородности, устойчивости и сбалансированности развития этих регионов, а также их перспективности для инвестиций.

Методология. Нелинейность моделей мезодинамики и принятие парадигмы эконофизики, а также выполненные ранее авторские эконометрические исследования расширили возможность применения в качестве трендов известных решений дифференциальных уравнений эконофизики, известных и новых феноменологических моделей. Декомпозиция траекторий основных показателей динамики региональной экономики реализует известные и новые аддитивно-мультипликативные взаимодействия трендов, циклической и сезонной компонент. Методы идентификации, применение бутстрепа, робастного сглаживания позволяют идентифицировать модели мезодинамики на выборках до 30–

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-010-00549.

50 наблюдений без априорного знания закона распределения стохастической компоненты.

Результаты. Подтверждена возможность применения (адекватность) парадигмы эконофизики для анализа трендов мезодинамики отраслей, а для среднесрочных циклов мезодинамики подтверждена гипотеза Е. Слуцкого о моделировании их тремя гармониками с некратными частотами. Обоснованы и апробированы методы идентификации основных моделей мезодинамики преимущественно в свободной программной среде R. Вариации видов и/или параметров моделей регулярных компонент траекторий и структур их взаимодействия, обнаружение в смеси законов распределений стохастической компоненты с «тяжелыми хвостами» рассматриваются как характеристики эволюционного развития отраслей.

Выводы. Представляется, что методология эконофизики, применение предложенного инструментария позволят формировать базы знаний для фундаментальных законов мезодинамики, в том числе для выявления пространственно-временных особенностей цикличности развития российских регионов, для оценки уровня сбалансированности и устойчивости регионального развития в среднесрочной перспективе и выявления однородных регионов по длине цикла.

Ключевые слова:

регион, эконофизика, эволюция, компоненты траектории

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

Для цитирования: Семенычев В.К., Хмелева Г.А., Коробецкая А.А. Предложения методологии и инструментария эконофизики для анализа мезодинамики отраслей регионов России // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2020. – Т. 19, № 7. – С. 1192 – 1217. <https://doi.org/10.24891/ea.19.7.1192>

Перспективы преодоления кризисных явлений связаны со структурными изменениями экономики и инновационным развитием, формированием и ростом новых отраслей промышленности на базе нового технологического уклада. При реализации эволюционного подхода следует ожидать, что на разных уровнях агрегирования анализируемых экономических показателей и на различных стадиях своей эволюции экономическая система будет обладать различной чувствительностью и уязвимостью к воздействиям факторов.

Термин «мезоуровень экономики» вошел в мировой научный оборот с 1986 г. [1], а в работах российских экономистов первое упоминание о нем относят (по данным РИНЦ) к 1998 г. [2], то есть его методология и инструментарий относительно других базовых категорий экономики довольно новы, актуальны и находятся еще в стадии формирования. Мезоуровень обычно связывают с региональной экономикой и отраслями, но к нему относят и экономические кластеры, корпорации и другие институты микроуровня, определяющие возможность развития. Являясь открытой системой, регион подвержен влиянию и внутренних, и внешних макро- и микроэкономических факторов, вследствие чего на него проецируются колебания по горизонтальным (в региональном разрезе) и по вертикальным иерархическим уровням экономики. Однако импульсы «развития сверху», инициированные «центром» и направляемые «вниз», зачастую неузнаваемо изменяются, доходя до объектов мезо- и микроуровней. В свою очередь, «инициативы снизу» далеко не

всегда воспринимаются «наверху», с большим трудом распространяются и на мезо- и микроуровни экономики. Очевидна актуальность обеспечения всех «уровней» агрегирования экономических показателей более точным теоретическим и практическим знанием об экономических показателях отраслей мезоуровня (далее – показателей).

Мы разделяем, как многие российские и зарубежные ученые, концепцию глобального характера нелинейности в инновационной экономической динамике показателей на всех уровнях агрегирования экономики, изложенные, например, в работах [3–5].

Цифровизация экономики уже дает возможность обработки больших данных для формирования новых знаний по сбалансированности и устойчивости в экономическом пространстве и во времени развития предприятий, регионов и макрорегионов, стран и союзов их взаимодействий, а также формировать эмпирически подтвержденные фундаментальные законы экономики. Степень их интеграции в экономическое пространство регионов будет зависеть как от получения адекватных знаний на репрезентативном количестве регионов, так и от подготовки бизнес-субъектов и органов власти.

В 2017–2018 гг. при нашем участии были выполнены исследования на тему «Инновационное развитие российских регионов в условиях санкций: оценки влияния, дифференциация, возможности опережающего развития». Начинали исследования с двух оценок пространственной эволюции 12 основных отраслей экономики в 78 регионах России. Первая из них детерминировано оценила «текущую» производительность регионов, максимально возможную при текущем уровне технологического развития в 2001–2015 гг. методом DEA (Data Envelopment Analysis) [6]. Индекс Малмквиста распределил регионы России по четырем уровням падения производительности труда, причем его актуальность и новизна заключались в сравнении технической эффективности в досанкционный период и в фазе внешних ограничений. Вторая оценка определила в тех же регионах более сложную в реализации техническую эффективность «граничной» производительности методом SSFA (Spatial Stochastic Frontier Analysis), учитывающим и случайные воздействия на данных 2011–2016 гг. [7].

К новизне исследований можно отнести большую размерность и учет наряду с традиционными факторами (труд, капитал) дополнительно эффектов такого нетривиального фактора, как розничная торговля с соседними регионами, поскольку она в конечном счете создает спрос на технологии. В результате проведенного исследования выявлено, что общей тенденцией является снижение технической эффективности в анализируемом после санкций периоде, а технологическое развитие регионов характеризуется высокой изменчивостью и территориальной гетерогенностью. Можно говорить о нескольких типах и географически распределенных поясах регионов. Регионы с самым высоким уровнем технической

эффективности сконцентрированы в Западной Сибири, на Урале, в европейской части Приволжского и Южного федерального округов. Регионы с низкой технической эффективностью тяготеют к западной и восточной границам России.

Очевидных преимуществ SSFA перед DEA для многих отраслей регионов не обнаружено. Data Envelopment Analysis даже более оправдан для энергогенерирующей, газовой и телекоммуникационной отраслей. Очевидны и ограничения SSFA: он неустойчив в оценках своих параметров, что заставило отказаться от учета таких факторов, как инвестиции в основной капитал, доля занятого населения и др. Кроме того, он предполагает нормальный закон распределения стохастической компоненты в моделях отраслей мезодинамики в регионах, формирует лишь годовые оценки неэффективности. В обеих оценках отсутствуют анализ инновационности отдельных отраслей регионов, и их прогноз сезонности и цикличности протекающих в них экономических процессов для сравнения с общероссийскими и мировыми, который могли бы использовать активные бизнес-субъекты регионов и органы региональной власти. Кроме того, малые выборки и экспертные оценки недостаточно репрезентативны, а увеличение количества времени анализа не будет востребовано в силу задержки получаемых данных. Поэтому были выполнены и работы по оценке мониторинга инноваций на реальных данных траекторий ежемесячных показателей отраслей регионов, проведена их апробация. Признаемся, что примененная парадигма эконофизики явилась для нас триггерным эффектом после многих лет эконометрических исследований. Почему же эконофизика актуальна сегодня, адекватна ли она реальной мезодинамике?

