

УДК 330

ЭКОНОФИЗИКА: ОТ АНАЛИЗА ФИНАНСОВ ДО СУДЬБЫ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

М.Ю. Хавинсон

Хавинсон Михаил Юрьевич – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Шолом-Алейхема, 4, Биробиджан, Россия, 679016. E-mail: havinson@list.ru.

Настоящая статья посвящена обзору ключевых идей и результатов нового междисциплинарного направления – эконофизики. Появление эконофизики есть закономерное явление, связанное со становлением новой парадигмы познания – синергетики. Первое и наиболее важное в эконофизике – это применение феноменологического подхода в экономических исследованиях, заключающегося в описании характера явления, но не претендующего на исчерпывающее объяснение его механизмов. В рамках эконофизики на основе методов квантовой и статистической физики были спрогнозированы национальные и мировые кризисы (распад СССР, крахи на китайском фондовом рынке в 2005–2009 гг., мировой финансовый кризис). В результате применения нелинейных динамических моделей описаны циклические и сложные режимы динамики социально-экономических систем (численности народонаселения, развития города, торговли между странами и др.).

Эконофизика, синергетика, теория нелинейной динамики, кризис экономической теории, общий социальный анализ, новое гуманитарное мышление.

DOI: 10.14530/se.2015.1.144-166

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья представляет собой обзор идей и результатов относительно нового междисциплинарного научного направления – эконофизики. Этот обзор, вероятно, столь же необычен, как и сочетание экономики и физики. Необычен, во-первых, потому, что в нем описываются результаты междисциплинарных исследований на стыке экономики, физики, биологии, химии и математики, что необходимо для более глубокого понимания идей эконофизики. Во-вторых, размах проблем, на которых сфокусированы исследования эконофизики, сегодня оказался потрясающим: от анализа отдельных социально-экономических процессов до осмысления будущего человечества. Ввиду этого в статье уделено внимание основным результатам эконофизики.

© Хавинсон М.Ю., 2015

Настоящий обзор не претендует на абсолютную полноту изложения, и заинтересованный читатель сможет глубже ознакомиться с работами в этой области в соответствующей литературе, приведенной в конце статьи.

Поскольку эконофизика – молодое научное направление, сначала весьма важно понять ее истоки, первоначальные идеи, которые до сих пор служат вектором и вдохновителем ее развития.

ИСТОКИ ЭКОНОФИЗИКИ

Термин «эконофизика» впервые употреблен американскими исследователями Р.Н. Мантеня и Г.Ю. Стенли в середине 1990-х гг. По мнению авторов, «данный неологизм призван обрисовать область деятельности физиков, которые работают над экономическими проблемами, проверяя концептуальные подходы, заимствованные из физических наук» [62, с. 5]. Приведенное определение весьма осторожное, обтекаемое и в общем не раскрывает содержание этого научного направления. Это вполне понятно, поскольку, вероятно, сами авторы догадывались, что обнажили лишь часть большого айсберга приложений естественно-научных методов в экономике. Известный физик Л.И. Мандельштам сравнивал «чрезмерно ограничительные определения на начальном этапе существования научной дисциплины с губительным пристрастием заворачивать младенца в колючую проволоку» (цит. по [5, с. 89]). В «Лекциях по теории колебаний» он отмечал, что «было бы бесплодным педантизмом стараться «точно» определить, какими именно процессами занимается теория колебаний. Важно не это. Важно выделить руководящие идеи, основные общие закономерности» (цит. по [5, с. 16]). Вероятно, это же касается эконофизики.

Научные школы независимо друг от друга, находясь у истоков эконофизики, называли свои направления исследований «экономической синергетикой», «синергетической экономикой», «физической экономикой». Термин «синергетическая экономика» употреблял В.-Б. Занг, подчеркивая, что «синергетическая экономика относится к области экономической теории» [72]. Термин «экономическая синергетика» использовали отечественные ученые Л.П. Евстигнеева и Р.Н. Евстигнеев, раскрывая ее гуманитарное содержание [6]. Физическую экономику описывал один из ее отечественных основоположников, развивающих концепции биофизики в экономике, Д.С. Чернавский [44].

В этой конкуренции терминов сегодня выигрывает неологизм «эконофизика», в содержании которого удалось объединить все результаты приложений нелинейной динамики в экономике [33]. Дополнительным преимуществом термина является его лаконичность и отсутствие некоторой путаницы между главным и зависимым словами, как в терминах «синергетическая экономика» и

«экономическая синергетика». Несмотря на то, что Р.Н. Мантенья и Г.Ю. Стенли назвали эконофизикой приложения статистической физики к анализу финансовых временных рядов [62], стало понятно, что к эконофизике прямо относятся и приложения нелинейной динамики в экономике (хотя была попытка обозначить это направление как «термоэкономика» [48]). Выделяются два направления эконофизики [33]: статистическая эконофизика (изучение финансовых временных рядов методами статистической физики, к которой можно отнести и квантовую эконофизику В.П. Маслова [23; 46, с. 33–133]) и динамическая эконофизика (изучение общих закономерностей эволюции социально-экономических систем на основе базовых математических моделей).

Нельзя сказать, что сама идея применения естественно-научных методов в гуманитарных исследованиях возникла в конце прошлого века. Скорее наоборот, происходит возврат к фундаментальным основам научного познания, заложенным еще в Древней Греции.

Экономические отношения формируются людьми, которые сами являются частью этих отношений. Понятно желание исследователя вынести за скобки человеческий фактор, чтобы встать на позицию наблюдателя, а не участника. Неоклассическая экономическая теория минимизировала человеческий фактор тем, что приняла рациональность поведения экономического агента, заключающуюся в максимизации его прибыли [43]. При этом, например, Ф. Майровски небезосновательно считает, что «нео-классическая теория есть не что иное, как переинтерпретация математических конструкций термодинамики середины XIX в.» (цит. по: [7, с. 89]). Физические теории как формализованные познавательные конструкции, почти всегда исключают человеческий фактор в изучаемых системах, весьма удобны и для построения фундамента познания экономики. И, пожалуй, почти всегда любым формализованным экономическим положениям можно найти соответствующие проекции из естественно-научных дисциплин. Это неслучайно. Есть весьма важная закономерность в развитии науки последнего столетия, которая позволяет утверждать, что и эти проекции, и появление эконофизики как междисциплинарного направления есть закономерное явление, связанное со становлением новой парадигмы познания – синергетики.

Ключевую идею познания можно обозначить как создание «теории всего». Большим прорывом в понимании общих законов окружающего мира (и человека в том числе) стала идея эволюции, получившая математическое подкрепление в виде развития теории нелинейной динамики и реализованная в синергетической парадигме [22; 55; 67]. Оказывается, даже неживая материя способна формировать сложные самоорганизованные структуры. Ярким и классическим примером такой способности является химическая реакция Белоусова – Жаботинского, отдельные параметры которой (например, цвет и

температура) меняются периодически без целенаправленного внешнего воздействия, образуя сложный «рисунок» (пространственную структуру) реакционной среды [8]. Предполагалось, что такое подобное поведение присуще и человеческому обществу [67], т. е. системы разной природы демонстрируют похожее сложное поведение, которое описывается математическими уравнениями [25; 72]. Численно-аналитическое исследование этих уравнений показало соответствие расчетов и экспериментальных данных.

Продолжение исследований общества с позиций нелинейной динамики привело к формированию нового направления – социодинамики, которая также затрагивает вопросы экономики, например, конкуренцию между фирмами, потребление традиционных и модных товаров [71]. Исследования в традиционных научных областях на основе синергетической парадигмы привели к формированию новых, взаимодействующих между собой направлений (экономифизика, социодинамика, клиодинамика, биофизика и др.) [1; 12; 32; 71].

Есть еще одна важная причина появления и развития экономифизики как приложения синергетики в экономике – это кризис экономической теории [26; 30; 31]. Как отмечает П.А. Минакир, «в рамках самой экономической науки оказалось невозможно ответить на основные вопросы, но точно так же и вне экономической науки отдельные социальные дисциплины не в состоянии адекватно отразить социальную материю» [26]. Финансовый кризис 2007–2009 гг., возможность которого отрицалась представителями ведущих экономических школ [60], еще более подчеркнул, что «экономическая наука фактически оказалась неспособной в рамках превалирующей в современной науке парадигмы объяснить фундаментальные тенденции общественного развития» [26].

