



## ОБ ИСТОРИИ ЭКОНОФИЗИКИ, НЕЛИНЕЙНОЙ И ЭВОЛЮЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

*Р. Р. Мухин<sup>1</sup>, А. А. Черникова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,  
филиал Национального исследовательского технологического университета  
«Московский институт стали и сплавов»

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет  
«Московский институт стали и сплавов»

В статье рассматриваются вопросы истории воздействия физики и эволюционной биологии на экономическую науку. Это воздействие началось с самого рождения экономики как отдельной области научного знания и менялось с развитием физики и биологии. Усиление роли статистических методов в физике XX в., рождение нелинейной физики, развитие биологии нашли отражение в сфере экономики и финансов, в результате чего появились такие области, как эконофизика, нелинейная и эволюционная экономика. Можно надеяться на плодотворность новых подходов, которые должны привести к новой экономической идеологии и существенно обогатить экономическую теорию и существующие эконометрические методы.

*Ключевые слова:* Эконофизика, нелинейная динамика, эволюционная теория, экономическая теория, временные ряды, статистические методы, моделирование.

*Посвящается памяти Александра Юрьевича  
Лоскутова, из общения с которым у одного  
из авторов в значительной степени сложились  
представления о «финансово-экономической  
составляющей» нелинейной динамики.*

Научная революция XVI–XVII вв. и ее высшее достижение – создание классической механики – не только заложили основы индустриального развития последующих столетий, но и сформировали научную картину мира. Изменения в этом отношении были колоссальными. Простые и познаваемые законы, управляющие ходом природных процессов, дедуктивное знание, математические схемы составили фундамент нового мышления. И. Пригожин и И. Стенгерс назвали этот золотой период классической науки «триумфом разума» [1]. Важнейшее место в указанном

подходе отводилась концепции об однозначности связей, всеобъемлющей роли динамических закономерностей, которую в наиболее радикальной форме связывают с именем П.С. Лапласа [2]. Фантастическое существо – демон Лапласа – обладало неограниченными математическими возможностями и, зная в любой момент времени положение и скорость каждой частицы Вселенной, было способно решить уравнения движения и в точности описать как будущее, так и прошлое всего нашего мира. Это был догмат научной веры того времени. Господствовало царство порядка, полностью предсказуемое и предопределенное, и лишь на небольшом клочке этого упорядоченного мира, по словам В.М. Тихомирова, находилась «противоправная область» хаоса. Еще поколение, вступавшее в жизнь в начале XX в., взирало на мир иными глазами, чем мы. Тогда казалось, что наука близка к рациональному объяснению картины мироздания.

Надо сказать, что в этой стройной и вызывавшей глубокое интеллектуальное удовлетворение картине имелись области, в которых без вероятностных подходов обойтись было невозможно. Речь идет о системах, состоящих из очень большого числа частиц (порядка числа Авогадро  $N \sim 10^{23}$ ), как, например, в газах. Но эта трудность считалась лишь технической, не имевшей принципиального характера. Были известны уравнения движения для отдельных частиц, и не существовало сомнений в принципиальной возможности решения этих уравнений, если даже частиц очень много. Вера в такую возможность являлась твердой почвой, на которую можно было опереться. В действительности детальная картина поведения каждой отдельной частицы большой системы и не требовалась. Для различных задач достаточно было знания усредненных характеристик – температуры, давления и т.п. Все же для законченности грандиозной картины мироздания были предприняты немалые усилия строгого и последовательного получения законов статистической механики из первых принципов – законов динамики для отдельных частиц. Хотя такая задача до настоящего времени остается не решенной, на этом пути была создана очень важная и с многочисленными приложениями область современной математики, получившая название эргодической теории.

Надежды на полное утверждение царства порядка не оправдались, действительность оказалась совсем иной и намного сложнее. Во-первых, расширилась область хаоса, причем так, что в это трудно было поверить: она охватила системы с небольшим числом степеней свободы, то, что безоговорочно относили к чистой динамике. Для осмысления и признания новой группы явлений, получившей название «динамический хаос», потребовалось около восьми десятилетий [3]. Другая неожиданность – возникновение упорядоченности в области сложных движений. В открытых неравновесных системах с макроскопически большим числом степеней свободы самопроизвольно, без внешних воздействий происходило образование регулярных структур [4–8]. Надо сказать, что новые идеи о самоорганизующихся структурах, о «порядке из хаоса» настолько противоречили устоявшимся представлениям об устройстве мира, что встретили острое неприятие целого ряда крупнейших отечественных теоретиков, среди которых были Л.Д. Ландау, М.А. Леонтович, А.А. Власов [9–11].

Одной из концептуальных сторон новых открытий явилось то, что полный хаос и полная упорядоченность относятся к предельным случаям и не реализуются в «чистом виде». В реальных системах имеет место сосуществование областей

хаоса и регулярности, и эти области могут иметь весьма сложное топологическое строение. В консервативном случае такие системы называются системами с разделенным фазовым пространством [12,13]. Для диссипативных систем характерны квазиаттракторы, в которых наряду с хаотическими траекториями присутствуют регулярные движения [14–16]. Сосуществование областей регулярного и хаотического движений привело к новому, более высокому уровню сложности. Хаос (или упорядоченность) теперь стал неоднородным, он перемежается регулярными (или, наоборот, хаотическими) движениями. Говорить о системе с регулярным или хаотическим поведением возможно только в том смысле, какое поведение – регулярное или хаотическое – является преобладающим.

Нелинейность вошла в число основных понятий физики. Практически во всех разделах физической науки обнаруживаются явления хаоса и самоорганизации, составившие ядро новой области – нелинейной динамики. Никого уже не удивит статья под названием, скажем, «Фрактальный анализ и универсальность Фейгенбаума в физике адронов» [17]. В свой знаменитый список «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?», опубликованный в 1971 г. и в последующем пополнявшийся новыми проблемами, В.Л. Гинзбург в 1985 г. (список № 4) включил «§10. Сильнонелинейные явления. Солитоны. Странные аттракторы» [18]. В.Л. Гинзбург пишет: «Сейчас ситуация радикально изменилась. В физической литературе почти всех рангов публикуются, и в немалом количестве, статьи, посвященные солитонам, странным аттракторам, динамическому хаосу и т.д. ...Проблемы, типичные для сильнонелинейной физики, уже привлекли к себе внимание работающих в общей теории относительности и квантовой теории поля. Можно полагать, что в будущем эта тенденция (так сказать, проникновение «нелинейной идеологии» в область микрофизики) будет все больше усиливаться, быть может, даже сыграет выдающуюся роль в ее дальнейшем развитии» [18].

Но что все это значит для тех, кто не занимается фундаментальными проблемами и вообще далек от физики? Идеи и принципы нелинейной динамики приобрели не только общезначимое, но и общенаучное значение. Стал понятнее мир, в котором мы живем, представший под новым ракурсом. С одной стороны, размылись четкие контуры динамической картины, вместо нее пришли сложность, нерегулярность, неопределенность, непредсказуемость. Этот негативный список можно продолжить. Но с другой стороны, появилась новая возможность описания сложно устроенных систем. Понятия и представления нелинейной динамики проникают в различные области знания. Язык нелинейной динамики (зона турбулентности, бифуркация и др.) начинает входить в политический лексикон и даже в обыденную речь. Из многочисленных областей новой «сферы влияния» нелинейной динамики важнейшее место занимает экономика, которая так или иначе неизбежно затрагивает каждого из нас.

К нелинейной экономической динамике тесно примыкают и частично с ней перекрываются экономическая физика и эволюционная экономика – быстро набирающие обороты области, которые используют методологию и аппарат, сложившиеся в физике (особенно в статистической физике) и эволюционной биологии. По поводу применения физических методов в экономической теории приведем выдержку из работы [19]: «Физика здесь выступает как наука, которая имеет дело как с природой, так и с современной математикой, и поэтому обладает дисциплиной мысли и критичностью по отношению к догмам». Сам термин «экономическая физика» принадлежит Ю. Стэнли, ши-

роко известному своими работами по статистической физике. Стэнли предложил этот термин на конференции «Динамика сложных систем» в Калькутте в 1995 г. по аналогии с астрофизикой, химической физикой, биофизикой. В следующем году термин «эконофизика» появился в печати [20] и получил распространение. Может сложиться впечатление (иногда даже прямо утверждается), что до 1995 г. физика, эволюционная биология с одной стороны и экономика с другой, развивались независимо и двигались параллельными путями, а в указанный период произошло их пересечение. Интеграция науки и появление междисциплинарных направлений является характерной чертой науки второй половины XX в., но такие процессы, хоть и в значительно меньших масштабах, имели место и раньше. Издавна экономическая сфера являлась полем деятельности математиков и физиков. Так, И. Ньютон в 1695 г. стал смотрителем Монетного двора. Его деятельность в упорядочении финансов способствовала превращению Англии в богатейшую страну, она стала центром назревающей промышленной революции [21].