Декомпозиция показателей сложных систем, к которым относится и мезоэкономика, предложена в XVII в. Р. Декартом как основной метод их анализа. В настоящее время возможности вычислительной техники позволяют системно реализовать более «тонкую декомпозицию» мезодинамики. Зарубежные экономисты в последние годы для решения многих задач уже разделяют компоненты траекторий экономических показателей (тренда, циклов, сезонной и стохастической) на парциальные (частичные) компоненты, рассматривают не только данные наблюдений траекторий показателей, но и логарифмы от них, произведения (или логарифмы от их произведений) от них и другие преобразования. Более того, наряду с каноническими аддитивными или мультипликативными структурами взаимодействий компонент рассматривают и смешанные (аддитивно-мультипликативные) структуры компонент (парциальных компонент) траектории. Частично адекватность таких структур взаимодействий нами подтверждена в практике проведенных исследований и принята для дальнейшего развития. Многие примеры представлены в работе [7]. «Тонкая декомпозиция» делалась, как правило, под новые задачи: для проверки тех или иных каузальных предположений экономической теории или для повышения качества управляющих воздействий. Подтвердилось, что в мезодинамике за счет открытости к эндогенным и экзогенным

факторам возможен и «детерминированный хаос», и колебательный характер, особенно при планировании решений в периоды падения или роста экономики.

Экономическую теорию можно считать молодой наукой, история которой длится лишь около четырех веков (в 2020 г. исполнится 405 лет со времени выхода в свет первой работы по экономической теории «Трактата политической экономии» Монкретьена), а история многих точных наук, например, физики, насчитывает уже более 24 веков.

В экономической теории обычно предполагаемые законы формируют из известных данных за определенные периоды времени. Классическая статистика требует выборок в 100 и более наблюдений, то есть при привычном в российской экономической практике ежемесячном периоде опроса «первичная» выборка данных будет обеспечена примерно десятью годами наблюдений, а горизонт прогноза, рекомендуемый как треть от выборки, далеко не всегда соответствует динамике реальных экономических процессов: с одной стороны, ускоряется научно-технический прогресс и реализуется цифровизация экономики, а с другой стороны, остается значительная неопределенность в «первичных» данных за счет погрешности их измерений и передачи, ожидания нового мирового экономического кризиса, роста политической турбулентности в мире.

В «первичных» и в «подтверждающих» выборках (и в физике, и в экономике) присутствие неопределенности зачастую описывают «удобными» для идентификации законами распределения стохастической компоненты: для одних структур взаимодействия компонент траекторий – нормальным, а для других – логарифмически нормальным или каким-то иным [8]. При этом, как правило, законы распределения не могут быть строго проверены на выборках реальной экономической практики. Поэтому для отказа от таких априорных и удобных предположений и привычного метода наименьших квадратов оправдано использовать робастные методы сглаживания при идентификации, а также процедуры бутстрепа, формирующего дополнительные псевдовыборки из относительно малой исходной выборки, ранговые и фрактальные статистики для характеристик точности моделирования и прогнозирования [7]. Эти условия будем считать необходимыми при развитии «тонкой декомпозиции», так как при этом выборки для оценки параметров и мер точности мезодинамики можно уменьшить до 30–50 ежемесячных наблюдений (до трех или четырех лет). Выполняя идентификацию, необходимо не ограничиваться декомпозицией на привычные компоненты (такие как тренд, сезонность, циклы, стохастическую), рассматривать только «канонические» (аддитивную и мультипликативную) структуры их взаимодействий. В аддитивной структуре все компоненты считают независимыми, а в мультипликативной – все зависимы. Реальная практика, как правило, сложнее.

Известно и уже достаточно привычно использование мультитрендов, формируемых из действий над «парциальными» трендами. Мы рассмотрели известные

мультитренды и предложили новые, формируя их (не усложняя существенно идентификацию) так, чтобы мультитренд был нелинейным и адекватным задаче мониторинга эволюции [7]. Известны и возможность одновременного существования нескольких периодических сезонных и аperiodических циклических колебаний, и разделение стохастической компоненты на сумму «парциальных» и аддитивных по отношению к регулярным компонентам траекторий [7]. Поставленная задача требует рассматривать стохастическую компоненту уже как «смесь распределений»: доказано, что индикаторами присутствия эволюционных процессов в смеси являются распределения Парето (Леви) с «тяжелыми хвостами» [9], меняется и энтропия объекта анализа [10]. Характерной особенностью «смеси распределений» является то, что события, значительно отклоняющиеся от среднего, происходят при эволюции чаще (с большей вероятностью), чем в нормальном распределении.

Для обеспечения возможности решения указанных проблем в конце XX в. ученые из различных областей наук исследовали возможность обнаружения общих закономерностей в сложных нелинейных динамических системах. Считается, что проблема сбора, формирования и обработки big data уже решена. Новые вычислительные возможности должны быть сосредоточены на качестве обработки данных, обслуживая и новую междисциплинарную науку – синергетику и одно из ее направлений по области применения – эконофизику для применения в экономике [3–5, 9, 11, 12].

Не все физические законы устанавливаются опытным путем, иногда физики-теоретики формулируют их априори, а затем проверяют экспериментом. В экономике последовательность действий в силу слабой структурированности и возможной многомодельности мезодинамики ровно такая же. Главное все же в другом: в физике уже накоплены и могут быть использованы для анализа нелинейной мезодинамики проверенные многолетней практикой методология, модели и методы их идентификации, имеющие, как правило, высокий математический уровень. Эконофизика для моделирования трендов использует решения линейных и нелинейных дифференциальных уравнений и «мягкие» (феноменологические) модели, получаемые только из практики обработки данных [9, 12, 13]. Они, отражая наиболее существенные свойства объекта, являются не просто оценками значений показателей, но и отражают топологию фазового пространства: в эволюции выделяются несколько главных показателей («параметров порядка»), к которым подстраиваются обратной связью (положительной и отрицательной) все остальные. Тогда многие, в том числе и неизмеряемые показатели моделей, заменяются параметрами порядка (от трех до восьми), которые определяют за счет внутренних взаимодействий развитие объекта: сами траектории, точки бифуркационных явлений (определяющих большие выбросы и большие падения показателей) и устойчивые состояния. Известные примеры приложений моделей экономики приведены в работах [4, 9, 11, 12, 14], но

в их число моделирование мезодинамики не входит. Решения дифференциальных уравнений, естественно, зависят от начальных условий, они регулярны, поскольку последовательные состояния непрерывно развиваются одно из другого. Но эконофизика допускает и «детерминированный хаос», когда случайные флуктуации могут играть решающую роль в развитии. Эволюция траекторий может зависеть от причин, предсказать которые абсолютно точно невозможно, но влиянием флуктуаций на детерминированное развитие пренебрегать нельзя, особенно если дифференциальные уравнения анализируются вблизи критических точек.