Таким образом, возникший гносеологический вакуум в экономической науке пытаются заполнить новые научные направления на основе синергетической парадигмы, в числе которых – экономифизика.

ПЛОДЫ ЭКОНОФИЗИКИ

Первое и наиболее важное в экономифизике – это применение феноменологического подхода в экономических исследованиях [35]. Если принять, что экономика – сложная система, поведение которой, структура и внутренние связи не до конца изучены и понятны (а этот факт уже является общепризнанным), то вполне разумно воспользоваться весьма давним, но эффективным подходом в изучении таких систем – феноменологическим. Феноменологический подход широко применяется в естественных науках, изучающих открытые неравновесные системы, каковой является и экономика. Суть феноменологических исследований сводится к диагностике, измерению характеристик объекта или явления без жесткой привязки к какой-либо фун-

даментальной теории. Разумеется, любые эксперименты ориентируются на подтверждение или опровержение сформулированной гипотезы, однако гипотезы в этом случае базируются на некоторой общей феноменологической теории, описывающей характер явления, но не претендующей на исчерпывающее объяснение его механизмов.

Примечательно, что сами экономисты подчеркивают весьма важную роль эмпирических данных в разрешении кризиса экономической теории. Так, В.М. Полтерович полагает, что формирование новой дисциплины, синтеза социальных наук – общего социального анализа – может способствовать разрешению кризиса общественных наук. В общем социальном анализе значимое место отводится единой эмпирической базе, включающей социально-экономические индикаторы, опросы, анкетирование, «полевые» исследования, институциональные и лабораторные эксперименты. В качестве аналитического аппарата полагается использовать эконометрику и теорию игр [31]. Следует отметить, что эконофизика довольно близка по духу к общему социальному анализу, но уже сейчас имеет гораздо больший арсенал методов анализа временных рядов и моделирования.

Если говорить об успехах эконофизики, то, пожалуй, в первую очередь следует подчеркнуть ее успешные прогнозы национальных и мировых кризисов, имея в виду, что отсутствие таковых прогнозов для экономической науки было показателем ее, по крайней мере частичной, несостоятельности. Вероятно, первые сбывшиеся прогнозы, основанные на эконофизическом подходе, сделаны академиком В.П. Масловым. Эти прогнозы касались распада СССР и кризиса 1990-х гг. [46, с. 33–133]. Для моделирования движения финансов В.П. Маслов использовал элементы неклассической физики, точнее, квантовой механики. Квантовая механика изучает, в частности, объекты, которые имеют свойства и частиц, и волн. Например, свет (точнее фотоны) можно рассматривать и как поток частиц, и как волну (корпускулярно-волновой дуализм). При этом невозможно точно определить местоположение частиц (принцип неопределенности Гейзенберга) [37]. Финансы можно рассматривать в ключе корпускулярно-волнового дуализма, а значит, для описания их динамики можно использовать опыт квантовой механики. Если рассматривать деньги как совокупность частиц (нумерованных купюр, слитков драгоценных металлов и т. д.), то их движение будет осуществляться с конечной скоростью (например, передача из рук в руки), и в любой момент времени можно определить их местоположение (например, наличие у того или иного лица). С развитием информационных технологий деньги виртуализировались, и скорость их обращения стала сравнимой со скоростью движения фотонов: передача денег из одной точки мира в другую происходит часто посредством электронных импульсов, движущихся со скоростью света. Причем

таким образом обращается весьма значительная часть финансов, поскольку электронным способом осуществляют транзакции крупные экономические агенты – банки. И с того момента, когда деньги «научились» двигаться со скоростью света, они приобрели волновые свойства, одним из которых является принцип тождественности частиц. Приблизительно это означает то, что сто рублей, положенные в банк Владивостока, неотличимы от тех же ста рублей в банке Москвы. Значение имеет не отдельная купюра и ее номерной знак, а ее номинальная стоимость и скорость, с которой она движется в денежном обороте. И как только эти сто рублей попадают в банк Владивостока, их судьба настолько же неопределенна, как и судьба ста рублей в банке Москвы: в один миг эти финансы могут «поменяться местами» или оказаться в другой точке планеты. Применяя квантовую статистику Бозе – Эйнштейна и собственные разработки в области квантовой статистики, В.П. Маслову удалось предсказать катастрофические события 1990-х гг. При этом им было предложено и решение – «хотя бы ввести вторую валюту, иначе она возникнет стихийно в виде печатающегося в США доллара» [46, с. 34]. Дальнейшее развитие квантовой эконофизики В.П. Масловым, а именно использование теории фазовых переходов, т. е. лавинообразных переходов вещества из одного состояния в другое, позволило спрогнозировать финансовый кризис 2008 г. По словам академика, на основе его методики можно рассчитать критическое число для разного вида долгов и определить время наступления кризиса [24].

Примерами успешных эконофизических прогнозов также являются результаты исследования зарубежных эконофизиков, предсказавших крахи на китайском фондовом рынке в 2005–2009 гг. [49; 56; 58]. Исследователи использовали статистическую физику и теорию фазовых переходов. В качестве примера авторы сравнивают динамику падения фондового рынка с аплодисментами: сначала каждый хлопает в своем ритме, и создается случайный шум, через некоторое время все случайности исчезают, и люди начинают хлопать в унисон. Исследователи утверждают, что как существует момент и состояние синхронизации аплодисментов, так и существует момент обвала на фондовом рынке [49]. Идея моделирования резкого обвала была также и ранее высказана Д. Сорнетте в возможностях применения теории самоорганизованной критичности к описанию динамики падения фондовых рынков [36]. Классическим примером этой теории служит схождение лавины или кучи песка. Интересным фактом, открытым эконофизиками, оказалось и то, что закон Омори, описывающий сейсмическую активность после землетрясения, также хорошо моделирует последствия крахов на фондовых рынках [65]. Подобный факт замечен и нашими отечественными исследователями Г.Г. Малинецким и С.П. Курдюмовым, нашедшими аналогии между динамикой индекса Доу – Джонса перед Великой депрессией в 1921–1930 гг. и динамикой концентрации ионов хлора в

атмосфере в районе землетрясения перед катастрофическим землетрясением в Кобе (Япония) в 1995 г. [21]. Отдельным вопросом является влияние прогнозов на поведение инвесторов и трейдеров, а именно могут ли прогнозы спровоцировать падение цен на фондовом рынке. Если руководствоваться моделями статистической физики, то, скорее всего, нет. Нивелировать информационное воздействие прогноза может желание инвесторов получать большую прибыль до самого момента наступления обвала, хотя этот фактор, вероятно, может сдвинуть временной интервал возникновения кризиса.

Одним из важных результатов эконофизики является обоснование применения вероятностного распределения Леви к описанию динамики финансовых рядов [51; 62]. Характерной особенностью этого распределения является то, что события, значительно отклоняющиеся от среднего, происходят чаще (с большей вероятностью), чем в нормальном (гауссовом) распределении. Временные ряды, описываемые этим распределением, обладают свойством масштабной инвариантности или самоподобием (фрактальностью). Характер их динамики не зависит от того, в каком масштабе их рассматривать: часах, днях или месяцах. Иными словами, если удалить единицы времени с графика динамики временного ряда, то визуально определить единичный временной интервал не удастся, поскольку картина будет характерна для различных временных единиц. Следует отметить, что фрактальность финансовых временных рядов обнаружил основатель фрактальной геометрии Б. Мандельброт еще в 1965 г. [61]. Интересно также и то, что фрактальность характерна не только для социальных, но и для природных систем. Например, контур береговой линии [61] и траектория полета альбатросов [66] в поисках пищи имеют фрактальную структуру. Отечественные исследователи, продолжая изыскания зарубежных эконофизиков, ввели новые фрактальные показатели (размерность минимального покрытия и индекс фрактальности). На основе анализа этих показателей выявлено, что крупномасштабные колебания цен на финансовом рынке увеличиваются при подавлении мелкомасштабных. Этот эффект позволил построить индикатор сильных колебаний на глобальном финансовом рынке [46, с. 256–306]. Таким образом, применение методов статистической физики позволило разработать некоторую методику прогнозирования кризисов на финансовых рынках.