Если задаться вопросом, с какого времени физика начала оказывать влияние на экономическую науку, то ответ здесь – как только начала складываться экономическая наука. Другими словами, как только экономика появилась как отдельная область знания (а это относится к концу XVIII в.), она непосредственно формировалась под воздействием физики. С тех пор этот процесс продолжается до настоящего времени. Такое положение совершенно закономерно. В XVIII в. единственной сложившейся физической теорией была классическая механика. Тогда механика не только являлась образцом научного знания и составила основу инженерии, но сформировала мировоззрение целой эпохи. Механистические воззрения заполнили все культурное пространство. Живые организмы представлялись как своего рода сложные механизмы. До настоящего времени мы говорим о механизме химической реакции, механизме власти и т.д. По словам И. Пригожина и И. Стенгерс, даже этика и политика черпали из механики материал для «подкрепления» своих аргументов в пользу существовавших моральных норм и политического устройства [1]. Функционирование экономических и социальных систем тоже представлялось как работа механизмов. Это ощущается уже в сочинениях Дж. Милля и Д. Рикардо, но их идеи были выражены не в формализованном, а в вербальном виде. Многие создатели классической экономической теории были непосредственно связаны с физикой или инженерией. Так, Л. Вальрас учился одно время в Горной школе и имел широкий круг интересов. Он развил теорию общего равновесия под влиянием физика Л. Поинсога. При этом Вальрас указывал, что он несколько лет разрабатывал вопросы чистой экономики как физико-математическую науку [22, с. 7]. В. Парето окончил Политехническую школу в Турине (созданную по образцу знаменитой Политехнической школы в Париже) и защитил диссертацию по механике. Основоположник американской математической экономики, автор самой первой монографии в этой области И. Фишер, был учеником Дж.В. Гиббса. Фишер явился главным инициатором создания Международного эконометрического общества в 1930 г. и его первым президентом (одним из первых членов общества был Н. Винер), которое объединило статистиков и экономистов, способных говорить на языке математики. Фишер при разработке своей теории стоимости использовал гидромеханическую аналогию с сосудами с водой [23, с. 8]. На предыдущей странице он указывал, что сама экономическая терминология в значительной степени заимствована из механики: равновесие, стабильность,

упругость, течение, сила, давление, сопротивление, движение и т.п. Ближайшим учеником Гиббса был другой математик и экономист Э. Уилсон. Внесший огромный вклад в систематизацию экономической теории и установление её логической структуры П. Самуэльсон написал свои знаменитые «Основы экономического анализа», будучи студентом физического факультета Чикагского университета [24, 25].

В основе механистической парадигмы лежат определенность, упорядоченность, однозначность, устойчивость, предсказуемость, жесткость причинно-следственных связей. На этом пути была построена экономическая теория (мейнстрим), которая оставалась доминирующей до последних десятилетий XX в. и на которой были воспитаны поколения экономистов. В основе мейнстрима лежат представления об универсальных законах, описывающих прошлое, настоящее и будущее, главное внимание уделяется поиску равновесных состояний, широко используются количественные методы. В «твердое ядро» мейнстрима вошли предпосылки об индивидуализме, эгоизме, рационализме поведения экономического субъекта, то есть модель *Homo economicus* – человека экономического. В основе доминировавшей экономической теории лежала концепция линейности системы, когда какое-либо воздействие на нее вызывало пропорциональную ответную реакцию. При этом на экономические системы распространяли заимствованный из физики принцип суперпозиции и рассматривали динамику сложной экономической системы как линейную суперпозицию отдельно функционирующих частей системы. Одним из центральных пунктов мейнстрима является принцип соответствия Самуэльсона – состояние равновесия должно быть стабильным, только в этом случае возможно получение значимой информации о системе. Очевидная временная зависимость экономических процессов необходимо требовала учета динамики. Этот вопрос решался рассмотрением смещения положения равновесия при изменении внешних условий, под их воздействием система перестраивала свои внутренние связи и приходила в новое равновесное состояние. Это положение воплощено в популярной концепции «невидимой руки» рынка Адама Смита. В стационарном и равновесном состоянии спрос на товары, деньги и т.п. уравновешивается предложением. Такое состояние является единственным. Вопрос о переходе между различными состояниями не ставился. Считалось, что главным побудительным мотивом для инвесторов является достижение финансового успеха. Они ведут себя как рациональные, эгоистичные индивидуалисты, стремящиеся к получению максимальной прибыли. Ошибки вообще исключаются, и только такой подход считается единственно возможным. В построении мейнстрима о максимизации прибыли явно проглядывает влияние инженерии, где центральным пунктом в принятии инженерных решений является оптимизация и достижение максимальных значений ряда параметров. Благодаря таким действиям инвесторов рынок работает эффективно, формируются «правильные цены». Далее, несмотря на индивидуальность каждого человека, у инвесторов на первый план выступают усредненные черты, направленные на достижение одной цели – извлечение прибыли. Поэтому инвесторы представляют однородную группу с одинаковыми ожиданиями и мыслящую одними и теми же категориями. Кроме того, краеугольным камнем экономической теории является положение о непрерывных изменениях цен, выражаемое восходящей ещё ко временам Аристотеля формулой «*Natura non facit saltum*» («Природа не совершает скачков»). Совершенно естественно, что основой математического арсенала стали такие объекты классической математики, как непрерывные функции

и дифференциальные уравнения. В определенной степени мейнстрим является целостной концепцией, напоминающей структуру естественных наук [26,27]. «Создается впечатление, что экономическая наука, по существу, так и не выросла из детства, протекавшего в эпоху, когда ньютоновская физика была единственной наукой, достойной подражания, а небесная механика – наиболее примечательным достижением этой науки» [28, с. 30].

С развитием физики меняла свой облик и экономическая наука, но этот процесс протекал с временным запаздыванием. Статистический подход в физике стал использоваться в середине XIX в., хотя к этому времени теория вероятностей и основанная на ней математическая статистика являлись развитыми разделами математики. Первые шаги были сделаны немецким физиком К. Кренигом и одним из основателей термодинамики Р. Клаузиусом. Но главная заслуга введения в физику статистического рассмотрения принадлежит Дж.К. Максвеллу (1860) [29]. Видимо, одним из факторов, подтолкнувших Максвелла к этой идее, был монументальный труд английского историка Г.Т. Баккла «History of Civilization in England» (1857–1861), который Максвелл внимательно изучал. Баккл полемизирует со своими оппонентами по поводу «свободной воли» в поведении людей. Хотя у каждого индивидуума в отдельности могут быть разные и непредсказуемые вариации в поступках, в среднем масса людей ведет себя упорядоченно, ее поведение вполне предсказуемо. Идея становится ясной: использовать аналогию между человеческими индивидуумами и частицами газа [30]. Максвеллу принадлежит и глубокое обобщение понятия механического равновесия – статистическое равновесие. основополагающее для мейнстрима равновесие «спрос ( $D_i$ ) – предложение ( $S_i$ )»:

$$D_i(p_1, p_2, \dots, p_n, M) = S_i(p_1, p_2, \dots, p_n, M), \quad (1)$$

где  $p_i$  – относительная цена ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $n$  – количество номенклатуры товаров,  $M$  – общее количество денег, которое следует понимать в статистическом смысле, но последнее нередко ускользает в моделях мейнстрима.

Наиболее проникательные из физиков с давних пор осознавали потенциальную применимость методов физики, особенно статистической физики, в других областях знания задолго до того, как эти заимствования стали систематически использоваться. В этой связи примечательны высказанные в 1905 году слова Л. Больцмана: «Если мы будем исходить не только из механических объектов, это [методы статистической физики] открывает широкие перспективы. Давайте рассмотрим, как можно применить эти методы к живой материи, обществу, социологии и т.д.» (цит. по [31]). Еще более определенно высказался выдающийся ученик Э. Ферми, рано ушедший из жизни Этторе Майорана. Около 1938 г. Майорана написал статью для социологического журнала, которая осталась неопубликованной и позднее была найдена в его бумагах. Эта работа Майораны вышла в журнале «Scientia» в 1942 г. [32] и потом, во многом благодаря усилиям Р. Мантеньи, в 2005 г. появился её английский перевод [33]. В своей работе Майорана далеко отходит от традиционных задач школы Ферми и касается применимости законов статистической физики по отношению к гуманитарным наукам. Он вводит энтропию через статистический вес – число микросостояний, энергия которых расположена в узком интервале вблизи энергии системы с заданным объемом и числом частиц. Далее Майорана указывает на всеобъемлющую роль статистических законов, подчеркивая, что не все области подчиняются законам

физики, но статистические закономерности действуют везде и их роль универсальна. Работа Майораны десятилетия оставалась малоизвестной, она могла бы иметь программное значение для всей экономической науки.