Экономические системы в эконофизике рассматриваются уже не как реализации экономических теорий, а, скорее, как «организмы», последовательно проходящие и сменяющие друг друга этапы жизненного цикла по законам самоорганизации сложных систем. Характеристика «организм» определяет возможность анализа системы на текущих выборках, создавая тем самым своеобразный «анамнез» мезодинамики перебором предполагаемых моделей мезодинамики. Выбираем адекватную поставленной задаче модель, которая считается при этом и самой точной. От регулярного движения «детерминированный хаос» может отличаться вероятностным поведением, которое происходит из самого объекта анализа, не требуя воздействий внешних факторов.

В качестве феноменологических моделей эконофизики могут выступать и тренды, и мультитренды. При этом назначение линейных (по параметрам и по времени) моделей трендов на значительных временных интервалах практически неадекватно реальной экономической практике мезодинамики, как и линейных по параметрам полиномов. У линейной модели постоянна первая производная, то есть постоянен определяющий ее ресурс, а у параболы постоянна вторая производная (то есть приращение определяющего ее ресурса) и, кроме того, парабола имеет плохие прогностические возможности. Мы сами убедились в этом, моделируя тренды в указанном ранее исследовании российской мезодинамики: только в 3,2% случаев из рассмотренных моделей роста на 156 выборках линейная модель оказалась лучшей по точности. При этом рассматривались тренды, напомним, в 12 отраслях экономики для 78 регионов России за 12 лет [7] (перечень показателей представлен в *табл. 1*). Известно, что погрешность прогнозирования при принятии линейной модели динамики в макроэкономике будет не менее 50%, если динамика нелинейна [12]. Более того, и часто применяемая в экономических теориях модель в виде экспоненциальной функции, хоть она и нелинейна по параметру, но также имела довольно ограниченное применение на длительном интервале времени в реальной экономической практике, потому что у нее должна быть постоянной относительная производная [7, 15]. Известные и предложенные нами мультитренды для своего применения к мезодинамике должны реализовывать нелинейные операции деления, умножения, взвешенного временного сдвига и др. [7, 8]. Наиболее широко используют в теории и практике эконофизики в качестве трендов решения дифференциальных логистических уравнений роста (логист): S-образных

кумулятивных и/или импульсных колоколообразных [11, 12, 16–18]. Они характеризуют тренд диффузии инноваций переменными значениями производных от трендов, отражая нелинейную динамику.

В отечественной эконометрике используют до настоящего времени практически только две логисты кривые: симметричную относительно точки перегиба (в ней вторая производная равна нулю) Ферхюльста и Гомпертца с левой асимметрией, известные с 30-х гг. XIX в. Нами обстоятельно исследованы свойства, область применения (в функции динамических диапазонов значений параметров и относительной дисперсии стохастической компоненты), обоснованы методы идентификации более двух десятков логист. Предложены и четыре новые модели логист [7, 8, 17]. Обратим внимание и на возможность применения в практике анализа логист с произвольным расположением точки перегиба (нерасширяемого спроса) и мультитрендов, формируемых из логист [7, 8]. Суммарная доля логист и экспоненциальных моделей в указанных исследованиях мезодинамики составила более 90%. Рассматривалась возможность применения семи моделей трендов как основных паттернов долгосрочной эволюции динамики:

- линейный тренд (lin):

$$T_t = C_0 + A_0 t; \quad (1)$$

- обобщенный степенной (pow):

$$T_t = C_0 + A_0 t^\alpha; \quad (2)$$

- обобщенный экспоненциальный (exp):

$$T_t = C_0 + A_0 e^{\alpha t}; \quad (3)$$

- обобщенная логиста Ферхюльста (сигмоидальная кривая sig):

$$T_t = C_0 + \frac{A_0}{1 + e^{-\alpha(t-t_0)}}; \quad (4)$$

- обобщенный арктангенс (arctg):

$$T_t = C_0 + A_0 \arctg(\alpha(t-t_0)); \quad (5)$$

- обобщенная формула плотности нормального распределения (gau):

$$T_t = C_0 + A_0 \exp(-\alpha(t-t_0)^2); \quad (6)$$

- колоколообразный тренд в виде дробно-рациональной функции с логистой Ферхюльста, демонстрирующий функцию адаптации (rat):

$$T_t = C_0 + \frac{A_0}{1 + \alpha(t - t_0)^2} \frac{1}{1 + \exp(-\sigma(t - t_0))}. \quad (7)$$

Модели (1)–(7) используют единые обозначения параметров: t – моменты времени (наблюдений); C_0 – асимптотический уровень; A_0 – амплитуда тренда; α – скорость роста/спада тренда (масштаб модели по оси абсцисс); t_0 – характеристика параллельного переноса тренда по оси абсцисс (для логистических трендов отмечает точку перегиба, для колоколообразных – пик); σ – коэффициент асимметрии: если $\sigma > 0$, то колокол имеет рост более быстрый, чем спад, а если $\sigma < 0$, то, наоборот, рост к максимуму более медленный, чем последующий спад. Термин «обобщенный» в названиях моделей указывает на введенный в них свободный член C_0 , который отличает их от традиционных моделей и существенно влияет как на результаты моделирования, так и на применимые методы идентификации параметров моделей.

На *рис. 1* для наглядности продемонстрированы адаптивные свойства мультитренда (7), формирующегося как произведение сигмоидальной и колоколообразной кривой в зависимости от знака коэффициента асимметрии.

На *рис. 2* представлены относительные частоты использования каждого из трендов (1)–(7) в виде круговой диаграммы с указанными краткими обозначениями их названий. Как видно, линейный тренд, который широко применяется в моделировании, адекватен лишь 3,2% из всех рассмотренных рядов динамики. Доли экспоненциального и степенного трендов не превышают 4%. В большинстве случаев наиболее адекватными являются логистические и колоколообразные тренды, то есть наблюдается эволюция динамики по стадиям жизненного цикла.

Обращение к методам эконофизики привлек и еще один важный факт: они позволяют моделировать и экономическое равновесие, и многоцикличность экономики, и явления взаимодействий циклов, сезонности и моделей роста при нерегулярной динамике показателей. Причем, в ряде публикаций (Г. Менш, В. Маевский, С. Глазьев, Ю. Шараев и др.) отмечена актуальность разработки инструментария для оценки взаимодействия моделей роста именно с началами повышательных фаз циклов Кондратьева и Кузнецца, здесь нельзя ограничиваться только циклами Китчина и анализом смены жизненных циклов технологий. Активна позиция в применении циклических подходов в развитии регионов и у известных зарубежных экономистов (Д. Фридмана, У. Айзарда, Я. Тинбергена, У. Алонсо и др.). Однако их работы характеризуются узкой направленностью и специфичностью выбора экзогенных факторов, а идентификация циклического развития регионов основывается либо на дескриптивных подходах, либо связана с научно-логическим обоснованием выдвигаемых гипотез и предположений.

Следует отметить и фундаментальные работы отечественных ученых, посвященные исследованию цикличности российской экономики. Это работы [19–21] и др. Вместе с тем такие важные компоненты научного познания изучаемых явлений и процессов, как измерение, идентификация и обоснование факторов, участвующих в генерации циклических колебаний экономики мезоуровня, определение их роли в фазовых сдвигах, игнорируется практически во всех публикациях экономистов, что в значительной степени предопределяет субъективность получаемых оценок и выводов, требуя междисциплинарных исследований.