Важные результаты, полученные в области эконофизики, касаются применения базовых динамических моделей к описанию и прогнозу эволюции социальных систем [1; 28; 33]. В эконофизике общие закономерности самоорганизации описаны простыми (базовыми) моделями. Ярким и уже приведенным в настоящей статье примером является математическая модель, описывающая реакцию Белоусова – Жаботинского. Интересную мысль о том, почему простые модели могут описывать поведение сложных систем, выска-

зали отечественные ученые С.П. Капица, С.П. Курдюмов и Г.Г. Малинецкий: «Почему простые модели и теории работают в нашем безумно сложном мире? Один из ответов, предлагаемых нелинейной наукой, таков: все дело в том, что происходит самоорганизация. Сложные системы имеют очень много степеней свободы. Однако все устроено так, что в процессе эволюции выделяются несколько главных, к которым подстраиваются все остальные. Эти главные степени свободы называются параметрами порядка. Когда этих параметров немного, есть шанс описать сложную систему просто» [9, с. 36].

К базовым моделям эконофизики относят модели роста народонаселения. Первой такой моделью была экспоненциальная модель Т. Мальтуса, которую он применил в 1798 г. к описанию динамики численности населения Земли [28]. Суть модели сводится к увеличению численности населения мира в геометрической прогрессии, при этом, как полагал Т. Мальтус, продовольственные запасы человечества растут в арифметической прогрессии (что медленнее темпов роста населения). В модели Т. Мальтуса допускается бесконечный рост численности населения. Этот недостаток устранен в логистической модели, предложенной в 1838 г. П. Ферхюльстом: после периода экспоненциального роста численность населения стабилизируется [33]. Следует отметить, что логистическая модель хорошо описывает динамику численности различных биологических популяций. Современная глобальная динамика народонаселения описывается гиперболической моделью, которую предложил С.П. Капица [9]. В этой модели рост численности населения происходит еще быстрее, чем в модели Т. Мальтуса, причем существует критическая временная точка, в которой темпы роста становятся бесконечными. Обсуждая эту феноменологическую модель, С.П. Капица получил количественные оценки демографического перехода (т. е. неизбежной стабилизации численности населения): демографический переход займет 90 лет и завершится к 2050 г. [28]. О гиперболическом росте населения Земли также писал австрийский физик и математик Х. Ферстер в 1960 г. По его расчетам, «судный день» (момент бесконечного роста численности населения планеты) настанет 13 ноября 2026 г. [53].

Другой базовой моделью эконофизики является модель борьбы условной информации в одномерном случае, сводящаяся к уравнению логистического роста:

$$\frac{du_i}{dt} = \frac{1}{\tau_i} u_i - \sum_{j \neq 0}^n b_{i,j} u_j u_i - a_i u_i^2 + D_i \Delta u_i,$$

где u_i — число носителей i -й информации; u_j — число носителей j -й информации; τ_i , $b_{i,j}$, a_i — параметры модели; $D_i \Delta u_i$ — пространственное распределение носителей информации. Иными словами, первый член правой части описы-

вает воспроизведение i -й информации, второй – взаимодействие носителей различной информации, третий – некоторые внешние ограничения, четвертый – миграцию носителей информации в пространстве [43]. Эта модель «родом» из биофизики (авторы модели – А.Дж. Лотка и В. Вольтерра составили ее в 1920-х гг. независимо друг от друга [32]) и описывает динамику численности взаимодействующих популяций (например, типа «хищник – жертва»), а также взаимодействие химических веществ [64]. В математической биологии при помощи такого типа систем уравнений описаны колебания и сложные режимы динамики численности популяций [32; 38; 39; 45; 54]. В модели Лотки – Вольтерры [70] был использован важный принцип моделирования взаимодействия живых систем: парные взаимодействия в уравнениях описывались произведениями u_i, u_j , где u_i – численность i -й популяции, u_j – численность j -й популяции. Изменения численности популяций предполагались, кроме процессов смертности и воспроизводства, обусловленными прямыми «столкновениями» особей разных популяций (коэффициент при u_i, u_j указывал на то, какая доля встреч особей влечет за собой изменение численности популяций). Например, взаимодействие хищника с жертвой приводит в ряде случаев к поеданию жертвы хищником, вследствие чего биомасса хищника увеличивается (и улучшаются условия для размножения хищника), а численность жертвы уменьшается. Модель Лотки – Вольтерры также использована для описания распространения инфекций среди животных. В этих моделях одной популяцией являются неинфицированные особи, другой – зараженные особи [32]. Взаимодействие особей этих популяций приводит к заражению здорового животного и переходу его в популяцию больных (зараженных). Интересно, что эти же подходы использованы в математическом моделировании распространения инфекций среди людей, в том числе и распространения несуществующего, но очень популярного в кинематографии зомби-вируса, стремительно приводящего к уничтожению человечества. В книге с не очень серьезным названием «Mathematical Modelling of Zombies» («Математическое моделирование зомби»), изданной университетом Оттавы, излагаются результаты, которые могут быть использованы при исследовании распространения реально существующих вирусов [63]. Идея изменения численности групп при их взаимодействии оказалась подходящей для описания распространения не только инфекций, но и информации (собственно инфекцию можно рассматривать как частный случай некоторой биологической информации), влияющей на социальные, экономические, политические и другие предпочтения групп людей и экономических агентов [3; 25; 27; 40; 42; 57]. Ввиду этого модели типа «хищник – жертва» начали широко применяться в исследовании социальных систем, в частности, в социодинамике В. Вайдлиха [71].

Результаты исследования базовых эконофизических моделей борьбы условной информации связаны, прежде всего, с успехами теории нелинейной динамики (т. е. математическими результатами).

В нелинейных математических моделях, начиная с двумерных (систем из двух дифференциальных уравнений), обнаружены периодические решения, наличие которых может объяснять циклические изменения в химических реакциях, биологических популяциях и экономической активности [5; 22]. С точки зрения экономической теории циклы было принято описывать содержательно, связывая их с производственными, технологическими и другими циклами. В эконометрике формализованное описание этих циклов ограничивалось либо введением тригонометрических функций, либо использованием линейных мультипликаторов-акселераторов с запаздыванием (модели Самуэльсона, Хикса, Гудвина, М. Калецкого и др.) [47]. При этом эконометрические модели не описывали сложные периодические и нерегулярные колебания, более характерные для реальных экономических систем. При исследовании нелинейных динамических моделей, подходящих и для описания экономических процессов, было обнаружено, что циклические решения могут усложняться (увеличивается период циклов), переходя в хаотические колебания [52]. Это явление легло в основу концепции динамического (детерминированного) хаоса, которая углубила фундаментальные знания о мире и, в частности, нашла применение в экономике [72]. Зная начальное состояние системы, все связи между ее переменными (т. е. фактически зная все о системе), не всегда можно предсказать ее поведение. Это фундаментальное ограничение прогноза, которое отечественные исследователи назвали «конечным горизонтом прогноза», наблюдается даже в весьма простых моделях и физических системах. По словам С.П. Курдюмова и Г.Г. Малинецкого, «нелинейная динамика развеяла иллюзию глобальной предсказуемости: мы не можем предсказать, начиная с какого-то горизонта прогноза, поведение многих достаточно простых систем» [21]. Примечательно, что детерминированный хаос был обнаружен впервые в физической системе, а именно в модели конвекции воздуха в 1963 г. метеорологом Э. Лоренцем [59].

Важным теоретическим положением эконофизики стал отказ от постулата о единственном состоянии равновесия в экономической системе. Дело в том, что экономика любого уровня имеет колебательный характер, и, как уже было отмечено, эти колебания могут быть устойчивыми и сложными, что является невозможным для системы с единственным положением равновесия. Сложные режимы динамики могут наблюдаться лишь в случае, когда в системе существует несколько стационарных состояний, которые притягивают траектории и создают разнообразные динамические эффекты [5; 22]. В макроэкономической модели современной России, предложенной

Д.С. Чернавским, Н.И. Старковым и А.В. Щербаковым, описываются два стационарных состояния: низкопроизводительное и высокопроизводительное [43]. Экономические кризисы в этой модели соответствуют фазовым переходам. По заключению авторов, «модель является достаточно полной, т. е. дает информацию о распределении населения по доходам и накоплениям (и то и другое в современной России очень поляризовано), о спросе на товары разных категорий и т. п. Иными словами, она позволяет представить экономический портрет современной России» [43].