Физические корни прослеживаются в фундаментальных для мейнстрима динамических уравнениях для спроса и предложения

$$\begin{aligned}\frac{dD_i}{dt} &= \sum_j \alpha_{ij} D_j(p_1, p_2, \dots, p_n, M), \\ \frac{dS_i}{dt} &= \sum_j \beta_{ij} S_j(p_1, p_2, \dots, p_n, M).\end{aligned}\tag{2}$$

Эти выражения с точностью до обозначений совпадают с кинетическими соотношениями в линейном приближении в неравновесной системе [34]. Приравняв в выражениях (2) производные к нулю, придем к любимому сюжету мейнстрима – равновесию. П. Самуэльсон вспоминал, что на его работы по экстремальным принципам в экономических системах, которые принесли ему Нобелевскую премию, значительное влияние оказали прослушанные им во время учебы в университете лекции Б. Уилсона по термодинамике [35].

Конец XIX – начало XX в. можно отнести к числу главных реперных точек в развитии изучения экономических систем методами естественных наук. Здесь произошли два главных события. Первое из них является одним из самых крупных «вторжений» физической теории на экономическую территорию, имевшим весьма значительные последствия. Это произошло в 1900 г., в год рождения квантовой физики. Тогда 30-летний французский математик Луи Башелье представил к защите диссертацию, в которой он рассматривал физическую модель для анализа финансового рынка [36]. В качестве такой модели Башелье выбрал броуновское движение, математической основой которого является теория случайных блужданий. Обратим внимание на неординарность подхода Башелье, ведь основополагающие работы по теории броуновского движения А. Эйнштейна [37] и М. Смолуховского [38] появились лишь через несколько лет, а строгое математическое обоснование было проведено Н. Винером более чем через два десятка лет [39, 40]. Судьба работы Башелье была трудной. Хотя он получил степень «mention honorable» («почетный отзыв»), но от нее было далеко до «très honorable» («с особым отличием»), открывавшей путь к академической карьере [26]. Работа Башелье не произвела впечатления на современников. Лишь через шесть десятилетий, уже после смерти автора, его работа была переведена и опубликована в США [41] и была оценена по достоинству.

Работа Башелье явилась одним из истоков мейнстрима, который до настоящего времени в значительной степени еще удерживает свои позиции. Работа [41] по существу была исторически первой моделью финансового рынка, основанной на строгой и последовательной математической теории с отчетливо изложенными исходными положениями и аргументированными дедуктивными выводами. Это была идеализированная экономическая модель, позволяющая на определенных предпосылках формулировать инвестиционный портфель, оценивать вероятности рисков, определять тактику действий для получения доходов с заданным уровнем риска и т.д. Развитие модели Башелье легло в основу современных работ в указанной области, наиболее значимые из которых были увенчаны пятью Нобелевскими премиями по экономи-

ке [26, 42]. Значение работы Башелье сказанным не исчерпывается. Модель Башелье выглядит вполне убедительной, но критический анализ ее явился одним из побудительных факторов отхода от доминировавшей экономической теории. Анализ Башелье был основан на двух положениях: статистическая независимость стоимости ценных бумаг, и нормальное распределение Гаусса, то есть колебания цен в прошлом не оказывали никакого влияния на цены сегодняшнего дня, цены менялись случайным и независимым образом друг от друга. Используемое нормальное распределение имело нулевое среднее вследствие суммарного действия большого числа преобладающих малых независимых случайных факторов. Около этого среднего значения концентрировалась большая часть колебаний цен, представляющих многочисленные изменения вверх и вниз. Если говорить об очень значительных изменениях, то они должны происходить крайне редко, обусловленные хвостами нормального распределения [26].

Второе событие связано с именами американского экономиста и социолога Торстейна Веблена и Йозефа Шумпетера – крупнейшего представителя австрийской школы. К Веблену (1898) и Шумпетеру (1911) восходит применение идей эволюционной биологии к экономическим системам [43, 44]. Идеи об эволюции, пробившие первую брешь в представлениях о неизменности мира, восходят еще к XVIII в. (гипотеза Канта–Лапласа о возникновении Солнечной системы, геологическая история Земли Лайеля). Но первые эволюционные теории являются достижением XIX в. – теория биологической эволюции (Ч. Дарвин, А. Уоллес, Г. Спенсер), кинетическая теория газов, теория таких явлений, как теплопроводность, диффузия и т.п. Экономическая система представляет не статическую, а подверженную развитию, эволюционирующую систему. Но глубокие идеи Веблена и Шумпетера оставались чисто качественными, не воплотившись в какие-либо математические модели. Потенциальные возможности этих идей остались не полностью реализованными и не оказали того влияния на развитие экономической теории, какое могли бы оказать.

Состояние равновесия является ключевым понятием мейнстрима, которое имеет, в основном, статический характер. При рассмотрении динамики упор все равно делался на статические равновесные состояния, на фоне которых динамика и разыгрывалась. Понадобилась начавшаяся в конце XX в. смена экономической идеологии, чтобы динамические процессы вышли на передний план, приобрели самостоятельное значение, а стационарные равновесные состояния рассматривались как частные случаи. Именно в этом смысле следует понимать утверждение Д. Норта в его нобелевской лекции в 1993 г., что теории экономической динамики не существует. Так, традиционные подходы не позволяют объяснить скачкообразное изменение статических состояний. При рассмотрении традиционных балансовых соотношений «спрос–предложение», «доходы–расходы», «производство–реализация», «потребление–накопление», «сбережения–инвестиции» основное внимание уделяется достижению равновесия, а не его нарушению [45]. Еще В. Леонтьев заметил, что психологически равновесию и устойчивости отдается предпочтение, они ассоциируются с чем-то хорошим, тогда как неустойчивости связываются с чем-то плохим и с порога отвергаются [25].

Другую реперную точку следует отнести к 1940-м – началу 1950-х, когда стали появляться нелинейные модели в экономических задачах. Некоторые основополагающие идеи нелинейной динамики высказывались еще до того как эта область знания



сформировалась в целостную систему. Это делалось и экономистами, не изучавшими непосредственно нелинейные явления. Вспомним слова классика экономической науки Адама Смита о том, как влияет индивидуальный интерес на достижение экономической выгоды для всего общества и происходит самоорганизация экономической системы. Всякий человек «преследует лишь собственную выгоду, причем в этом случае, как и во многих других, он *невидимой рукой* (курсив наш. – Р.М., А.Ч.) направляется к цели, которая совсем и не входила в его намерения» [46]. Вот высказывание другого классика – Василия Леонтьева, рассматривавшего экономическую систему как динамическую систему (в современном смысле): «Небольшая, едва различимая ошибка в описании начального положения неустойчивой динамической системы принесет значительную погрешность в прогноз или объяснение последующих положений. С увеличением временного интервала, отделяющего год прогноза от базового года, ошибка будет нарастать» [25]. Трудно поверить, что это написано в 1948 году! В 1940 г. английский экономист венгерского происхождения Н. Калдор опубликовал работу, в которой представил модель делового цикла [47]. Модель Калдора явилась предтечей более поздних нелинейных экономических моделей. Другим заметным событием стала работа о деловых циклах будущего Нобелевского лауреата Дж. Хикса [48], который обобщил классическую модель мультипликатора-акселератора П. Самуэльсона [49]. Самуэльсон представил свою модель с помощью разностных уравнений; при переходе к непрерывному случаю получается уравнение гармонического осциллятора с затуханием или, наоборот, с ускорением. Дополнительные условия, наложенные Хиксом в виде неравенств, делают эту модель нелинейной.

Особенно примечательна работа Р. Гудвина 1951 г. [50], в которой он изучал модель экономических циклов, впоследствии названную его именем. В основе этой модели лежит уравнение нелинейного осциллятора. О своих первоначальных результатах Гудвин сначала сообщил на собрании Эконометрического общества в 1948 г. в Кливленде, на следующий год они были опубликованы в журнале *Econometrica*. В работе [50] задача рассмотрена более полно и обстоятельно. Гудвин исходил из следующего уравнения:

$$\varepsilon\theta\dot{y} + [\varepsilon + (1 - \alpha)\theta]\dot{y} - \varphi(\dot{y}) + (1 - \alpha)y = O^*(t), \quad (3)$$

где  $y$  – величина дохода,  $\varepsilon$  – постоянная, характеризующая задержку, связанную с мультипликатором,  $\theta$  – задержка между решением об инвестициях и соответствующими затратами,  $O^*(t)$  – затраты к моменту времени  $t$ . При исследовании этого уравнения Гудвин ссылается на только что опубликованную на английском языке классическую монографию А.А. Андропова, А.А. Витта и С.Э. Хайкина «Теория колебаний» [51]. Уравнение вида (3) изучалось еще Дж. Рэлеем, оно легко трансформируется к уравнению типа уравнения ван дер Поля. Гудвин рассматривает однородный случай, когда  $O^*(t) = \text{const}$ , и показывает существование предельного цикла. При периодической функции  $O^*(t)$  система демонстрирует вынужденные колебания. Несколькими годами раньше работы Гудвина М. Картрайт и Дж. Литтлвуд как раз провели изучение уравнений типа (3) и обнаружили при определенных значениях параметров наличие областей со сложной динамикой [52, 53], что, как позднее было установлено, явилось проявлением хаотического движения. Но эти результаты не были известны Гудвину.