Из возможных структур взаимодействия компонент траекторий моделирования нами были рассмотрены два варианта структуры: аддитивная и, как нам представлялось априори, перспективная аддитивно-мультипликативная:

$$Y_t = T_t + C_t + S_t + \varepsilon_t; \quad (8)$$

$$Y_t = (T_t + C_t) + (1 + S_t) + \varepsilon_t, \quad (9)$$

где Y_t – моделируемый ряд динамики;

T_t – модель тренда;

C_t – модель циклов;

S_t – модель сезонности;

ε_t – стохастическая компонента;

t – моменты времени (наблюдений).

Модель (9) оказалась более точной и имеющей большие прогностические возможности. Мультипликативное взаимодействие тренда и колебательных компонент может быть рассмотрено и при малых длинах выборок относительно периодов циклических колебаний и выборок тренда с применением будстрепа, но они перспективны, скорее, для задач макроэкономики.

В эконометрике моделирование циклов ограничивалось либо введением тригонометрических функций, либо использованием линейных мультипликаторов-акселераторов с запаздыванием (модели Самуэльсона, Хикса, Гудвина, М. Калецкого и др.). Используемые эконометрические модели зачастую не описывали сложные периодические и нерегулярные колебания, характерные для реальных экономических систем. В классе циклов обнаружен эффект одновременного существования устойчивых циклов разной длины (мультирежимность), что означает возможность получения разных по характеру циклических колебаний траектории. Для моделирования циклических колебаний нами вместо, как нам представляется, неоправданно сложных и поэтому, возможно,

неточных известных методов идентификации (более полный анализ математических методов представлен в работе [7]), использовалась сумма гармоник с некратными (в отличие от ряда Фурье) частотами:

$$C_t = \sum_{j=1}^3 A_j \sin(\omega_j t + \varphi_j), \quad (10)$$

где A_j – амплитуда j -й гармоники;

ω_j – частота;

$\varphi_j \in [-\pi; \pi)$ – фаза.

Для модели (10) были проверены суммы разного числа гармоник, от трех до шести, но именно сумма трех гармоник обеспечила наиболее устойчивые и адекватные результаты моделирования и прогнозирования. Таким образом, была подтверждена гипотеза Е. Слуцкого [21] для мезодинамики. Для выделения сезонных колебаний для декомпозиции использовался метод STL [22], который обладает рядом преимуществ по сравнению с классическими методами декомпозиции, в частности, менее чувствителен к выбросам наблюдений (обладает робастностью) и позволяет идентифицировать изменяющиеся сезонные колебания.

Итак, периодическую сезонную компоненту может представлять гармоника (в случае более сложных ее периодических форм (треугольных, прямоугольных и др.) с достаточной точностью описывают первые три члена ряда Фурье с кратными гармониками), а циклы – сумма трех гармоник с некратными гармониками. Однако при «тонкой» декомпозиции надо быть готовым к решению и более сложных задач. Например, возможно присутствие в траектории одновременно двух колебаний: аддитивного по формуле (1) и пропорционально-мультипликативного взаимодействия, которое оправдано представлять в следующем виде:

$$Y_t = T_t(1 + S_t) + \varepsilon_t.$$

Возможны и более сложные структуры взаимодействий, когда одновременно в траектории могут присутствовать и гармоники с изменяющейся частотой [23, 24], которые появляются после взаимодействия с отрезками логист (кумулятивных и/или импульсных), у которых наибольшая динамика (производная) их изменения. Это подтверждено нами и на макро- и мезоуровнях технологического приложения в нефтегазодобыче. Последняя модель сложнее для идентификации, но предлагает дополнительный информативный признак активной эволюции, при котором из поля зрения экономиста-исследователя или лица, принимающего решения, не выпадут факторы, связанные уже с фазой и частотами отраслевого цикла и в конечном счете стимулы и барьеры для дальнейшего роста экономики.

По результатам моделирования были определены стадии и прогнозы циклов по каждому показателю и по каждому из рассмотренных регионов. Пример для одного из показателей показан на *рис. 3* (точки – нормированные уровни циклов по каждому региону, цвет точки характеризует ее близость к среднему уровню (темные – наиболее далекие, светлые – наиболее близкие); светлая сплошная линия – медиана по всем регионам, пунктирные линии – квантили). Обобщив результаты моделирования, мы сгруппировали регионы в три типа: проциклические – динамика близка к средней по России, контрциклические – циклы в основном противоположны средним, ациклические – циклы региона не коррелируют с другими регионами.

Нам удалось выявить ряд пространственно-временных особенностей цикличности развития российских регионов [7]. Циклы проциклических регионов совпадают с колебаниями по стране в целом. Эти регионы можно охарактеризовать как циклообразующие, а контрциклические – как циклокомпенсирующие.

Высока согласованность динамики товарных запасов розничной торговли: контрциклическими являются только три региона (Республика Адыгея, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и Тюменская область), 17 регионов являются автоциклическими, включая Москву и Белгородскую область. В динамике строительства более половины регионов являются проциклическими. Можно предположить, что наибольшая согласованность динамики проявляется в начале и в конце выборки, то есть как реакция на мировой кризис и на введение санкций. А в «спокойный» период между 2010 и 2014 гг. строительные циклы больше зависят от локальных условий каждого региона. Циклы в отраслях добывающей и обрабатывающей промышленности наименее согласованы между различными регионами. Особенно высока доля автоциклических регионов в химической промышленности, производстве резины и пластмасс, производстве лекарственных средств и медикаментов. В целом по обрабатывающей промышленности более половины регионов являются проциклическими. Контрциклические регионы – Республика Башкортостан, Белгородская область, Республика Бурятия, Чукотский автономный округ, Республика Дагестан, Республика Калмыкия, Республика Марий Эл, Ненецкий автономный округ, Пензенская область, Сахалинская область, Республика Северная Осетия – Алания, Ставропольский край, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Сравнивая согласованность динамики каждого региона по различным индикаторам, отметим, что проциклическими по большинству индикаторов являются Алтайский край, Республика Алтай, Брянская область, Рязанская область, Смоленская область, Еврейская автономная область. Псковская и Самарская области – контрциклические по добыче полезных ископаемых, но проциклические по другим отраслям. Чукотский автономный округ – регион, контрциклический по большинству индикаторов.

Суммируя, можно сказать, что эволюционирующая мезодинамика описывается нелинейными моделями со следующими свойствами: эмерджентности (у нее появляются свойства, отсутствующие у входящих в ее состав компонентов); бифуркации (представляющие собой качественное изменение системы при достижении критического порогового состояния).

Интерес может представлять и изучение эконофизикой реакции социально-экономических систем на влияние факторов с помощью модели Лотки – Вольтерры «хищник – жертва». При этом численные симуляции моделей развития выполняют обычно для макроэкономики, вовлекая в расчеты технологии (Solow), человеческий капитал (Romer), знания, ускорение темпов технического и научного прогресса. Известны и универсальные, более сложные в практике применения методы моделирования (аппарат теории игр и производственных функций, а также специализированные математические методы (агент-ориентированное моделирование и проведение симуляционных расчетов, имитационное моделирование, учитывающее некоторые индивидуальные свойства объектов анализа, модели рынка несовершенной конкуренции и др.). С ними можно ознакомиться в работах [7, 25–28]. В дальнейшем можно ожидать и трансформацию полученных результатов в парадигме эконофизики в ее обобщении при анализе социально-экономических систем: синергетику, например, с включением таких показателей, как рынок труда, занятость и т.п.