Интересно то, что отказ от единственности равновесия приводит к тому, что и поведение экономического агента должно быть не таким рациональным (максимизирующим прибыль), как это полагалось в экономической теории. Должны быть и другие мотивационные полюса в поведении экономических агентов, ведь это поведение также сложно и нелинейно. Следует отметить, что подобные идеи развивали и сами экономисты. Например, Г. Саймон полагал, что акторы экономических отношений могут ставить главной целью — добиться определенного социального положения (принцип ограниченной рациональности) [69]. Для более реалистичного описания поведения экономического агента в эконофизике предлагается использовать разработки математической психологии В.А. Лефевра, включающие учет этических аспектов [19; 46, с. 529–550]. В качестве полюсов в поведении экономических агентов в формализме В.А. Лефевра используются добро и зло [19]. При этом полагается, что этот формализм необходимо и далее совершенствовать, вводя дополнительные особенности поведения субъектов, например, память агентов. Безусловно, человеческое поведение в аспекте этики моделировать весьма непросто, учитывая, что между даже двумя состояниями «добро — зло» будут возникать колебательные динамические режимы (известное «дьявол с Богом борются, а поле битвы — сердца людей» Ф.М. Достоевского). Тем не менее коалиции агентов подчиняются законам самоорганизации, иначе в этом хаосе человеческого поведения создать любую экономическую систему было бы принципиально невозможно. Таким образом, совершенствование моделирования поведения экономического агента — одна из задач, поставленных эконофизикой.

Следует отметить, что наряду с такими направлениями, как поведенческая, социальная, экспериментальная экономика, эконофизика вносит свой вклад в «очеловечивание» экономической науки.

БУДУЩЕЕ ЭКОНОФИЗИКИ

Ближайшие перспективы эконофизики, конечно, в первую очередь связаны с развитием уже полученных результатов в рамках этого научного направления. Во-первых, это более углубленное изучение и моделирование

поведения экономических агентов. При этом необходимо учесть, что социальная система обладает свойством эмерджентности (т. е. свойства системы в целом не сводятся к сумме свойств ее отдельных частей) и является иерархической. Например, если поведение человека может быть различным, когда он «предоставлен сам себе», является частью семьи, коллектива и т. д. Объединяясь в группы, экономические агенты постоянно приобретают новые системные свойства, зависящие от масштаба и характера этих групп. Кроме того, важно будет понять, насколько поведение экономических агентов будет устойчиво к воздействию различной информации. В.М. Полтерович отмечает, что «выводы из экономических теорий довольно быстро становятся достоянием массы экономических агентов и влияют на формирование ожиданий. Стоит исследователям что-то узнать о закономерностях функционирования фондового рынка, как эти закономерности осваиваются агентами и влияют на их поведение. В результате выявленные закономерности перестают выполняться. Здесь прослеживается определенная аналогия с принципом неопределенности Гейзенберга» [31]. Действительно, современные технологии позволяют распространять информацию со скоростью света, а значит, при условии быстрого восприятия этой информации поведение экономических агентов приобретет волновые свойства. Возможно, некоторые решения задач такой неопределенности может предложить квантовая теория игр [4].

Во-вторых, развитие экономофизики связано с продвижением теории нелинейной динамики. Дальнейшее развитие теории детерминированного хаоса (а это, например, теория русел и джокеров, описывающая некоторые возможности «управления» хаосом [22]), вероятно, может дать новые ответы на вопросы о критических значениях параметров социальной системы, преодоление которых ведет к возникновению хаоса и непредсказуемости. Интересно и то, что переход от порядка к хаосу и наоборот имеет универсальные сценарии для самых различных систем [52]. Это позволяет надеяться (в совокупности с развитием других аспектов нелинейной динамики) на продвижение прогнозирования социальных катастроф и выявления их предвестников [21]. Кроме того, более детально исследуются нелинейные эффекты в математических моделях [10; 11; 13; 14; 16; 17]. Например, в классе популяционных моделей обнаружен эффект одновременного существования устойчивых циклов разной длины (мультирежимность) [15]. Он означает, что, изменив (в некоторых случаях лишь немного) начальные условия системы, можно получить разные по характеру циклических колебаний траектории. Если мультирежимность есть в социальных системах (а скорее всего, это так), то становится понятным, почему бесполезно и опасно бездумно перенимать положительный опыт соседних государств, даже при том, что «у нас сейчас так же, как было тогда у них». В нелинейной системе любое отклонение в значениях параметров или началь-

ных условиях может привести к совершенно непредсказуемым последствиям. Экономика, уже бесспорно, – нелинейная система [9; 41; 50; 68].

В-третьих, развитие эконофизики связано с ее междисциплинарностью, более глубоким и содержательным использованием математической психологии, социологии, политологии, демографии, права и других гуманитарных наук. Интересно то, что такое междисциплинарное взаимодействие может дать неожиданные результаты для отдельных наук. Например, по словам В.П. Маслова, «математическое объяснение известных эффектов в экономике (дефолт, пробой курса акций) проливает свет на эффекты в квантовой теории жидкости (например, эффект фонтанирования) и на неизвестный физикам до настоящего времени эффект фазового перехода нулевого рода» [46, с. 33].

При обсуждении дальнейшей судьбы эконофизики интересна мысль Дж. Россела-мл.: «...в долгосрочной перспективе, когда идеи физиков будут полностью восприняты экономистами, а сами физики будут достаточно хорошо понимать экономическую науку, тонкая грань, отделяющая эконофизику от других наук, может исчезнуть, и успех эконофизики фактически приведет к ее исчезновению. Так, некоторые идеи, первоначально проникшие из физики в экономику, настолько хорошо в ней прижились, что сегодня воспринимаются как чисто экономические, а об их первоначальном происхождении мало кто помнит» [34].

Как уже было отмечено, эконофизика по смыслу близка к общему социальному анализу В.М. Полтеровича [31]. Возможно, именно этой синтетической дисциплине эконофизика может предложить богатый инструментарий для определения общих закономерностей развития общества на основе методов статистической физики и теории нелинейной динамики.

Следует отметить, что не совсем ясно, что может быть фундаментальной основой общего социального анализа, какова будет его аксиоматика. Понятно, что в целом существующие сегодня концептуальные положения экономики и социологии в полной мере не смогут стать его основой ввиду кризиса общественных наук. Вероятно, общий социальный анализ может опираться на синергетическую парадигму, и в этом случае роль эконофизики в развитии общественных наук будет существенной. Сегодня в науке синергетика – это, пожалуй, наиболее общая концепция, способная синтезировать отдельные научные направления. При этом точные науки (математика, физика) «в чистом виде» вряд ли смогут претендовать на роль концептуального фундамента общего социального анализа. Математика – это способ формализации. Рассматривая математику в качестве претендента основ общего социального анализа, сразу же возникает вопрос: а какие содержательные положения общего социального анализа должны быть формализованы? В математике основополагающая роль отводится аксиомам, которые не могут быть в принци-

пе правильными или неправильными, и аксиоматика определяет содержание теории. Например, геометрия Евклида и геометрия Лобачевского одинаково «правильные», но дают различные результаты из различия во всего лишь одной аксиоме. В геометрии Евклида предполагается, что через точку, не лежащую на данной прямой, проходит не более одной прямой, параллельной данной (т. е. прямой, лежащей с данной прямой в одной плоскости и не пересекающей ее). В геометрии Лобачевского через точку, не лежащую на данной прямой, проходят, по крайней мере, две прямые, параллельные данной [20]. Таким образом, можно строить любые внутренне непротиворечивые теоретические конструкции, даже противоречащие реальности, и они будут подобны тем, которые полностью ей соответствуют.