Тогда, в начале 1950-х годов работа Гудвина не произвела впечатления, слишком радикальным был отход от устоявшихся представлений. Но это был росток нового подхода, новой парадигмы, которой через несколько десятилетий суждено было привлечь пристальное внимание. Эволюционный характер сложной нелинейной финансово-экономической сферы делает совершенно естественным применение методов нелинейной динамики и ее математического аппарата – теории динамических систем. Вспомним идеологию «нелинейного мышления» Л.И. Мандельштама. Как большинство глубоких положений, оно оказывается справедливым не только в области, для которой первоначально было сформулировано, а выходит далеко за ее пределы. Упомянем также другую, более позднюю работу Гудвина, в которой он применил модель Лотки–Вольтерры для описания классовой борьбы [54].

Распространению новых взглядов способствовало продолжающееся критическое рассмотрение основ классической теории, в которой были обнаружены глубокие изъяны. Сомнения в адекватности некоторых положений, которые закладывались в фундамент экономической теории, высказывались задолго до рассматриваемых событий. Еще в 1930-е годы классик экономической теории П. Самуэльсон отмечал, что при стремлении системы к единственному положению равновесия независимо от начальных условий предположение о неизменности параметров оказывается несостоятельным, необходимо учитывать наличие памяти системы, откуда вытекает вариативность параметров и динамическое поведение [55].

Сразу можно отметить, что утверждение единственности стационарного равновесного состояния является совершенно априорным. К примеру, в задаче трех тел определены равновесные состояния (эйлеровы и лагранжевы движения) [56]. Но уже для четырех тел вопрос о конечности таких состояний остается открытым. А ведь задача  $n$  тел является задачей, хорошо поставленной математически, с известными уравнениями движения, и эта система неизмеримо более простая, чем область экономики и финансов.

Еще В. Леонтьев в 1982 г. отмечал, что работа экономистов, в отличие от их коллег в естественных и исторических науках, не подчинена строгой дисциплине систематического сбора данных. К примеру, с марта 1977 по декабрь 1981 математические модели без статистических данных или анализ без математических формул и статистических данных составляли 65.6%, эмпирический анализ с использованием косвенных статистических оценок – 22.7% [25]. «Каждая страница экономических журналов пестрит математическими формулами, которые ведут читателя от более или менее правдоподобных, но абсолютно произвольных предположений к точно сформулированным, но не относящимся к делу теоретическим выводам» [там же]. Далее Леонтьев продолжает: как долго научное и инженерное сообщество «будет воздерживаться от выражения озабоченности по поводу состояния устойчивого, стационарного равновесия и блестящей изоляции, в которой оказались экономисты-теоретики в настоящее время?» [там же]. Критика следовала с разных сторон, одним из «возмутителей спокойствия» был Б. Мандельброт. Другие несоответствия сводятся к следующему: 1) инвесторы не всегда являются рациональными и эгоистичными, их поведение может быть иррациональным и подвержено воздействию эмоций; 2) категория инвесторов неоднородна, совокупное воздействие на рынок различных факторов не сводится к их сумме, и рынок демонстрирует значительно более сложное поведение; 3) действительное поведение цен также значительно отличается от сложившихся представлений, вместо ожидаемой непрерывности могут иметь место разрывы, существенные скачки цен; 4) предположение о нормальности распределения в изменении цен не

соответствует фактам; 5) положение о стационарном и равновесном состоянии рынка является догмой и подвергается серьезным сомнениям [19, 26]. При нормальном распределении со среднеквадратичным отклонением  $\sigma$  около 95% случаев не превышают  $2\sigma$ . Широко известно правило «трех сигм» – с вероятностью 0.9973 значения нормально распределенной случайной величины с математическим ожиданием  $a$  лежат в интервале  $(a - 3\sigma, a + 3\sigma)$  [57]. Реальные колебания цен сильно противоречили нормальному распределению. Если рассмотреть индекс Доу–Джонса (среднее значение стоимости акций тридцати ведущих компаний США), имелось довольно много изменений, превышавших  $5\sigma$ , некоторые достигали  $10\sigma$ , а в одном случае – 19 октября 1987 г. – даже  $22\sigma$  (вероятность такого скачка менее  $10^{-50}$ !) [26]. Что касается единственного рыночного положения равновесия, в работе [58] показано, что, к примеру, современная Россия может иметь по крайней мере два устойчивых состояния – низкопродуктивное и высокопродуктивное. В настоящее время страна находится в первом из этих состояний, для перехода во второе требуется преодолеть барьер.

Появление нелинейной динамики, кроме прочего, расширило область применимости статистических методов. В этом отношении нелинейная динамика сближается со статистической физикой. Эволюционная биология сама использует многие методы нелинейной динамики. В эволюционной экономике, помимо проникновения идей и методов эволюционной биологии, существует направление, рассматривающее эволюцию экономической системы, исходя из теории самоорганизации. Общим для всех трех областей является подход с позиций сложности, причем сложность присуща не только сложно устроенным системам, но простым системам с небольшим числом степеней свободы. Более того, сложность может проявляться максимально сильным образом: имеет место сосуществование областей нерегулярных и регулярных движений, причем топологическое строение этих областей само может быть весьма сложным. В связи со сказанным можно полагать, что нелинейная динамика, статистическая физика, эволюционная биология представляют единое целое при использовании в экономических исследованиях. Здесь возникают две группы вопросов. Первая из них носит больше прагматический характер и заключается в возможности применения готовых моделей и существующих методов в экономических исследованиях. Указанное направление активно развивается. Уже простой подход приспособления к экономическим ситуациям известных физических понятий и моделей привел к весьма осязаемым результатам. Важнейшим топологическим инвариантом в теории динамических систем является грубость Андронова–Понтрягина (структурная устойчивость). Грубость сначала выступала как общефизическая и общематематическая концепция, а затем приобрела значение как одного из принципов экономической теории [59]. При анализе экономического развития весьма полезным инструментом оказывается теория бифуркаций, становятся понятными внезапные и загадочные качественные структурные изменения. Важнейшее значение имеет, как правило, небольшое число сценариев дальнейшей эволюции системы после прохождения точки бифуркации и возможность анализа поведения рассматриваемой системы. При изучении динамики развития городов было использовано обобщение уравнения ван дер Поля [59]. Было показано, что в критических точках малые изменения в транспортировке ресурсов оказывают огромное влияние на процессы производства. Точки бифуркации являются обычной принадлежностью нелинейных систем, и данный аспект нелинейной динамики находит свое проявление в самых разнообразных экономических задачах: транспортировка грузов, использование природных ресурсов, модели экономического роста, финансовый анализ и др. Особый интерес

представляет рассмотрение при изменении бифуркационных параметров перехода в одно из состояний равновесия. Для экономических систем важность изучения бифуркаций обуславливается еще тем, что фиксация значений параметров становится еще более проблематичной, чем в физических системах, неоднозначность и непредсказуемость развития вблизи точек бифуркации являются важнейшими факторами при любом реалистическом экономическом анализе. Оказалось, что практически все канонические модели нелинейной динамики нашли применение в экономических задачах [60]. Большое количество таких ситуаций описано в книге В.-Б. Занга [59]. Вот пример использования физических методов в экономике. Известное степенное распределение Парето родилось при решении экономической задачи (распределение доходов населения, 1897). Открытие степенных законов в статистической физике произошло значительно позже. Отметим любопытный обратный ход от физики к экономике, который привел к нетривиальному результату. Оказалось, что в сложных системах существенно различается релаксация эндогенных и экзогенных возмущений: реакция на внешнее затухает значительно быстрее, чем внутренние возмущения. Этот эффект хорошо известен в теории реальных деловых циклов [61].

Ввиду сложности финансово-экономических систем и трудности достаточно полного и корректного учета внешних воздействий возможность моделирования таких систем весьма ограничена. Путь к изучению их динамики открывается при наблюдении за их поведением, анализом реальных данных без обращения к априорным моделям. Наблюдаемой здесь является последовательность значений переменной (или переменных) системы, поэтому используется термин *временной ряд*. Финансовый временной ряд – это последовательность, описывающая поведение какого-либо рыночного процесса [62]. Сама идея изучения временных рядов является весьма привлекательной, ведь в этом случае информация получена непосредственно из экспериментальных данных. Поэтому на исследование временных рядов были направлены значительные усилия.