Результаты исследования использованы нами для оценки уровня несбалансированности и устойчивости регионального развития в среднесрочной перспективе и направлений повышения уровня устойчивости и сбалансированности российской экономики [7]: выявлены однородные регионы по длине среднесрочных бизнес-циклов и группы регионов, наиболее перспективные для инвестиций.

Нами сформирован и будет, видимо, развит комплекс моделей и методов моделирования экономической динамики на макро- и мезоуровнях, который отвечает требованиям адекватности, имеет прогнозно-аналитический характер. Причем изначально не ставилась цель подгона актуальных задач мезоэкономики под уже известные экономические теории макроэкономики в отрыве от потребностей экономической политики. Напротив, рассматриваемые модели в основном феноменологические, то есть наилучшим образом описывают конкретные эмпирические данные в классе рассмотренных моделей.

В отличие от физики эконофизика еще в недостаточной мере развита, многие ее положения не подтверждены в полной мере сопоставлением научных предположений с опытными данными, то есть она еще находится в начальной стадии своего развития, но позволяет решать актуальные и адекватные мезодинамике задачи. Объем ее знания уже значительно отличен от нуля, ведет к уровню, на котором возможно создание фундаментальных моделей, научной базы для реализации мезодинамикой роли своеобразных проводников, модераторов и

усилителей модернизационных, эволюционирующих инициатив для российской экономики. Предложенные нами методология и инструментарий могут быть востребованы в информационном сопровождении исследовательской и экспертно-аналитической деятельности Агентства стратегических инициатив, Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ¹, других институтов при переходе от формирования годовых индикаторов инновационного развития отраслей регионов России к внутригодовым, к решению задач прогнозирования и сценарного планирования.

¹ Семенычев В.К., Коробецкая А.А., Кожухова В.Н. Предложение инструментария адекватного моделирования эволюционной динамики регионов России: материалы XXI Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. URL: [https://events-files-bpm.hse.ru/files/E83AAA1E-3AAA-4810-B70C-8C86D84A22D1/Семенычев Коробецкая Кожухова Предложение инструментария.pdf](https://events-files-bpm.hse.ru/files/E83AAA1E-3AAA-4810-B70C-8C86D84A22D1/Семенычев%20Коробецкая%20Кожухова%20Предложение%20инструментария.pdf)

Таблица 1**Оцениваемые индикаторы цикличности отраслей экономики регионов Российской Федерации****Table 1****Estimated indicators of economic sectors' cyclicity in regions of the Russian Federation**

Индикатор	Статистический показатель	Единица измерения
Building	Объем работ, выполненных по виду деятельности «строительство»	Процент к декабрю 2004 г.
Stock	Товарные запасы в организациях розничной торговли (скорректированные на индекс потребительских цен)	Тыс. руб. в уровнях цен декабря 2004 г.
Prices	Базовый индекс потребительских цен на товары и услуги	Процент к декабрю 2004 г.
Extraction	Добыча полезных ископаемых	Процент к декабрю 2004 г.
CrudeOilGas	Добыча сырой нефти и природного газа	
Metalls	Добыча металлических руд	
Manufacturing	Обрабатывающие производства	Процент к декабрю 2004 г.
Chemical Industry	Производство химических веществ и химических продуктов	
Pharmacy	Производство лекарственных препаратов и материалов, применяемых в медицинских целях	
RubberPlastic	Производство резиновых и пластмассовых изделий	
Metallurgy	Производство металлургическое	
Electronics	Производство компьютеров, электронных и оптических изделий	

Источник: авторская разработка по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы. URL: <https://www.fedstat.ru/>

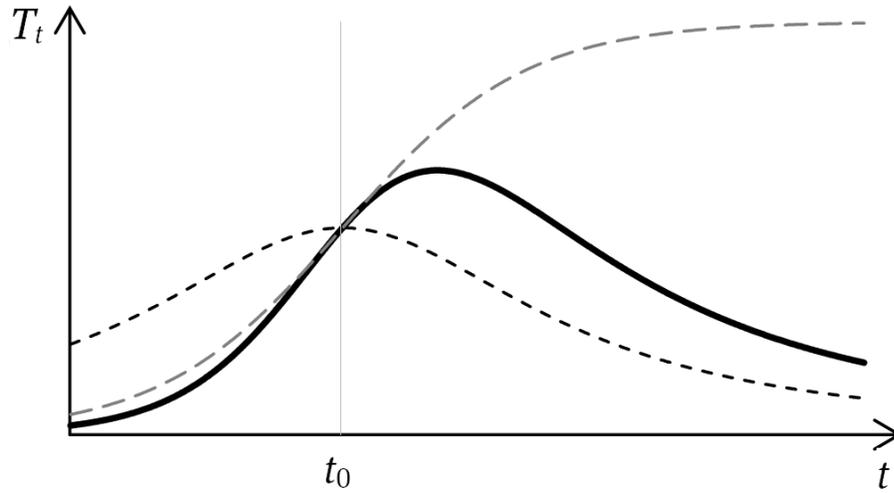
Source: Authoring, based on the Unified Interagency Information and Statistical System data. URL: <https://www.fedstat.ru/>

Рисунок 1

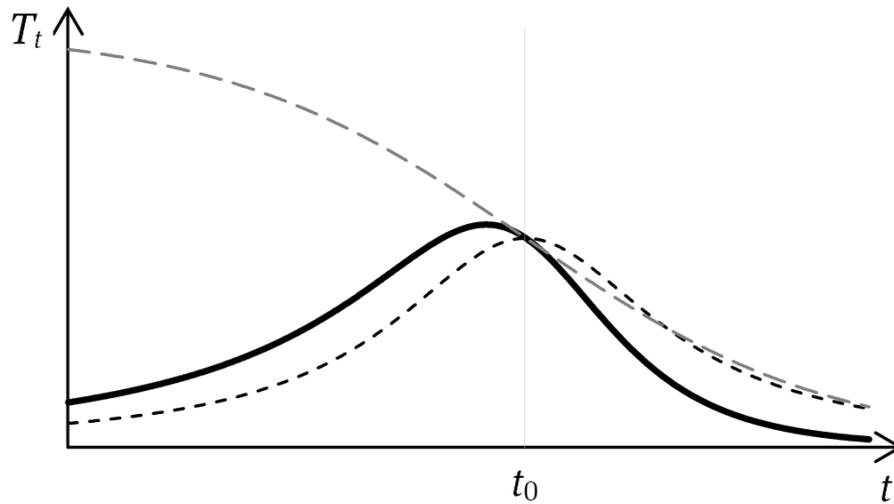
Вид адаптивной колоколообразной модели тренда с произвольной асимметрией
 $a - \sigma > 0; b - \sigma < 0$