Следует отметить еще один важный момент. Даже если удастся подобрать аксиомы общественного развития, следствия из которых дают адекватные социальной реальности содержательные результаты, не удастся получить из этих аксиом всевозможные следствия. Кроме того, в такой системе всегда будут недоказуемые в рамках принятых аксиом утверждения. Если добавлять эти недоказуемые утверждения к аксиоматике, то будут появляться новые недоказуемые утверждения. Этот факт доказан даже для такой простой системы, как арифметика (теорема Геделя). Итак, математика лишь способ формализации, который нельзя полагать в фундаментальную содержательную основу изучения социальных процессов.

Если в качестве основы общего социального анализа рассматривать физику, то необходимо принять, что физические процессы подобны социальным. В общем случае с этим весьма трудно согласиться, поскольку человек наделен свободной волей, которую дает ему разум, что нехарактерно для физических процессов. Полагая, что законы самоорганизации действуют на уровне живой и неживой материи, важно понять, насколько свободная воля человека способна модифицировать (а возможно и создавать новые) законы самоорганизации. Кроме того, в самой физике, как и в математике, есть разные теории (например, классическая и квантовая механика). Можно ли какую-то из них положить в основу общего социального анализа? Вероятно, нет. Однако физика дает способ сформировать фундамент общего социального анализа — это, если коротко выразиться, динамическая аксиоматика. Суть ее в том, чтобы, во-первых, опираться на эмпирические данные и внимательно изучать любые их «артефакты», противоречащие принятой на данный момент теории, во-вторых, изначально быть готовыми к изменению аксиом общего социального анализа, если накопится достаточно эмпирики, чтобы их менять. Таким образом, как и в физике, будет осуществляться динамическое взаимодействие теории — практика: новые факты меняют теорию, новая теория проверяется на практике и так далее. Безусловно, в этом взаи-

модействии будет очень полезен опыт современной эконофизики. Положив в основу общего социального анализа синергетическую концепцию, можно ее детализировать (а возможно, в итоге сформировать новую) в результате проверки на эмпирических данных. При таком подходе, скорее всего, будет значительна роль моделирования, в частности агент-ориентированного, которое будет инструментом проверки социальных аксиом и гипотез. При согласованном действии научной и образовательной систем общий социальный анализ, пожалуй, сможет дать результаты лет через тридцать. Междисциплинарный синтез потребует не только осмысления, но и изменения образовательных программ [31] и по сути становления нового гуманитарного мышления. При этом существенное значение должна иметь научная этика: придется отбросить всякое высокое самомнение о науке (и себе в науке), учиться принимать свои ошибки, отказываться от ложных теорий (которые могут быть делом всей жизни), работать в междисциплинарных коллективах (как это сейчас достаточно успешно происходит в эконофизике), быть открытыми новым и даже парадоксальным идеям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Человечество стало совершеннолетним. Это означает, что его действия уже могут, в отличие от действий ребенка, существенно менять (а значит и разрушать) окружающий мир. В прошлом веке наступил момент, когда его сил хватило бы для уничтожения всего живого на нашей планете. Новое гуманитарное мышление должно осознавать высокую цену морали и роль науки в развитии общества. Хотя сегодня уже надо говорить о роли науки в спасении человечества.

Вспомним закон гиперболического роста населения Земли и феноменологическую модель С.П. Капицы. В середине XXI в. должен быть осуществлен беспрецедентный в истории человечества демографический переход от гиперболического роста численности населения к стабилизации. Необходимо констатировать, что сейчас человечество к нему ни научно, ни морально не готово. Есть надежда, что новое мышление позволит совершить гуманный демографический переход. При этом наука должна дать ответ, каким будет общество в период демографического перехода и после него. По словам Н.Н. Моисеева, «одно необдуманное движение – и биологический вид *Homo Sapiens* может исчезнуть с лица Земли. При этом глобальная экологическая катастрофа может подкрасться совсем незаметно, совершенно неожиданно и столь внезапно, что никакие действия людей уже ничего не смогут изменить. Хочу подчеркнуть, что такая катастрофа может случиться не в каком-то неопределенном будущем, а, может быть, уже в середине наступающего XXI

века» и, продолжая, «новая цивилизация должна начаться не с новой экономики, а с новых научных знаний и с новых образовательных программ» [29].

Таким образом, ценность эконофизики сегодня, вероятно, еще и в том, что наряду с практическими результатами в рамках этого научного направления осмысливается судьба человечества. И, возможно, сейчас, в условиях кризиса общественных наук, важно дать дорогу новым теориям, новым подходам, которые помогут человечеству сберечь себя и достойно сохранить планету для потомков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ и моделирование глобальной динамики / отв. ред. А.В. Коротаев, С.Ю. Малков, Л.Е. Гринин. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 352 с.
2. Андреев В.В., Ярмулина О.О. Математическое моделирование динамики социально-экономической системы (на примере России) // Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 6. С. 464–474.
3. Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Павловский Ю.Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ: Исследование исторических, военных, социально-экономических и политических процессов. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 320 с.
4. Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Касаркин А.В. Использование квантовой запутанности для увеличения выигрыша в задачах теории игр для двух и трех игроков // Информатизация и связь. 2013. № 5. С. 103–106.
5. Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение. М.: КомКнига, 2006. 208 с.
6. Евстигнеева Л.П., Евстигнеев Р.Н. Экономика как синергетическая система. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 272 с.
7. Ефимов В.М. Предисловие к статье Ф. Майровского «Физика и «маржиналистская революция» // Terra Economicus. 2012. Т. 10. № 1. С. 89–99.
8. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. М.: Наука, 1974. 179 с.
9. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Едиториал УРСС, 2003. 288 с.
10. Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.
11. Колобов А.Н., Фрисман Е.Я. Моделирование процесса конкуренции за свет в одновозрастных древостоях // Известия РАН. Серия: Биологическая. 2013. № 4. С. 463–473.
12. Короновский А.А., Трубецков Д.И. Нелинейная динамика в действии: как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2002. 324 с.
13. Кулаков М.П. О возможности использования эффекта кластеризации в системах связанных отображений для описания динамики // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 2. С. 28–34.
14. Кулаков М.П., Аксенович Т.И., Фрисман Е.Я. Подходы к описанию пространственной динамики миграционно-связанных популяций: анализ синхронизации циклов // Региональные проблемы. 2013. Т. 16. № 1. С. 5–14.
15. Кулаков М.П., Неверова Г.П., Фрисман Е.Я. Мультистабильность в моделях ди-

намики миграционно-связанных популяций с возрастной структурой // Нелинейная динамика. 2014. Т. 10. № 4. С. 407–425.

16. Кулаков М.П., Фрисман Е.Я. Бассейны притяжения кластеров в системах связанных отображений // Нелинейная динамика. 2015. Т. 11. № 1. С. 51–76.

17. Курилова Е.В., Кулаков М.П. Условия синхронизации численности двух взаимосвязанных сообществ (на основе модели Лотки – Вольтерры) // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 1. С. 5–9.

18. Курилова Е.В., Кулаков М.П., Хавинсон М.Ю., Фрисман Е.Я. Моделирование динамики добычи минеральных ресурсов в регионе: эконофизический подход // Информатика и системы управления. 2012. № 4 (31). С. 3–13.

19. Лефевр В.А. Рефлексия. М.: Когито-Центр, 2003. 496 с.

20. Лобачевский Н.И. Геометрические исследования по теории параллельных линий. М. – Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1945. 177 с.

21. Малинецкий Г.Г., Курдюмов С.П. Нелинейная динамика и проблемы прогноза // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 3. С. 210–232.

22. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б., Подлазов А.В. Нелинейная динамика: подходы, результаты, надежды. М.: КомКнига, 2009. 280 с.

23. Маслов В.П. Эконофизика и квантовая статистика // Математические заметки. 2002. Т. 72. № 6. С. 883–891.

24. Медведев Ю. Он рассчитал катастрофу // Российская газета. 2009. № 4865. URL: <http://www.rg.ru/2009/03/12/maslov.html> (дата обращения: 10.02.2015).

25. Милованов В.П. Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 264 с.

26. Минакир П.А. Экономический анализ и измерения в пространстве // Пространственная экономика. 2014. № 1. С. 12–39. DOI: 10.14530/se.2014.1.012-039.

27. Мищук С.Н., Кулаков М.П., Хавинсон М.Ю. Иностранная рабочая сила на рынке труда Еврейской автономной области: анализ и прогноз // Проблемы Дальнего Востока. 2011. № 3. С. 111–116.

28. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов / под ред. И.В. Ильина, Д.И. Трубецкова. М.: Изд-во МГУ, 2010. 412 с.

29. Моисеев Н.Н. Человек и биосфера. Математическое моделирование в исследовании природы / Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук. URL: http://www.ccas.ru/manbios/moistestam_.html (дата обращения: 11.02.2015).

30. Полтерович В.М. Кризис экономической теории // Экономическая наука современной России. 1998. № 1. С. 46–66.

31. Полтерович В.М. Становление общего социального анализа // Общественные науки и современность. 2011. № 2. С. 101–111.

32. Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Биофизическая динамика производственных процессов. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 464 с.

33. Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. Введение в эконофизику: статистические и динамические модели. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. 340 с.

34. Россел-мл. Дж. Настоящее и будущее эконофизики // Вопросы экономики. 2009. № 11. С. 76–81.

35. Скобелев В.Л. Феноменологический подход к изучению экономических систем // Петербургский экономический журнал. 2014. № 4. С. 45–61.

36. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков. Критические события в комплексных финансовых системах. М.: Интернет-Трейддинг, 2003. 394 с.

37. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике 3. Излучение, волны, кванты. М.: Мир, 1976. 234 с.

38. Фрисман Е.Я., Неверова Г.П., Кулаков М.П., Жигальский О.А. Смена динамических режимов в популяциях видов с коротким жизненным циклом: результаты аналитического и численного исследования // Математическая биология и биоинформатика. 2014. Т. 9. № 2. С. 414–429.
39. Фрисман Е.Я., Неверова Г.П., Ревуцкая О.Л., Кулаков М.П. Режимы динамики модели двухвозрастной популяции // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2010. Т. 18. № 2. С. 111–130.
40. Хавинсон М.Ю. Динамика факторов производства в экономике региона: экономический подход // Пространственная экономика. 2014. № 1 (37). С. 119–137. DOI: 10.14530/se.2014.1.119-137.
41. Хавинсон М.Ю. Экономика и естественные науки: горизонт современного диалога (к статье Jean-Philippe Bouchaud «Economics Needs a Scientific Revolution») // Пространственная экономика. 2012. № 4. С. 166–171. DOI: 10.14530/se.2012.4.166-171.
42. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П., Мищук С.Н. Математическая модель динамики численности экономически активного населения и иностранной рабочей силы в регионе (на примере Еврейской автономной области) // Информатика и системы управления. 2012. № 1 (31). С. 95–106.
43. Чернавский Д.С., Старков Н.И., Малков С.Ю., Косе Ю.В., Щербаков А.В. Об экономическом и ее месте в современной теоретической экономике // Успехи физических наук. 2011. Т. 81. № 7. С. 767–773. DOI: 10.3367/UFNe.0181.201107i.0767.
44. Чернавский Д.С., Старков Н.И., Щербаков А.В. О проблемах физической экономики // Успехи физических наук. 2002. Т. 172. № 9. С. 1045–1066. DOI: 10.1070/PU2002v045n09ABEH001132.
45. Шлюфман К.В., Фишман Б.Е., Фрисман Е.Я. Особенности динамических режимов одномерной модели Рикера // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2012. № 20 (2). С. 12–28.
46. Экономическая физика. Современная физика в поисках экономической теории / под ред. В.В. Харитоновой и А.Л. Ежова. М.: МИФИ, 2007. 624 с.
47. Allen R.G.D. Mathematical Economics. Second edition. London: Macmillan, 1960. 670 p.
48. Bali S. Econophysics, Thermoeconomics and Phynance // The Journal of International Social Research. 2011. Vol. 4. No. 18. Pp. 379–388.
49. Bastiaansen K., Cauwels P., Sornette D., Woodard R., Zhou W.-X. The Chinese Equity Bubble: Ready to Burst. URL: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0907/0907.1827.pdf> (дата обращения: 03.02.2015).
50. Chena S.-H., Lib S.-P. Econophysics: Bridges Over a Turbulent Current // International Review of Financial Analysis. 2012. Vol. 23. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.irfa.2011.07.001.
51. Cockshott W.P., Cottrell A.F. Classical Econophysics. Routledge, 2009. 364 p.
52. Feigenbaum M.J. Universal Behavior in Nonlinear Systems // Los Alamos Science. 1980. Vol. 1. No. 1. Pp. 4–27.
53. Foerster H., Mora P., Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. At This Date Human Population Will Approach Infinity if It Grows As It Has Grown in the Last Two Millennia // Science. 1960. No. 132. Pp. 1291–1295. DOI: 10.1126/science.132.3436.1291.
54. Frisman E.Ya., Neverova G.P., Revutskaya O.L. Complex Dynamics of the Population with a Simple Age Structure // Ecological Modelling. 2011. Vol. 222. Pp. 1943–1950. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.03.043.
55. Haken H. Synergetics. An Introduction. Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1977. 325 p.
56. Jiang Zh.-Q., Zhou W.-X., Sornette D., Woodard R., Bastiaansen K., Cauwels P.

Bubble Diagnosis and Prediction of the 2005–2007 and 2008–2009 Chinese Stock Market Bubbles. DOI: 10.1016/j.jebo.2010.02.007.

57. *Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N.* Prediction of Foreign Labor Migration Dynamics at the Regional Level // *Studies on Russian Economic Development*. 2013. Vol. 24. No. 2. P. 170–178. DOI: 10.1134/S1075700713020068.

58. *Kiyono K., Struzik Z.R., Yamamoto Y.* Criticality and Phase Transition in Stock-Price Fluctuations // *Physical Review Letters*. 2006. 96. 068701. DOI: 10.1103/PhysRevLett.96.068701.

59. *Lorenz E.N.* Deterministic Nonperiodic Flow // *Journal of the Atmospheric Science*. 1963. Vol. 20. Pp. 130–141. DOI: 10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2.

60. *Lucas R.E., Jr.* Macroeconomic Priorities // *American Economic Review*. 2003. No. 93 (1). Pp. 1–14. DOI: 10.1257/000282803321455133.

61. *Mandelbrot B.B.* *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman, 1982. 468 p.

62. *Mantenga R.N., Stanley H.E.* *Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge University Press, 2000. 147 p.

63. *Mathematical Modelling of Zombies* / Edited by Smith R. University of Ottawa Press, 2014. 468 p. URL: <http://www.press.uottawa.ca/mathematical-modelling-of-zombies> (дата обращения: 15.02.2015).

64. *Mortimer M., Taylor P.* *Chemical Kinetics and Mechanism*. Royal Society of Chemistry, 2002. 262 p.

65. *Petersen M., Wang F., Havlin S., Stanley H.E.* Market Dynamics Immediately before and after Financial Shocks: Quantifying the Omori, Productivity, and Bath Laws // *Physical Review E* 82, 036114. 2010. DOI: 10.1103/PhysRevE.82.036114.

66. *Powell D.* Albatross Forage with Fractal-Like Flight // *Science News*. 2012. April 23. URL: <https://www.sciencenews.org/article/albatross-forage-fractal-flight> (дата обращения: 10.02.2015).

67. *Prigogine I., Stengers I.* *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. London: Heinemann, 1984. 385 p.

68. *Rosser J.B., Jr.* Econophysics and Economic Complexity // *Advances in Complex Systems*. 2008. Vol. 11. No. 5. Pp. 745–760. DOI: 10.1142/S0219525908001957.

69. *Simon H.A.* *Models of Man: Social and Rational*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1957. 279 p.

70. *Volterra V.* *Lecons sur la Theorie Mathematique de la Lutte pour la Vie*. Paris, 1931. 222 p.

71. *Weidlich W.* *Sociodynamics: a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences*. Boca Raton: CRC Press, 2000. 392 p.

72. *Zhang W.-B.* Theory of Complex Systems and Economic Dynamics // *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*. 2002. Vol. 6. No. 2. Pp. 83–101. DOI: 10.1023/A:1014054010001.

ECONOPHYSICS: FROM FINANCE ANALYSIS TO THE FATE OF MANKIND

M.Yu. Khavinson

Khavinson Mikhail Yuryevich – PhD in Economics, Senior Researcher. Institute of Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, 4 Sholom Aleichem Street, Birobidzhan, Russia, 679016. E-mail: havinson@list.ru.