Главными задачами исследования временных рядов являются задачи *идентификации* динамических систем и *прогнозирования* их поведения. В задачах идентификации ищется ответ на вопрос, каковы параметры системы, породившие данный временной ряд [63]. Для всех гладких динамических систем, за исключением меры нуль, по временному ряду для одной динамической переменной можно получить аттрактор, по основным свойствам аналогичного аттрактору, породившего данный временной ряд. Прежде чем говорить о прогнозировании, обратимся к прошлому, к уже совершившимся событиям. 24 октября 1929 г., в «черный четверг» началось обвальное падение курса акций на Нью-Йоркской бирже, через несколько дней произошел биржевой крах Уолл-стрита. Это событие положило начало Великой депрессии – мировому экономическому кризису, продолжавшемуся до конца 1930-х годов. Великой депрессии посвящена огромная литература, до настоящего времени среди экономистов нет единодушия о причинах этого явления, для его объяснения создан десяток теорий. Даже в такой намного более простой задаче, как адекватное понимание прошлого при наличии большей части относящейся к ситуации информации, получение однозначного решения оказывается проблематичным. Ясно, что прогнозирование будущего представляет качественно более сложную задачу и трудно сказать, во всех ли случаях она имеет решение.

Для наших целей основное значение имеет работа Ф. Такенса [64], в которой он доказал носящую его имя теорему вложения, играющую ключевую роль при изучении временных рядов. Из теоремы Такенса можно получить соотношение, пред-

ставляющее покомпонетный вариант записи временного ряда:  $x_i = F(x_{i-1}, \dots, x_{i-m})$ . Данное соотношение можно использовать при решении задачи прогнозирования, так как для этого требуется знать только величину  $m$  – размерность вложения при отображении многообразия, на котором определена динамическая система, в векторы  $m$ -мерного евклидова пространства, при этом размерность вложения  $m$  должна быть достаточно велика [62]. Главное допущение в доказательстве теоремы Такенса – временной ряд порожден детерминированной динамической системой. Теорема Такенса нашла множество приложений в самых разных областях знания: в технике, в химической технологии, экономике, психиатрии и др.

Одним из фундаментальных понятий хаотической динамики является фрактал. В основе этого понятия лежит идея о повторяющихся структурах, что весьма удачно формирует инструмент, в котором объединены и анализ, и синтез. Самоподобные структуры издавна известны в математике, но никто не предполагал, что множества с нетривиальной хаусдорфовой размерностью могут иметь какое-либо отношение к реальности. Убедительно показал, что это именно так, Б. Мандельброт. Если к правильному фракталу добавить элемент случайности, то получается конструкция, довольно близкая к реальности, имитируются творения природы [65, 66, 26]. С помощью фрактальной структуры описывают строение областей с хаотической динамикой [67]. В концептуальном отношении использование хаотических фракталов для описания областей с хаотической динамикой внутренне противоречиво, но для прикладных задач такой подход вполне приемлем. Видимо, первым, кто обратил внимание на фрактальную структуру временных рядов, еще в 1967 г. был Мандельброт [68]. Отметим дату появления работы (1967), тогда теория фракталов еще создавалась, формирование основ теории хаоса выходило на завершающую стадию. В дальнейшем утверждение Мандельброта было подкреплено вычислительными экспериментами целого ряда авторов [66, 69 и др.]. Наличие фрактальных структур в финансовых временных рядах можно объяснить тем, что для устойчивого рынка на нем должны присутствовать инвесторы с разными инвестиционными горизонтами (от нескольких часов до нескольких лет). Это приводит к масштабной инвариантности на соответствующем временном интервале [66].

Для исследования временных рядов с помощью фрактального анализа в 2003 г. М.М. Дубовиковым и Н.В. Старченко (на основе идей, высказанных первым из авторов) был предложен другой подход [42, 66, 70, 71]. Была введена новая характеристика – индекс фрактальности  $\mu$  – основной фрактальный показатель и был разработан соответствующий алгоритм. Традиционным методом анализа временных рядов является использование показателя Херста  $H$ , который считается наиболее эффективным [72]. Однако для надежного вычисления  $H$  требуется обработать несколько тысяч данных. Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев индекс  $\mu$  вычисляется на порядок более точно, чем  $H$  – показатель Херста. К примеру, для ценового ряда компании Alcoa Inc., с которого начинается по алфавиту список индекса Доу–Джонса, был получен следующий результат:  $\mu = 0.571 \pm 0.071$ ,  $H = 0.229 \pm 0.405$  [66, с. 288–292].

Использование индекса  $\mu$  дает возможность существенно продвинуться в решении задач идентификации и прогноза.

Если говорить о реальной возможности прогнозирования экономической ситуации из анализа временных рядов, ответ здесь положительный, но с рядом суще-

ственных оговорок. Существующие методы пригодны не во всех ситуациях, в каких именно – зависит от конкретного случая. Методы анализа временных рядов дают хорошие результаты в применении к задачам, поставленным кардиологией, психиатрией и некоторыми другими областями. Для экономических задач в общем случае результаты более скромные. Корректный анализ для такого рода задач требует использования значительно больших массивов информации [73, 74]. Все это, видимо, подтолкнуло некоторых экономистов с горечью констатировать, что использование экономофизических методов прогнозирования не оправдало надежд [75]. Это, наверно, слишком сильное утверждение. Обратимся к методу анализа временных рядов, предложенному английским экономистом К. Грэнджером. Грэнджер вспоминал в своей Нобелевской лекции, что в его попытках осмыслить понятие причинности при представлении данных двумя взаимосвязанными временными рядами на ключевую идею натолкнул основатель голографии Д. Габор, посоветовавший обратиться к работе Н. Винера по теории предсказаний [76]. В ней Грэнджер нашел два положения, оказавших решающее воздействие: 1) причина предшествует следствию, 2) в причине содержится уникальная информация о следствии, которая не содержится в других переменных. Отсюда можно было прийти к идее, что, используя информацию, содержащуюся в одном временном ряде (причина), можно улучшить предсказуемость другого временного ряда (следствие). Грэнджер формализовал эту идею с помощью линейной регрессионной модели и разработал процедуру тестирования метода [77, 78]. Коллеги не восприняли эти идеи как настоящую причинность и стали называть ее «причинность по Грэнджеру», видимо, вследствие того, что указанное условие было только необходимым, но не достаточным. Указанный метод оказался значительным достижением и нашел широкое применение для объяснения долгосрочных тенденций в экономических показателях. Термин «причинность по Грэнджеру» стал общепринятым для обозначения причинно-следственной связи между временными рядами.

Американский экономист румынского происхождения Н. Джорджеску-Реген применил для задач экономической теории принципы термодинамики, широко используя понятие энтропии. Его главный труд «Закон энтропии и экономический процесс» вышел в 1971 г. [79]. Джорджеску-Реген подчеркивал универсальность понятия энтропии и считал из всех законов природы второе начало термодинамики наиболее близким к экономике, в нем он видел главную причину экономического дефицита. Развитие идей Джорджеску-Регена легло в основание направления, получившего название экологической экономики.

В 1982 г. была опубликована монография Р. Нельсона и С. Уинтера «Эволюционная теория экономических изменений» [28]. Это тот случай, когда с появлением труда, сконцентрировавшего предыдущие результаты, появляется осознание того, что сложилась и приобрела самостоятельное значение новая область. С появлением указанной работы Нельсона и Уинтера стало возможным говорить, что сформировалась эволюционная экономика как новый раздел экономической науки. В предисловии к русскому изданию авторы пишут: «Теоретическая позиция, которую мы развиваем в этой книге, отражает нашу убежденность в том, что ключевая задача экономического анализа – осмысление процессов, являющихся движущей силой экономических изменений, и что неоклассическая теория не в состоянии справиться с этой задачей» [28, с. 8].

Работы Т. Веблена и Й. Шумпетера конца XIX – начала XX в. по эволюционному подходу в экономике не успели занять надлежащего места и оказались на периферии экономической науки. Центральное место по-прежнему занимала концепция экономического равновесия. В эволюционной экономике упор делается на попытки понять, как происходят изменения. Последнее особенно важно для экономики переходного периода, который переживает среди других стран и Россия. В основу эволюционной экономики положены два ключевых понятия: 1) идея экономического «естественного отбора», 2) представления об «организационной генетике» – процессах передачи во времени характерных черт организации, которые лежат в основе их способности выпускать продукцию и извлекать прибыль. Теория рассматривает наследование благоприобретенных признаков и своевременную изменчивость под воздействием неблагоприятной обстановки. Так, инвестирование направлено на рентабельность фирмы, то есть рентабельные фирмы будут расти, а нерентабельные – сворачиваться. Чувствительность фирмы к ее преуспеянию или неудачам является отражением качества ее «генов». У фирмы имеется критерий оценки изменения ее повседневной деятельности – ожидаемая прибыль. Концепция поиска изменений представляет аналог концепции мутации в биологической эволюционной теории. Важной чертой «экономической мутации» является недетерминированный характер этого процесса, результатам поиска присущ элемент случайности [28].