Figure 1

Demonstration of the adaptive bell-shaped trend model with free asymmetry
 $a - \sigma > 0; b - \sigma < 0$



a



b

— Мультитренд gat – модель (7) - - - - - Сигмоида ······ Колоколообразная кривая

Источник: авторская разработка

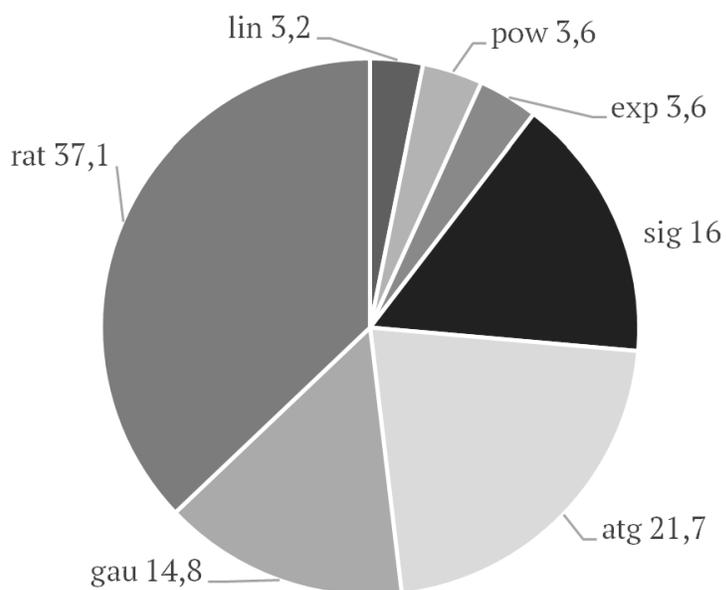
Source: Authoring

Рисунок 2

Относительные частоты применения трендов по результатам моделирования региональной экономической динамики, %

Figure 2

Relative frequency of trend usage based on the results of regional economy dynamics modeling, percentage



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 3

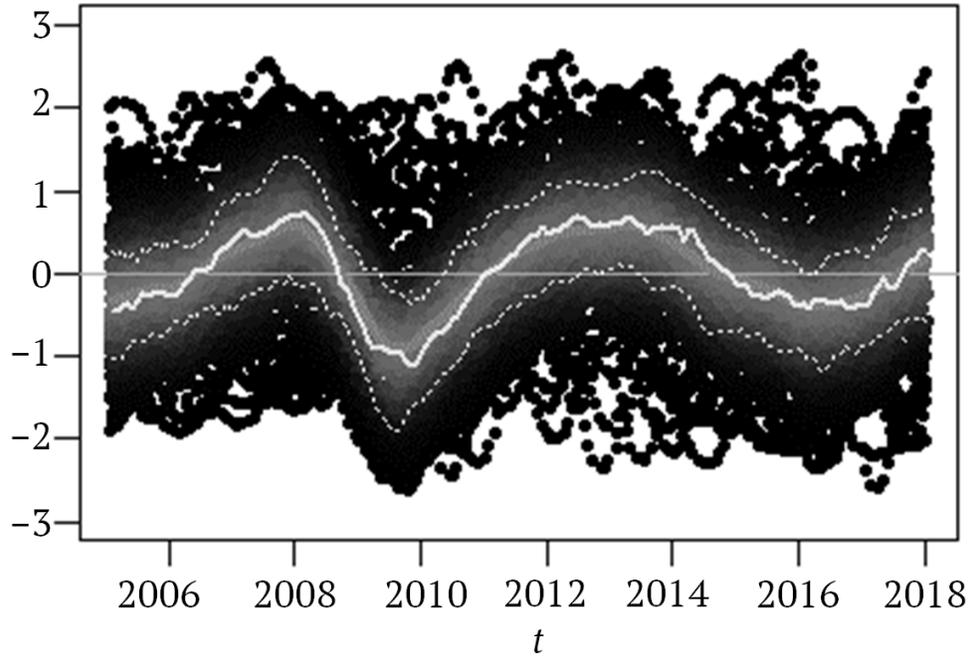
Обобщение колебаний по всем регионам по показателю «Manufacturing»:

***a* – циклические колебания; *b* – сезонные колебания**

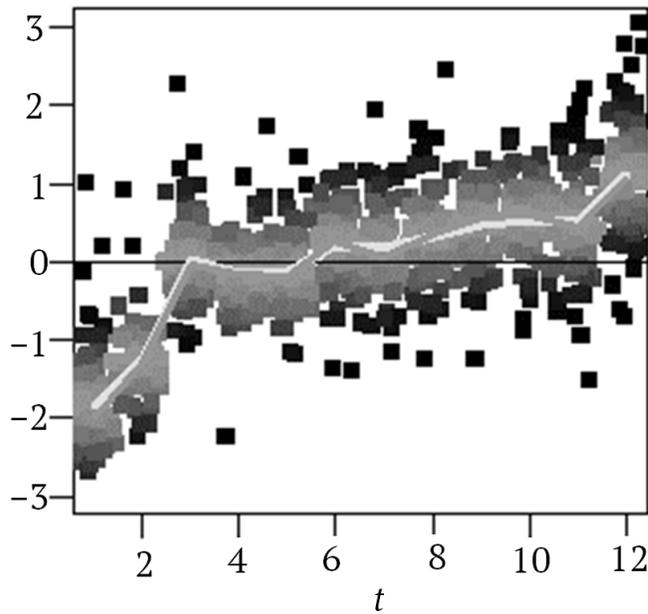
Figure 3

Generalization of fluctuations for all regions by *Manufacturing* indicator:

***a* – cyclical fluctuations; *b* – seasonal fluctuations**



a



b

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. *Yew-Kwang Ng*. Business Confidence and Depression Prevention: A Meso-economic Perspective. *The American Economic Review*, 1992, vol. 82(2), pp. 365–371.
URL: <https://www.jstor.org/stable/2117429>
2. *Гельвановский М., Жуковская В., Трофимова И.* Конкурентоспособность в микро-, мезо- и макроуровневом измерениях // *Российский экономический журнал*. 1998. № 3. С. 67–78.
3. *Маевский В.И., Кирдина-Чэндлер С.Г., Дерябина М.А.* Мезоэкономика: состояние и перспективы: монография. М.: Институт экономики Российской академии наук, 2018. 314 с.
4. *Клейнер Г.Б.* Мезоэкономика развития: монография. М.: Наука, 2011. 805 с.
5. *Круглова М.С.* Мезоэкономическая теория в англоязычной научной литературе // *Журнал институциональных исследований*. 2017. Т. 9. № 3. С. 24–35.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezoeconomicheskaya-teoriya-v-angloyazychnoy-nauchnoy-literature/viewer>
6. *Хмелева Г.А., Семенычев В.К., Коробецкая А.А. и др.* Инновационное развитие российских регионов в условиях санкций: монография. Самара: Самарский научный центр Российской академии наук, 2017. 304 с.
7. *Хмелева Г.А., Семенычев В.К., Коробецкая А.А. и др.* Российские регионы в условиях санкций: возможности опережающего развития экономики на основе инноваций: монография. Самара: Самарский государственный университет, 2019. 446 с.
8. *Семенычев В.К., Коробецкая А.А., Кожухова В.Н.* Предложения эконометрического инструментария моделирования и прогнозирования эволюционных процессов: монография. Самара: Самарская академия государственного и муниципального управления, 2015. 384 с.
9. *Чернавский Д.С., Никитин А.П., Чернавская О.Д.* О возникновении распределения Парето в нелинейных динамических системах // *Биофизика*. 2008. Т. 53. № 2. С. 351–358.
10. *Ivanova I., Strand Ø., Leydesdorff L.* The Synergy and Cycle Values in Regional Innovation Systems: The Case of Norway. *Foresight and STI Governance*, 2019, vol. 13, iss. 1, pp. 48–61. URL: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.1.48.61>
11. *Хавинсон М.Ю.* Эконофизика: от анализа финансов до судьбы человечества // *Пространственная экономика*. 2015. № 1. С. 144–166.
URL: <https://doi.org/10.14530/se.2015.1.144-166>