This article reviews the key ideas and results of the new interdisciplinary field – econophysics. Econophysics has emerged organically from a new paradigm of inquiry – synergy. The first and most important characteristic of econophysics is its reliance on the phenomenological approach in economic research, which aims to describe a phenomenon’s nature without aspiring to an exhaustive explanation of its mechanics. Econophysics, utilizing the methods of quantum and statistical physics, had predicted national and global crises (the collapse of the Soviet Union, collapses in the Chinese stock market in 2005–2009 and the global financial crisis). Nonlinear dynamic models were used to describe cyclical and complex modes of the dynamics of socio-economic systems (population, city development, trade between countries and so on). Near-term prospects of econophysics are associated with more in-depth study and simulation of the behavior of economic agents, development of the theory of nonlinear dynamics and interdisciplinary interaction. The value of econophysics is in its ability to both produce applicational results and evaluate scenarios of global development and focus on the fate of humanity.

Keywords: econophysics, synergy, theory of nonlinear dynamics, crisis in Economics, social analysis, new humanitarian thinking.

REFERENCES

1. *Analysis and Modeling of Global Dynamics*. Edited by A.V. Korotaev, S.Yu. Malkov, L.E. Grinin. Moscow, 2010, 352 p. (In Russian).
2. Andreev V.V., Jarmulina O.O. Mathematical Modeling of Socio-Economic System Dynamics (on the Example of Russia). *Nelineynyy Mir – Nonlinear World*, 2009, vol. 7, no. 6, pp. 464–474. (In Russian).
3. Belotelov N.V., Brodskiy Yu.I., Pavlovskiy Yu.N. *The Complexity. Mathematical Modeling. Humanitarian Analysis: the Study of the Historical, Military, Socio-Economic and Political Processes*. Moscow, 2009, 320 p. (In Russian).
4. Guzik V.F., Gushanskiy S.M., Kubrakov E.S. Usage of Quantum Entanglement for Increase the Payoff in Game Theory Problem for Two or Three Players. *Informatizatsiya i Svyaz* [Informatization and Communication], 2013, no. 5, pp. 103–106. (In Russian).
5. Danilov Yu.A. *Lectures on Nonlinear Dynamics. Elementary Introduction*. Moscow, 2006, 208 p. (In Russian).
6. Evstigneeva L.P., Evstigneev R.N. *The Economy as a Synergistic System*. Moscow, 2012, 272 p. (In Russian).
7. Efimov V.M. Scientific Editors Preface to the Translation of the Article by Ph. Mirowski «Physics and the «Marginalist Revolution». *Terra Economicus – Terra Economicus*, 2012, vol. 10, no. 1, pp. 89–99. (In Russian).
8. Zhabotinskiy A.M. *Concentration Self-Oscillations*. Moscow, 1974, 179 p. (In Russian).
9. Kapitsa S.P., Kurdyumov S.P., Malinetskiy G.G. *Synergetics and Forecasts of the Future*. Moscow, 2003, 288 p. (In Russian).
10. Kolobov A.N. Modeling of Spatiotemporal Dynamics of the Wooden Communities: Individually Aligned Approach. *Lesovedenie – Contemporary Problems of Ecology Russian Forest Sciences*, 2014, no. 5, pp. 72–82. (In Russian).
11. Kolobov A.N., Frisman E.Ya. Simulation of the Competition for Light in Forest Stands of the Same Age. *Izvestiy RAN. Seriya Biologicheskaya – Biology Bulletin*, 2013, no. 4, pp. 463–473. (In Russian).
12. Koronovskiy A.A., Trubetskov D.I. *Nonlinear Dynamics in Action: How Ideas of Nonlinear Dynamics Penetrate the Ecology, Economy and Social Sciences*. Saratov, 2002, 324 p. (In Russian).
13. Kulakov M.P. Using of Clusterization Effect in Coupled Map Lattices for the Description of Real Metapopulations. *Regionalnye Problemy* [Regional Problems], 2014, vol. 17, no. 2, pp. 28–34. (In Russian).

14. Kulakov M.P., Axenovich T.I., Frisman E.Ya. Approaches to the Description of Spatial Dynamics of Migration-Related Populations. *Regionalnye Problemy* [Regional Problems], 2013, vol. 16, no. 1, pp. 5–14. (In Russian).
15. Kulakov M.P., Neverova G.P., Frisman E.Ya. Multistability in Dynamic Models of Migration Coupled Populations with an Age Structure. *Nelineynaya Dinamika – Russian Journal of Nonlinear Dynamics*, 2014, vol. 10, no. 4, pp. 407–425. (In Russian).
16. Kulakov M.P., Frisman E.Ya. The Basins of Attraction of Clusters in Coupled Map systems *Nelineynaya Dinamika – Russian Journal of Nonlinear Dynamics*, 2015, vol. 11, no. 1, pp. 51–76. (In Russian).
17. Kurilova E.V., Kulakov M.P. Synchronization Conditions for Coupled Biological Communities, Based on the Lotka-Volterra Model. *Regionalnye Problemy* [Regional Problems], 2014, vol. 17, no. 1, pp.5–9. (In Russian).
18. Kurilova E.V., Kulakov M.P., Khavinson M.Yu., Frisman E.Ya. Modeling of Mineral Resource Extraction Dynamic in Region: Econophysical Approach. *Informatika i Sistemy Upravleniya* [Informatics and Management Systems], 2012, no. 4 (31), pp. 3–13. (In Russian).
19. Lefevr V.A. *Reflection*. Moscow, 2003, 496 p. (In Russian).
20. Lobachevskiy N.I. *Geometrical Researches on the Theory of Parallel Lines*. Moscow-Leningrad, 1945, 177 p. (In Russian).
21. Malinetskiy G.G., Kurdyumov S.P. Nonlinear Dynamics and Prediction Problems. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk – Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2001, vol. 71, no. 3, pp. 210–232. (In Russian).
22. Malinetskiy G.G., Potapov A.B., Podlazov A.V. *Nonlinear Dynamics: Approaches, Results, Hopes*. Moscow, 2009, 280 p. (In Russian).
23. Maslov V.P. Econophysics and Quantum Statistics. *Matematicheskie Zametki – Mathematical Notes*, 2002, vol. 72, no. 6, pp. 883–891. (In Russian).
24. Medvedev Yu. He Figured Disaster. *Rossiyskaya Gazeta* [The Russian Newspaper], 2009, no. 4865. Available at: <http://www.rg.ru/2009/03/12/maslov.html> (accessed February 2015). (In Russian).
25. Milovanov V.P. *Nonequilibrium Socio-Economic System: Synergy and Self-Organization*. Moscow, 2001, 264 p. (In Russian).
26. Minakir P.A. Economic Analysis and Measurements: Spatial Case. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2014, no. 1, pp. 12–39. (In Russian).
27. Mishchuk S.N., Kulakov M.P., Khavinson M.Yu. Foreign Labor on the Job Market of the Jewish Autonomous Region: Analysis and Forecast. *Problemy Dalnego Vostoka – Far Eastern Affairs*, 2011, no. 3, pp. 111–116. (In Russian).
28. *Modeling of Nonlinear Dynamics of Global Processes*. Edited by I.V. Ilin, D.I. Trubetskov. Moscow, 2010, 412 p. (In Russian).
29. Moiseev N.N. *Man and the Biosphere. Mathematical Modeling in the Study of Nature*. Computer Center named A.A. Dorodnicyn of the Russian Academy of Sciences. Available at: http://www.ccas.ru/manbios/moistestam_r.html (accessed February 2015). (In Russian).
30. Polterovich V.M. Crisis of Economics. *Ekonomicheskaya Nauka Sovremennoy Rossii* [The Economic Science of Contemporary Russia], 1998, no. 1, pp. 46–66. (In Russian).
31. Polterovich V.M. Formation of the General Social Analysis. *Obshchestvennye Nauki i Sovremennost* [Social Sciences and Modernity], 2011, no. 2, pp. 101–111. (In Russian).
32. Riznichenko G.Yu., Rubin A.B. *Biophysical Dynamics of Productive Processes*. Moscow – Izhevsk, 2004, 464 p. (In Russian).
33. Romanovskiy M.Yu., Romanovskiy Yu.M. *Introduction to Econophysical: Statistical and Dynamical Models*. Moscow – Izhevsk, 2012, 340 p. (In Russian).
34. Rosser J.B., Jr. The Nature and Future of Econophysics. *Voprosy Ekonomiki* [Economic Issue], 2009, no. 11, pp. 76–81. (In Russian).