Неустойчивость и значительная изменчивость характерны для самых разных экономических процессов: формированию цен, валютных курсов, биржевых котировок, спроса и предложения на рынках факторов производства, потреблению и сбережениям, инвестированию, реализации продукции, проведению расчетов, формированию доходов и расходов бюджетной системы и др. Изменчивость имеет характер не просто колебаний соответствующих показателей, а представляет сложное, часто хаотическое движение [45]. Заметим, что в физических системах области хаотической динамики часто являются очень узкими, их мера мала, но, что принципиально важно, ненулевая. Вопрос, насколько велики области хаоса в экономических системах, остается открытым. Значение этого вопроса не подлежит сомнению, сопоставимым с этим является и трудность задачи.

Что касается математических методов (см., например [80–82]), то, по словам Д.С. Чернавского, эволюционная экономика использует тот же математический аппарат, что и все развивающиеся системы (физические, химические, биологические), отсутствие своего особого аппарата не недостаток, а скорее достоинство, поскольку сближает эволюционную экономику с естественными науками [83]. Подводя итог развития эволюционной экономики, в своей книге Нельсон и Уинтер отмечают различие между мощью и универсальностью идей, на которые они опираются, и куда более скромными результатами, полученными с помощью конкретного моделирования [28, с. 44]. Сказанное относится к началу 1980-х годов. Эволюционная экономика и эконофизика, будучи очень молодыми областями, испытывают неизбежные трудности роста. Но, несмотря на это, начиная с 1980-х, было получено всюду плотное множество результатов, в том числе весьма нетривиальных. Укажем в качестве примера только на некоторые из них: статистический механизм денег [84, 85], термодинамическая формулировка экономики [86], принципы самоорганизации в сетях снабжения и производства [87], установление стабильности посредством экономических циклов [88], применение понятия статистической энтропии в теории общего равно-

весия [89]. Значительным достижением являются результаты исследований школы И.Г. Поспелова, которые представляют важный вклад в теоретическую и прикладную экономику [90, 91]. Этим их роль не исчерпывается. Указанные результаты в некотором отношении имеют общенаучное значение. Конечно, это требует отдельного рассмотрения, но здесь нет иной возможности, кроме как ограничиться краткими замечаниями. В этих исследованиях исходным пунктом являлись общие физические положения – вариационные принципы, принципы симметрии, разделение величин на интенсивные и экстенсивные и др. Применение вариационного принципа в пространстве экономических агентов приводит к гамильтоновым уравнениям движения. В отличие от физических систем, здесь функция Гамильтона обладает существенной особенностью – все ее критические точки имеют характер седла. Это приводит к необходимости решения не задачи Коши, а краевой задачи. Следующие из этого результаты получили название *теорем о магистралях*. Данные результаты неожиданным образом оказались связанными с антропным принципом – необычным научным принципом, затрагивающим глубинные вопросы об устройстве мироздания. Антропный принцип имел длительную предысторию, а в XX в. он восходит к П. Дираку, А.Л. Зельманову, Г.М. Идлису, Р. Дикке, Б. Картеру, Дж. Уилеру [92–96]. Антропный принцип утверждает о наличии у Вселенной таких свойств, которые позволяют появление в ней разумной жизни. Это возможно лишь в узком диапазоне физических постоянных. Если исходить не из биологической формы материи, то возможно рассмотрение на более фундаментальном уровне – ядерном и атомарном. Кажущееся естественным, что относительно небольшое (в пределах порядка) изменение значений физических постоянных не нарушит главных черт физической картины, оказывается неверным. Численные значения физических постоянных являются не только достаточными, но и необходимыми для фундамента физической картины – существования основных состояний. Другими словами, изменение физических постоянных (в пределах порядка) или исключение одного из внутренних квантовых чисел (например, изотопического спина) приведет не только к количественным, но и к качественным изменениям в физической картине, поскольку рухнет ее фундамент – существование основных состояний [96]. Теоремы о магистралях дают возможность экстраполировать идеи антропного принципа в другом направлении – «Возникает ощущение существования некоего «экономического антропного принципа»: экономический механизм вступает в действие только тогда, когда его рациональное использование не требует слишком детального предвидения» [91, с. 90]. Иными словами, можно предположить, что в каждый момент времени в экономике отбирается и действует такой комплекс механизмов, который не требует детальных расчетов для принятия разумных решений. Мы имеем дело со своего рода экономическим антропным принципом: «экономическая Вселенная» представляется наблюдателю гармоничной и «приспособленной» к нему потому, что при ином ее устройстве наблюдатель не существует. Предложенный подход нашел уже практическое применение, например, при анализе деятельности Центрального банка России [91, с. 767; 102, с. 320].

Широкое распространение получили нелинейные модели, это направление отражено и в монографической литературе [78, 99–101]. Появилась также монографическая литература по эконофизике (см., например [101, 102]. С эконофизикой тесно связаны физические методы в демографии [103] и еще одна интенсивно развивающаяся область приложений физических идей и методов – социофизика



[104–106]. Но эти важные и интересные направления выходят за рамки предмета данной работы.

В современной экономической науке сложность теоретических моделей и применяемых эконометрических методов ведет к становлению двух научных сообществ, в чем-то напоминающих разделение между теоретиками и экспериментаторами в естественных науках [27]. Рассмотренное выше в значительной степени можно отнести к новой эконометрике. Но воздействие методов современной физики и эволюционной биологии по отношению к экономическим задачам этим не исчерпывается. Такое воздействие глубже и способно влиять на концептуальном, теоретическом уровне. В качестве примера отметим работы Л.П. Евстигнеевой и Р.Н. Евстигнеева, результаты которых суммированы в монографии «Экономика как синергетическая система» [107], и фактически претендуют на новую парадигму экономической науки.

Проникновение в экономику новых идей и методов из областей физической и биологической науки уже состоявшийся факт. Новые подходы пришли в резкое противоречие с устоявшимися взглядами, они непривычны и неудобны с традиционных позиций. Один из основателей нелинейной науки В.И. Арнольд указывал на некоторые качественные выводы применительно к нелинейной системе при переходе из одного устойчивого состояния в другое, более предпочтительное: 1) постепенное движение к лучшему состоянию сразу приводит к ухудшению и его скорость при равномерном движении увеличивается, при этом сопротивление изменению растет; 2) сопротивление достигает максимального значения раньше перехода через наихудшее состояние; 3) величина ухудшения, необходимая для перехода в лучшее состояние, сравнима с финальным улучшением [108]. Вместо линейной модели, детально разработанной, удобной и понятной, с определенностью и предсказуемостью поведения, пришла сложность с предельными циклами, бифуркациями, аттракторами, с неопределенностью и ограниченной предсказуемостью. Как всегда, новое проникает с большими трудностями. Причем наиболее консервативными оказываются не ведущие экономисты, которые сами лучше других видят недостатки ортодоксальной экономической теории и открыты к восприятию новых идей, если они достаточно проработаны. Наибольшее сопротивление исходит от экономистов более низкого ранга, убежденных сторонников устаревшей ортодоксальной науки [24].

Каков вывод из изложенного? Авторы настоящей работы далеки от мысли «мы наш, мы новый мир построим». Но использование готовых рецептов явно недостаточно и требуется для новых задач создавать свои новые методы. Помимо новых подходов к конкретным задачам, фундаментальное значение имеет то, что привлечение инструментов из арсенала физики и биологии, ведет к избавлению от некоторых иллюзий и способствует созданию новой экономической идеологии. Приходит более полное осознание сложного поведения экономического мира, что прежние устоявшиеся представления имеют весьма ограниченную область применимости. С другой стороны, оппоненты описанных новых подходов к экономическим исследованиям аргументируют свою позицию тем, что методы эконофизики, нелинейной и эволюционной экономики представляют что-то вроде модных течений и, как всякая мода, со временем уходят. Прослеженное на длительном временном интервале взаимодействие физики и эволюционной теории с экономикой убеждают в обратном. Высокий уровень развития физической науки предлагает не только новые методы, а определяет стиль научного мышления, и заимствование из арсенала физики другими областями научного знания является совершенно закономерным и естественным. Об

этом свидетельствует вся история науки Нового времени. Эконофизика, нелинейная и эволюционная экономика, несмотря на новизну этих терминов, не веяние моды. Конечно, не все, активно сейчас разрабатываемое в этих областях, приживется на новой почве. Но в любом случае будет какой-то «сухой остаток». Новые методы из физики и эволюционной биологии могут стать «любимым местом охоты», по выражению В. Леонтьева, в экономических исследованиях. Сюда добавим, что С. Смейл включил задачу «Развитие экономической теории с точки зрения динамических систем» в число важнейших подлежащих решению проблем математики XXI в. наряду с 8 и 16-й проблемами Гильберта, аттрактором Лоренца, проблемой турбулентности и др. [109]. Думается, со временем новые методы сформируют новую экономическую идеологию и внесут значительный вклад в новую эконометрику.