12. *Бабкин А.В.* Экономика и менеджмент в условиях нелинейной динамики: монография. СПб.: Политехнический университет, 2017. 773 с.
13. *Арнольд В.И.* «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: Московский центр непрерывного математического образования, 2008. 32 с.
14. *Болдыревский П.Б., Игошев А.К., Кистанова Л.А.* Исследования синергетических эффектов и цикличности современных экономических систем // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17. Вып. 11. С. 2166–2178.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.11.2166>
15. *Бабичева Н.Э., Любушин Н.П., Лылов А.И., Гуртовая И.Н.* Экспоненциальный рост и закон циклического развития систем // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17. Вып. 11. С. 1996–2009.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.11.1996>
16. *Нижегородцев Р.М.* Логистическое моделирование экономической динамики. Ч. II // *Проблемы управления*. 2004. № 2. С. 52–58.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/logisticheskoe-modelirovanie-ekonomicheskoy-dinamiki-ch-ii/viewer>
17. *Семенычев В.К., Кожухова В.Н.* Анализ и предложения моделей экономической динамики с кумулятивным логистическим трендом: монография. Самара: Самарский научный центр Российской академии наук, 2013. 152 с.
18. *Miranda L.C.M.* A Note on the Periodicities in the Logistic Analyses of Growth Processes. *Technological Forecasting and Social Change*, 2010, vol. 77, iss. 5, pp. 823–830. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.12.004>
19. *Кондратьев Н.Д., Яковец Ю.В., Абалкин Л.И.* Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. М.: Экономика, 2002. 765 с.
20. *Глазьев С.Ю., Микерин Г.И.* Длинные волны. Научно-технический прогресс и социально-экономическое развитие. Новосибирск: Наука, 1991. 224 с.
21. *Коротаев А.В., Малков С.Ю., Гринин Л.Е.* Вербальная модель соотношения длинных кондратьевских волн и среднесрочных жюгляровских циклов // *Анализ и моделирование глобальной динамики*. М.: Либроком, 2010. С. 44–70.
22. *Слуцкий Е.Е.* Сложение случайных причин как источник циклических процессов // *Вопросы конъюнктуры*. 1927. Т. III. Вып. I. С. 34–64.
23. *Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I.J.* STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on LOESS. *Journal of Official Statistics*, 1990, vol. 6(1), pp. 3–73. URL: <https://www.wessa.net/download/stl.pdf>

24. Семенычев В.К., Куркин Е.И., Семенычев Е.В., Данилова А.А. Инструментарий моделирования колебательной компоненты в колоколообразных кривых жизненного цикла продукта // Прикладная эконометрика. 2014. № 33(1). С. 111–123. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumentariy-modelirovaniya-kolebatelnoy-komponenty-v-kolokoloobraznyh-krivyh-zhiznennogo-tsikla-produkta/viewer>
25. Semenychev V.K., Kurkin E.I., Semenychev E.V. Multimodel Forecasting of Non-Renewable Resources Production. *Energy*, 2017, vol. 130, pp. 448–460. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.098>
26. Кирилюк И.Л. Модели производственных функций для российской экономики // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5. № 2. С. 293–312. URL: <http://doi.org/10.20537/2076-7633-2013-5-2-293-312>
27. Чекмарева Е.А. Обзор российского и зарубежного опыта агент-ориентированного моделирования сложных социально-экономических систем мезоуровня // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 2. С. 225–246. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rossiyskogo-i-zarubezhnogo-opyta-agent-orientirovannogo-modelirovaniya-slozhnyh-sotsialno-ekonomicheskikh-sistem-mezourovnya/viewer>
28. Дементьев В.Е. Микро- и мезооснования макроэкономической динамики // Вестник университета (Государственный университет управления). 2015. № 8. С. 103–109. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikro-i-mezoosnovaniya-makroekonomicheskoy-dinamiki/viewer>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

PROPOSED METHODOLOGY AND TOOLS OF ECONOPHYSICS TO ANALYZE MESODYNAMICS OF ECONOMIC SECTORS IN RUSSIAN REGIONS

Valerii K. SEMENYCHEV ^a, Galina A. KHMELEVA ^b,
Anastasiya A. KOROBETSKAYA ^{c*}

^a Samara State University of Economics (SSEU),
Samara, Russian Federation
505tot@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3705-1509>

^b Samara State University of Economics (SSEU),
Samara, Russian Federation
galina.a.khmeleva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4953-9560>

^c Samara State University of Economics (SSEU),
Samara, Russian Federation
kaa.sseu@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5500-7360>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 218/2020
Received 16 April 2020
Received in revised form
30 April 2020
Accepted 15 May 2020
Available online
30 July 2020

JEL classification: C53,
C65, O12, Q01

Keywords: region,
econophysics, evolution,
trajectory component

Abstract

Subject. The article analyzes the mesodynamics of economic sectors in Russian regions.

Objectives. The aim of the study is to undertake quantitative and qualitative monitoring of the components' evolution in twelve basic economic sectors from 2005 to 2017, to describe the regions' homogeneity, stability and balance, and their prospects for investment.

Methods. We employ methods of identification, lowess smoothing, and the bootstrap approach to identify models of mesodynamics on 30–50-value samples, without a priori knowledge about the stochastic component distribution law.

Results. The findings confirmed the possibility and adequacy of the econophysics paradigm for mesodynamic analysis. We justified and tested methods for general mesodynamic models' identification, using the *R* programming language.

Conclusions. The offered methodology and tools will enable to develop a knowledge base for fundamental laws of mesodynamics. They will also help reveal spatial and temporal features of cyclical development of Russian regions; assess the level of balance and sustainability of regional development in the medium term period; group the regions by their cycle length and define the most promising ones for investment.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Semenychev V.K., Khmeleva G.A., Korobetskaya A.A. Proposed Methodology and Tools of Econophysics to Analyze Mesodynamics of Economic Sectors in Russian Regions. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 7, pp. 1192–1217. <https://doi.org/10.24891/ea.19.7.1192>

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project № 20-010-00549.