35. Skobelev V.L. Phenomenological Approach to Research of Economic Systems. *Peterburgskiy Ekonomicheskiy Zhurnal* [The St. Petersburg Economic Journal], 2014, no. 4, pp. 45–61. (In Russian).
36. Sornette D. *Why Stock Markets Crash (Critical Events in Complex Financial Systems)*. Moscow, 2003, 394 p. (In Russian).
37. Feynman R., Leymon R., Sands M. *The Feynman Lectures on Physics 3. Radiation, Waves, Quanta*. Moscow, 1976, 234 p. (In Russian).
38. Frisman E.Ya., Neverova G.P., Kulakov M.P., Zhigalskii O.A. Changing the Dynamic Modes in Populations with Short Life Cycle: Mathematical Modeling and Simulation. *Matematicheskaya Biologiya i Bioinformatika – Mathematical Biology and Bioinformatics*, 2014, vol. 9, no. 2, pp. 414–429. (In Russian).
39. Frisman E.Ya., Neverova G.P., Revutskaya O.L., Kulakov M.P. Dynamic Modes of Two-Age Population Model. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Prikladnaya Nelineynaya Dinamika* [News of Higher Educational Institutions. Applied Nonlinear Dynamics], 2010, vol. 18, no 2, pp. 111–130. (In Russian).
40. Khavinson M.Yu. Dynamics of Production Factors in Regional Economy: Econophysical Approach. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2014, no. 1, pp. 119–137. (In Russian). DOI: 10.14530/se.2014.1.119-137.
41. Khavinson M.Yu. Economics and the Natural Sciences: the Horizon of the Modern Dialogue (to the Article of Jean-Philippe Bouchaud «Economics Needs a Scientific Revolution»). *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2012, no. 4, pp. 166–171. (In Russian). DOI: 10.14530/se.2012.4.166-171.
42. Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N. A Mathematical Model for Dynamics of the Economically Active Population and Foreign Workers in a Region (for Example the Jewish Autonomous Region) *Informatika i Sistemy Upravleniya* [Informatics and Management Systems], 2012, no. 1 (31), pp. 95–106. (In Russian).
43. Chernavskii D.S., Starkov N.I., Malkov S.Yu., Kosse Yu.V., Shcherbakov A.V. On Econophysics and its Place in Modern Theoretical Economics. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk – Advances in Physical Sciences*, 2011, vol. 181, no. 7, pp. 767–773. DOI: 10.3367/UFNe.0181.201107i.0767. (In Russian).
44. Chernavskii D.S., Starkov N.I., Shcherbakov A.V. On Some Problems of Physical Economy. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk – Advances in Physical Sciences*, 2002, vol. 172, no. 9, pp. 1045–1066. DOI: 10.1070/PU2002v045n09ABEH001132. (In Russian).
45. Shlufman K.V., Fishman B.E., Frisman E.Ya. Features of Modes for One-Dimensional Model of Ricker. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Prikladnaya Nelineynaya Dinamika* [News of Higher Educational Institutions. Applied Nonlinear Dynamics], 2012, vol. 20, no. 2, pp. 12–28. (In Russian).
46. *Econophysics. Modern Physics in Search of Economic Theory*. Edited by V.V. Khari-tonov, A.L. Ezhov. Moscow, 2007, 624 p. (In Russian).
47. Allen R.G.D. *Mathematical Economics*. Second edition. London: Macmillan, 1960, 670 p.
48. Bali S. Econophysics, Thermoeconomics and Phynance. *The Journal of International Social Research*, 2011, vol. 4, no. 18, pp. 379–388.
49. Bastiaensen K., Cauwels P., Sornette D., Woodard R., Zhou W.-X. *The Chinese Equity Bubble: Ready to Burst*. Available at: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0907/0907.1827.pdf> (accessed 03 February 2015).
50. Chena S.-H, Lib S.-P. Econophysics: Bridges Over a Turbulent Current. *International Review of Financial Analysis*, 2012, vol. 23, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.irfa.2011.07.001.
51. Cockshott W.P., Cottrell A.F. *Classical Econophysics*. Routledge, 2009, 364 p.
52. Feigenbaum M. J. Universal Behavior in Nonlinear Systems. *Los Alamos Science*, 1980, vol. 1, no. 1, pp. 4–27.

53. Foerster H., Mora P., Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. At This Date Human Population Will Approach Infinity if It Grows As It Has Grown in the Last Two Millennia. *Science*, 1960, no. 132, pp. 1291–1295. DOI: 10.1126/science.132.3436.1291.
54. Frisman E.Ya., Neverova G.P., Revutskaya O.L. Complex Dynamics of the Population with a Simple Age Structure. *Ecological Modelling*, 2011, vol. 222, pp. 1943–1950. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.03.043.
55. Haken H. *Synergetics. An Introduction*. Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1977, 325 p.
56. Jiang Zh.-Q., Zhou W.-X., Sornette D., Woodard R., Bastiaensen K., Cauwels P. *Bubble Diagnosis and Prediction of the 2005–2007 and 2008–2009 Chinese Stock Market Bubbles*. Available at: <http://arxiv.org/pdf/0909.1007v2.pdf>. DOI: 10.1016/j.jebo.2010.02.007 (accessed February 2015).
57. Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N. Prediction of Foreign Labor Migration Dynamics at the Regional Level. *Studies on Russian Economic Development*, 2013, vol. 24, no. 2, pp. 170–178. DOI: 10.1134/S1075700713020068.
58. Kiyono K., Struzik Z.R., Yamamoto Y. Criticality and Phase Transition in Stock-Price Fluctuations. *Physical Review Letters*, 2006, pp. 96. 068701. DOI: 10.1103/PhysRevLett.96.068701.
59. Lorenz E.N. Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the Atmospheric Science*, 1963, vol. 20, pp. 130–141. DOI: 10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2.
60. Lucas R.E.Jr. Macroeconomic Priorities. *American Economic Review*, 2003, no. 93 (1), pp. 1–14. DOI: 10.1257/000282803321455133.
61. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman, 1982, 468 p.
62. Mantenga R.N., Stanley H.E. *Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge University Press, 2000, 147 p.
63. *Mathematical Modelling of Zombies*. Edited by Smith R. University of Ottawa Press, 2014, 468 p. Available at: <http://www.press.uottawa.ca/mathematical-modelling-of-zombies> (accessed 15 February 2015).
64. Mortimer M., Taylor P. *Chemical Kinetics and Mechanism*. Royal Society of Chemistry, 2002, 262 p.
65. Petersen M., Wang F., Havlin S., Stanley H.E. Market Dynamics Immediately before and after Financial Shocks: Quantifying the Omori, Productivity, and Bath Laws. *Physical Review E* 82, 036114. 2010. DOI: 10.1103/PhysRevE.82.036114.
66. Powell D. Albatross Forage with Fractal-Like Flight. *Science News*, 2012, April 23. Available at: <https://www.sciencenews.org/article/albatross-forage-fractal-flight> (accessed 10 February 2015).
67. Prigogine I., Stengers I. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. London: Heinemann, 1984, 385 p.
68. Rosser J.B., Jr. Econophysics and Economic Complexity. *Advances in Complex Systems*, 2008, vol. 11, no. 5, pp. 745–760. DOI: 10.1142/S0219525908001957.
69. Simon H.A. *Models of Man: Social and Rational*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1957, 279 p.
70. Volterra V. *Lecons sur la Theorie Mathematique de la Lutte pour la Vie*. Paris, 1931, 222 p. (In French).
71. Weidlich W. *Sociodynamics: a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences*. Boca Raton: CRC Press, 2000, 392 p.
72. Zhang W.-B. Theory of Complex Systems and Economic Dynamics. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 2002, vol. 6, no. 2, pp. 83–101. DOI: 10.1023/A:1014054010001.