### Библиографический список

1. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986.
2. *Лаплас П.С.* Опыт философии теории вероятностей. М., 1908.
3. *Мухин Р.Р.* Очерки по истории динамического хаоса. М.: URSS, 2012.
4. *Пригожин И., Николис Г.* Биологический порядок, структуры и неустойчивость // УФН. 1973. Т. 109. Вып. 3. С. 517.
5. *Пригожин И., Николис Г.* Познание сложного. М.: Мир, 1980.
6. *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1980.
7. *Хакен Г.* Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.
8. *Жаботинский А.М.* Концентрационные автоколебания. М.: Наука, 1974.
9. *Климонтович Ю.Л.* Работа М.А.Леонтовича 1935 года по теории необратимых процессов // Академик М.А.Леонтович. Ученый. Учитель. Гражданин. М.: Наука, 2003. С. 160.
10. *Горобец Б.С.* Круг Ландау. Физика войны и мира. М.: URSS, 2009.
11. *Романовский Ю.М.* Устное сообщение 19.01.2011.
12. *Заславский Г.М., Чириков Б.В.* О механизме ускорения Ферми в одномерном случае // ДАН СССР. 1964. Т. 159, № 2. С. 306.
13. *Чириков Б.В.* Исследования по теории нелинейного резонанса и стохастичности. Препринт 267. Новосибирск: ИЯФ СО АН СССР, 1969.
14. *Афраймович В.С.* Странные аттракторы и квазиаттракторы // Проблемы нелинейных и турбулентных потоков в физике. Киев: Наукова думка, 1985. С. 21.
15. *Шильников Л.П.* Теория бифуркаций и турбулентность // Там же. С. 118.
16. *Afraimovich V.A., Shilnikov L.P.* On strange attractors and quasiattractors // Nonlinear dynamics and turbulence. Boston-London-Melbourn: Pitman, 1983. P. 1.
17. *Батунин А.В.* Фрактальный анализ и универсальность Фейгенбаума в физике адронов // УФН. 1995. Т. 166, № 6. С. 645.
18. *Гинзбург В.Л.* Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными? // В.Л.Гинзбург. О физике и астрофизике. М.: Наука, 1985. С. 7.
19. *Чернавский Д.С., Старков Н.И., Малков С.Ю., Косе Ю.В., Щербаков А.В.* Об эконофизике и ее месте в современной теоретической экономике // УФН. 2001. Т. 181, № 7. С. 767.

20. *Stanley H.E. et al.* Anomalous fluctuations in the dynamics of complex systems: from DNA and physiology to econophysics // *Physica A*. 1996. 224. P. 302.
21. *Вавилов С.И.* Исаак Ньютон. М.: Наука, 1989.
22. *Walras L.* Principe d'une théorie mathématique de l'échange // *J. des économistes*. 1874. Vol. 34. P. 1.
23. *Fisher I.* Mathematical investigations in the theory of value and prices. N.Y.: A.M. Kelley, 1961.
24. *Россер-мл. Дж.* Настоящее и будущее эконофизики // *Вопросы экономики*. 2009. № 11. С. 76.
25. *Леонтьев В.* Экономические эссе. М.: Изд-во полит. лит., 1990.
26. *Мандельброт Б., Хадсон Р.Л.* (Не)послушные рынки. М.: Вильямс, 2006.
27. *Либман М.* Теоретические и эмпирические исследования в современной экономике: проблемы коммуникации // *Вопросы экономики*. 2008, № 6. С. 4.
28. *Nelson R.R., Winter S.G.* An Evolutionary Theory of Economic Change. Cambridge, MA: NUP, 1982. Русский перевод: Нельсон Р.Р., Уинтер С.Дж. Эволюционная теория экономических изменений. М.: Дело, 2002.
29. *Шушурин С.Ф.* Максвелл и статистический метод в физике // *Максвелл и развитие физики XIX- XX веков*. М.: Наука, 1985. С. 166.
30. *Ball P.* The physical modeling of society: a historical perspective // *Physica A*. 2002. Vol. 314. P. 1.
31. *Yakovenko V.M.* Econophysics, Statistical Mechanics Approach to // *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer, 2009. P. 2800.
32. *Majorana E.* Il valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle sociali // *Scientia*. 1942. Quarta serie, Febbraio-Marzo. P. 58.
33. *Majorana E.* The value of statistical laws in physics and social sciences // *Quantitative Finance*. 2005. Vol. 5. P. 133.
34. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Статистическая физика. М.: Наука, 1964.
35. *Самульсон П.А.* Принцип максимизации в экономическом анализе // *Работы Нобелевских лауреатов по экономике*. Минск: БелГУ, 2010. С. 5.
36. *Bachelier L.* Théorie de la spéculation. Doctoral dissertation // *Ann. Ecole Norm. Sup.* 1900. Vol. 17. P. 21.
37. *Einstein A.* Über die von der molecular-kinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen // *Ann. Phys.* 1905. Band 17. S. 182.
38. *Smoluchowski M.* Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molecularbewegung und der Suspensionen // *Ann. Phys.* 1906. Band 21 (14). S. 756.
39. *Wiener N.* Differential-space // *J.Math. Phys.* MIT. 1923. Vol. 2. P. 131.
40. *Винер Н.* Нелинейные задачи в теории случайных процессов. М.: Изд-во иностр. лит., 1961.
41. *Bachelier L.* Theorie of Speculation // *The Random Character of Stock Market Prices*/ Ed. P.H.Cooter. Cambridge: MIT Press, 1964. P. 17.
42. *Дубовиков М.М., Старченко Н.В.* Эконофизика и фрактальный анализ финансовых временных рядов // *УФН*. 2011. Т. 181, № 7. С. 779.
43. *Veblen T.* Why is Economics not an Evolutionary Science? // *Quarterly J. of Economics*. 1898. Vol. 12. P. 373.

44. *Шумпетер Й.А.* Теория экономического развития. М.: Директмедиа Паблшинг, 2008.
45. *Бурлачков В.* Турбулентность экономических процессов: теоретические аспекты // *Вопр. экономики*, 2009. № 11. С. 90.
46. *Смит А.* Исследования о природе и причинах богатства народов. М.: Изд-во соц.-экон. лит, 1962.
47. *Kaldor N.* A model of the trade cycle // *The Economic J.* 1940. Vol. 50, № 197. P. 78.
48. *Hicks J.R.* A contribution to the theory of the trade cycle. Oxford: OUP, 1950.
49. *Samuelson P.A.* Interactions between the multiplier and the principle of acceleration // *Rev. Economics and Statistics.* 1939. Vol. 21, № 2. P. 75.
50. *Goodwin R.M.* The nonlinear accelerator and the persistence of business cycles // *Econometrica.* 1951. Vol. 19, № 1. P. 1.
51. *Andronov A.A., Khaikin S.E.* Theory of oscillations. Princeton, NJ: PUP, 1949.
52. *Cartwright M., Littlewood J.E.* On non-linear differential equation of the second order:  $\ddot{y} - k(1 - y^2)\dot{y} + y = b\lambda k \cos(\lambda t + \alpha)$ ,  $k$  large // *London Math. Soc.* 1945. Vol. 20. Part 3. P. 180–189.
53. *Cartwright M., Littlewood J.E.* On non-linear differential equation of the second order:  $\ddot{y} + kf(y, \dot{y}) + g(y, k) = p_1(t) + kp_2(t)$ ;  $k > 0$ ,  $f(y) \geq 1$  // *Ann. Math.* 1947. № 2. P. 472.
54. *Goodwin R.M.* A growth cycle // *Socialism, Capitalism and Economic Growth.* C.H. Feinstein (ed.). Cambridge: CUP, 1967. P. 54.
55. Samuelson P.A. The Collected Scientific Papers of Paul Samuelson. Vol. 3. Cambridge, MA: MIT Press, 1973.
56. *Маршал К.* Задача трех тел. Москва-Ижевск: Инст-т компьютерн. исслед., 2004.
57. *Бородин А.Н.* Элементарный курс теории вероятностей и математической статистики. СПб.: Лань, 1999.
58. *Чернавский Д.С., Старков Н.И., Щербаков А.В.* О проблемах физической экономики // *УФН.* 2002. Т. 172, № 9. С. 1045.
59. *Занг В.-Б.* Синергетическая экономика. М.: Мир, 1999.
60. *Трубецков Д.И.* Канонические модели нелинейной динамики в экономике // *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика.* 2006. Т. 14, № 2. С. 75.
61. *Леонидов А.* Путь к экономическому равновесию и эффективность финансовых рынков: взгляд физика // *Вопр. экономики.* 2009. № 11. С. 82.
62. *Лоскутов А.Ю., Жарикова Н.А.* Новые методы финансового анализа. (В рукописи).
63. *Малинецкий Г.Г., Потанов А.Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2000.
64. *Takens F.* Detecting strange attractors in turbulence // *Lecture Notes in Math.* 1981. 898. P. 336.
65. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. М.: Инст. компьют. исслед., 2002.