References

1. Yew-Kwang Ng. Business Confidence and Depression Prevention: A Meso-economic Perspective. *The American Economic Review*, 1992, vol. 82(2), pp. 365–371.
URL: <https://www.jstor.org/stable/2117429>
2. Gel'vanovskii M., Zhukovskaya V., Trofimova I. [Competitiveness in micro-, meso- and macro-level dimensions]. *Rossiiskii ekonomicheskii zhurnal = Russian Economic Journal*, 1998, no. 3, pp. 67–78. (In Russ.)
3. Maevskii V.I., Kirdina-Chendler S.G., Deryabina M.A. *Mezoeconomika: sostoyanie i perspektivy: monografiya* [Meso-economics: Status and prospects: a monograph]. Moscow, Institute of Economics of Russian Academy of Sciences Publ., 2018, 314 p.
4. Kleiner G.B. *Mezoeconomika razvitiya: monografiya* [Meso-economics of development: a monograph]. Moscow, Nauka Publ., 2011, 805 p.
5. Kruglova M.S. [Meso-economic Theory in English-Scientific Literature]. *Zhurnal institutsional'nykh issledovaniy = Journal of Institutional Studies*, 2017, vol. 9, no. 3, pp. 24–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezoeconomicheskaya-teoriya-v-angloyazychnoy-nauchnoy-literature/viewer> (In Russ.)
6. Khmeleva G.A., Semenychev V.K., Korobetskaya A.A. et al. *Innovatsionnoe razvitie rossiiskikh regionov v usloviyakh sanktsii: monografiya* [Innovative development of Russian regions in conditions of sanctions: a monograph]. Samara, Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences Publ., 2017, 304 p.
7. Khmeleva G.A., Semenychev V.K., Korobetskaya A.A. et al. *Rossiiskie regiony v usloviyakh sanktsii: vozmozhnosti operezhayushchego razvitiya ekonomiki na osnove innovatsii: monografiya* [Russian regions in conditions of sanctions: The possibility of priority development of the economy based on innovation: a monograph]. Samara, Samara State University Publ., 2019, 446 p.
8. Semenychev V.K., Korobetskaya A.A., Kozhukhova V.N. *Predlozheniya ekonomicheskogo instrumentariya modelirovaniya i prognozirovaniya evolyutsionnykh protsessov: monografiya* [Proposals of econometric tools for modeling and forecasting evolutionary processes: a monograph]. Samara, Samara Academy of State and Municipal Management Publ., 2015, 384 p.

9. Chernavskii D.S., Nikitin A.P., Chernavskaya O.D. [Origins of Pareto distribution in nonlinear dynamic systems]. *Biofizika = Biophysics*, 2008, vol. 53, no. 2, pp. 351–358. (In Russ.)
10. Ivanova I., Strand Ø., Leydesdorff L. The Synergy and Cycle Values in Regional Innovation Systems: The Case of Norway. *Foresight and STI Governance*, 2019, vol. 13, iss. 1, pp. 48–61. URL: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.1.48.61>
11. Khavinson M. Yu. [Econophysics: From Finance Analysis to the Fate of Mankind]. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*, 2015, no. 1, pp. 144–166. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.14530/se.2015.1.144-166>
12. Babkin A.V. *Ekonomika i menedzhment v usloviyakh nelineinoi dinamiki: monografiya* [Economics and management in the context of nonlinear dynamics: a monograph]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2017, 773 p.
13. Arnol'd V.I. "Zhestkie" i "myagkie" matematicheskie modeli ['Hard' and 'soft' mathematical models]. Moscow, Moskovskii tsentr nepreryvnogo matematicheskogo obrazovaniya Publ., 2008, 32 p.
14. Boldyrevskii P.B., Igoshev A.K., Kistanova L.A. [Researching the synergistic effects and cyclicity of modern economic systems]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, iss. 11, pp. 2166–2178. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.11.2166>
15. Babicheva N.E., Lyubushin N.P., Lylov A.I., Gurtovaya I.N. [Exponential growth and the law of cyclic development of systems]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, iss. 11, pp. 1996–2009. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.11.1996>
16. Nizhegorodtsev R.M. [Logistic modeling of economic dynamics. Part II]. *Problemy upravleniya = Control Sciences*, 2004, no. 2, pp. 52–58. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/logisticheskoe-modelirovanie-ekonomicheskoy-dinamiki-ch-ii/viewer> (In Russ.)
17. Semenychev V.K., Kozhukhova V.N. *Analiz i predlozheniya modelei ekonomicheskoi dinamiki s kumulyativnym logisticheskim trendom: monografiya* [Analysis and proposals of economic dynamics models with a cumulative logistic trend: a monograph]. Samara, Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences Publ., 2013, 152 p.
18. Miranda L.C.M. A Note on the Periodicities in the Logistic Analyses of Growth Processes. *Technological Forecasting and Social Change*, 2010, vol. 77, iss. 5, pp. 823–830. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.12.004>

19. Kondrat'ev N.D., Yakovets Yu.V., Abalkin L.I. *Bol'shie tsikly kon'yunktury i teoriya predvideniya. Izbrannye trudy* [Big cycles of conjuncture and the theory of foresight. Selected works]. Moscow, Ekonomika Publ., 2002, 765 p.
20. Glaz'ev S.Yu., Mikerin G.I. *Dlinnye volny. Nauchno-tekhnicheskii progress i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie* [Long waves. Scientific and technological progress and socio-economic development]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 224 p.
21. Korotaev A.V., Malkov S.Yu., Grinin L.E. *Verbal'naya model' sootnosheniya dlinnykh kondrat'evskikh voln i srednesrochnnykh zhyuglyarovskikh tsiklov. V kn.: Analiz i modelirovanie global'noi dinamiki* [Verbal model of the proportion of long Kondratiev waves and medium-term Juglar cycles. In: Analysis and modeling of global dynamics]. Moscow, Librokom Publ., 2010, pp. 44–70.
22. Slutskii E.E. [The summation of random causes as the source of cyclic processes]. *Voprosy kon'yunktury*, 1927, vol. 3, iss. 1, pp. 34–64. (In Russ.)
23. Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I.J. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on LOESS. *Journal of Official Statistics*, 1990, vol. 6(1), pp. 3–73. URL: <https://www.wessa.net/download/stl.pdf>
24. Semenychev V.K., Kurkin E.I., Semenychev E.V., Danilova A.A. [A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix]. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*, 2014, no. 33(1), pp. 111–123. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumentariy-modelirovaniya-kolebatelnoy-komponenty-v-kolokoloobraznyh-krivyh-zhiznennogo-tsikla-produkta/viewer> (In Russ.)
25. Semenychev V.K., Kurkin E.I., Semenychev E.V. Multimodel Forecasting of Non-Renewable Resources Production. *Energy*, 2017, vol. 130, pp. 448–460. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.098>
26. Kirilyuk I.L. [Models of production functions for the Russian economy]. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie = Computer Research and Modeling*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 293–312. (In Russ.) URL: <http://doi.org/10.20537/2076-7633-2013-5-2-293-312>
27. Chekmareva E.A. [Overview of the Russian and foreign experience of agent-based modeling of complex socio-economic systems of the meso-level]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz = Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2016, no. 2, pp. 225–246. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rossiyskogo-i-zarubezhnogo-opyta-agent-orientirovannogo-modelirovaniya-slozhnyh-sotsialno-ekonomicheskikh-sistem-mezourovnya/viewer> (In Russ.)

28. Dement'ev V.E. [Micro-and mesobases of macroeconomic dynamics]. *Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyi universitet upravleniya)*, 2015, no. 8, pp. 103–109.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikro-i-mezoosnovaniya-makroekonomicheskoy-dinamiki/viewer> (In Russ.)

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.