66. Дубовиков М.М., Старченко Н.В. Эконофизика и анализ финансовых временных рядов // Эконофизика. Современная физика в поисках экономической теории. М.: МИФИ, 2007. С. 256.
67. Zaslavsky G.M. Hamiltonian Chaos and Fractional Dynamics. Oxford: Oxford Univ. Press, 2005.
68. Mandelbrot B. The variation of some other speculative prices // J. of Business. 1967. Vol. 40. P. 393.
69. Gencay R., Selkuk F., Whitcher B. Scaling properties of foreign exchange volatility // Physica, 2001. Vol. A289. P. 249.
70. Dubovikov M.M., Starchenko N.S. Variation index and its application to analysis of fractal structures // Sci. Almanac Gordon. 2003. № 1. P. 1.
71. Dubovikov M.M., Starchenko N.S., Dubovikov M.S. Dimension of minimal cover and fractal analysis of time series // Physica A. 2004. 333. P. 591.
72. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991.
73. Kantz H., Schreiber T. Nonlinear Time Series Analysis. Cambridge: CUP, 1997.
74. Handbook of Time Series Analysis. Weinheim: Wiley-VCH, 2006.
75. Бурлачков В. Проблема прогнозируемости экономической системы: теоретические аспекты // Вопр. экономики. 2010. № 11. С. 136.
76. Wiener N. The theory of prediction // Modren Math. For Engineers, 1956. Chap. 8.
77. Granger C.W.J. Investigating casual relations by econometric methods and cross-spectral methods // Econometrica. 1969. Vol. 37. P. 424.
78. Granger C.W.J. Modelling Nonlinear Economic Relationships. Oxford: OUP, 1993.
79. Georgescu-Roegen N. The Entropy Law and Economic Progress. Cambridge, MA: HUP, 1971.
80. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. Москва-Ижевск: РХД, 2002.
81. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975.
82. Мюррей Дж. Математическая биология. Москва-Ижевск: РХД. Т. 1. 2009; Т. 2. 2011.
83. Чернавский Д.С. Сопоставление математических основ классической и эволюционной экономики // Эволюционная теория, инновации и экономические изменения (доклады и выступления участников Международного симпозиума). М.: Институт экономики РАН, 2005. С. 27.
84. Dragulescu A.A., Yakovenko V.M. Statistical mechanism of money // The Europ. Phys. J. B. 2000. 17. P. 723.
85. Chakraborti A., Chakraborti V.K. Statistical mechanism of money // The Europ. Phys. J. B. 2000. 17. P. 167.
86. Mimkes J. A Thermodynamic Formulation of Economics // Econophysics ans Sociophysics Trends and Perspectives. Weinheim: WILEY-VCH, 2006. P. 1.
87. Helbing D., Seidel T., Lammer S., Peters K. Self-organization Principles in Supply Networks and Production Systems // Econophysics ans Sociophysics Trends and Perspectives. Weinheim: WILEY-VCH, 2006. P. 535.

88. *Groot E.A., Franses P.H.* Stability through cycles // *Technological Forecasting and Social Change*. 2008. Vol. 75. Issue 3. P. 301.
89. *Lioissatos P.S.* Statistical Entropy in General Equilibrium Theory. Report of Department of Economics. Florida Int. Univ. 2004.
90. *Андреев М.Ю., Пильник Н.П., Поспелов И.Г.* Сильный магистральный эффект в модели рациональных ожиданий современной банковской системы России // *Журн. новой экон. ассоциации*. 2009. Т. 1, № 2. С. 70.
91. *Поспелов И.Г.* Равновесные модели экономики в период мирового финансового кризиса // *УФН*. 2011. Т. 181, № 7. С. 762.
92. *Идлис Г.М.* Основные черты наблюдаемой астрономической Вселенной как характерные свойства обитаемой космической системы // *Изв. Астрофиз. института КазССР*. 1958. Т. 7. С. 40.
93. *Картер Б.* Совпадение больших чисел и антропологический принцип в космологии // *Космология. Теории и наблюдения*. М.: Наука, 1978. С. 369.
94. *Barrow J.D., Tipler F.J.* The Anthropic Cosmological Principle. Oxford: Clarendon Press, 1986.
95. *Казютинский В.В., Балашиов Ю.В.* Антропный принцип // *Природа*. 1989. № 1. С. 1.
96. *Розенталь И.Л.* Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных // *УФН*. 1980. Т. 131. В. 2. С. 239.
97. *Terasvirta T., Tjostheim D., Granger C.W.J.* Modelling Nonlinear Economic Time Series. Oxford: OUP, 2010.
98. *Либман А.* Современная экономическая теория: основные тенденции // *Вопр. экономики*. 2007. № 3. С. 22.
99. *Nonlinear economic models*. Ed. J.Creedy, V.Martin. Edward Elgar, 1997.
100. *Nonlinear Economic modeling in Time Series*. Proceedings of the Eleventh International Symposium in Economic Theory. Ed. W.A.Barnett and oth. Cambridge: CUP, 2000.
101. *Mantegna R.N., Stanley H.E.* An introduction to econophysics. Correlation and complexity in finance. Cambridge: CUP, 2000.
102. *Романовский М.Ю., Романовский Ю.М.* Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели. Москва-Ижевск: Институт компьютер. исслед., 2012.
103. *Каница С.П.* К теории населения Земли // *УФН*. 2010. Т. 180. № 12. С. 1337.
104. *Galam S., Gefen Y., Shapir Y.* Sociophysics: a new approach of sociological collective behavior // *J. Math. Sociology*. 1982. Vol. 9. P. 1.
105. *Galam S.* Sociophysics: a personal testimony // *Physica A*. 2004. 336. P. 49.
106. *Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives* / Chakrabarti B.K., Chakraborti A., Chatterjee A. (ed). Berlin: Wiley-VCH, 2006.
107. *Евстигнеева Л.П., Евстигнеев Р.Н.* Экономика как синергетическая система. М.: ЛЕНАНД, 2010.
108. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. М.: Наука, 1990.
109. *Смейл С.* Математические проблемы следующего столетия // *Современные проблемы хаоса и нелинейности*. Ижевск: Инст-т компьютер. исслед., 2002. С. 280.

*Поступила в редакцию 20.02.2014*

## ABOUT THE HISTORY OF ECONOPHYSICS, NONLINEAR AND EVOLUTIONARY ECONOMICS

*R. R. Mukhin<sup>1</sup>, A. A. Chernikova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A brunch of National Research Technological University  
«Moscow Institute of Steel and Alloys», Stary Oskol

<sup>2</sup> National Research Technological University «Moscow Institute of Steel and Alloys»

The paper is devoted to the history of physics and evolutionary biology to economics. This influence began with the birth of economics as a separate field of scientific knowledge and changed with the development of physics and biology. Strengthening the role of statistical methods in the physics of the twentieth century, the birth of nonlinear physics, biology, evolution is reflected in the economy and finance, resulting in the appearance of such area as econophysics, nonlinear and evolutionary economics. We can hope for the fruitfulness of new approaches, which should lead to a new economic ideology and significantly enrich the existing economic theory and econometric methods.

*Keywords:* Econophysics, nonlinear dynamics, evolutionary theory, economic theory, time series, statistical methods, modeling.

*Мухин Равиль Рафкатович* – родился в Челябинской области (1947), окончил Московский инженерно-физический институт (1976). Защитил кандидатскую диссертацию по химической физике (1991, Институт органического синтеза и углехимии АН Казахстана) и докторскую диссертацию по истории динамического хаоса (2011, ИИЕТ РАН). Автор монографии «Очерки по истории динамического хаоса» (2007, 2012). Область научных интересов – история физико-математических наук. В настоящее время – профессор Старооскольского технологического института НИТУ МИСиС.



309516 Белгородская обл., г. Старый Оскол, мкр-н Макаренко, 42  
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, филиал  
Национального исследовательского технологического университета  
«Московский институт стали и сплавов»  
E-mail: mukhiny@mail.ru

*Черникова Алевтина Анатольевна* – родилась в Белгородской области (1966), окончила Воронежский государственный университет (1988). Защитила кандидатскую (2002) и докторскую (2008) диссертации по динамике хозяйственной деятельности, профессор, автор ряда монографий по указанному направлению. Ректор Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов». В настоящее время область научных интересов – история экономики, новые методы в экономической теории и эконометрике.



117279 Москва, Ленинский проспект, 4  
Национальный исследовательский технологический университет  
«Московский институт стали и сплавов»  
E-mail: chernikova@misis.ru