

Макрофинансы I: методология моделирования пузырей и кризисов

Смирнов А.Д.

*Модель явления должна быть как
можно более проста, но не проще.*

Альберт Эйнштейн

Работа состоит из двух частей. В первой методология сложных систем применяется к исследованию макро- и микроскопических аспектов одной из особенностей развития финансовых систем – генезису, развитию и лопанию финансового пузыря. Показывается, что важнейшие характеристики рынка – иррациональность и доверие – не только признаки массовой психологии инвесторов, но встроены в структуру финансовых связей и имеют адекватную меру, в частности, как отношение стоимости актива к стоимости денег, что вполне аналогично «финансовому рычагу». Объясняется, как процедура формирования структурированного финансового инструмента порождает увеличение стоимости финансовых активов, не обеспеченных ростом реального богатства, рассогласованность которых лежит в основе зарождения финансовых кризисов. Критика методологии редукционизма в финансах дополняется анализом «рациональных» пузырей, имеющим несомненное сходство с анализом сложных систем. Дается краткое изложение теории перколяции, которая используется во второй части работы в исследовании автокаталитических свойств финансового рынка.

Во второй части (публикуется в следующем номере журнала) исследуется макромоделю взаимодействия денег и долгов. Динамика стоимости совокупного актива (долга) представлена уравнением Бернулли, зависящим от трех параметров. Эволюция системы реализуется для различных гипотез монетизируемой компоненты совокупного долга. Иррациональность поведения инвесторов, которой соответствует отрицательное значение параметра ρ в макромоделе рынка, приводит к образованию финансового пузыря. Система становится автокаталитической, теряет устойчивость, а в критической точке пузырь лопается. Эти качественные изменения объясняются в рамках «классической» перколяции через взаимодействия участников рынка на микроуровне системы. Определения Дж. М. Кейнса

Смирнов А.Д. – заслуженный деятель науки РФ, доктор экономических наук, профессор, действительный член Российской академии естественных наук, Государственный университет – Высшая школа экономики. E-mail: adsmir@hse.ru

Статья поступила в Редакцию в июне 2010 г.

финансовой «спекуляции» и «предприимчивости» позволяют получить уравнения этих процессов как вполне аналогичные макромоделли финансового рынка. Вероятностная интерпретация предлагаемой модели использует инвариантные константы перколяции в сочетании с эмпирическими данными о глобальной ликвидности и долге. Различные вероятностные характеристики кредитного кризиса 2007–2010 гг., полученные с помощью модели, помогают объяснить провалы и потери на глобальных финансовых рынках.

Ключевые слова: финансовый пузырь; кризис; перколяция; сингулярность; сложная система.

Финансовый кризис 2007–2010 гг. (credit crunch), последовательно обрушив долговые, фондовые, а затем и реальные рынки, по разрушительной силе и продолжительности занял второе место в истории после Великой депрессии 1929–1933 гг. Ведущие экономики мира по итогам 2009 г. потеряли до 5% ВВП, причем, согласно расчетам Международного валютного фонда, глобальные потери от невозвратных долгов и секьюритизированных активов к концу 2010 г. достигнут 4,1 трлн. долл. [15]. Перегрузив потребителей и бизнес избыточными домами, оборудованием и долгами, система глобальных финансов оказалась не в состоянии эффективно трансформировать сбережения в производительные инвестиции, а рыночные механизмы саморегуляции не обеспечили ее стабильность. В контексте исследований причин кредитного кризиса 2007–2010 гг., проводимых Конгрессом США, и скандала, связанного с операциями банка Goldman Sachs, актуально звучат слова Дж. М. Кейнса: «Деятельность Уолл-стрит, если социальное предназначение этого института состоит в сосредоточении инвестиций на наиболее прибыльных, в терминах будущей доходности, направлениях, не может быть признана выдающимся достижением системы свободного предпринимательства; это не удивительно, если я прав в том, что лучшие умы Уолл-стрит на самом деле решали несколько иные задачи» [30, ch.12, VI]. Соответственно, когда существование основных финансовых институтов оказалось в прямой зависимости от массивов вложений правительств и центральных банков развитых стран мира, испарилась и вера во всемогущество свободной и неограниченной конкуренции рынка.

Функционирование рынков, прежде всего финансовых, в первом десятилетии нынешнего века недвусмысленно указало на очевидные признаки иррациональности, свойственные не только отдельным участникам рынка, но и финансовой системе в целом. Действительно, вне понятия иррациональности трудно объяснить, почему и каким образом в отсутствие глобальных природных катастроф, мировых войн и социальных революций развитие финансовых рынков привело не только к чудовищным потерям, но и практически к полному коллапсу системы в октябре 2008 г. Между тем вся история финансов свидетельствует о том, как рациональность, реализуемая через спокойное, ламинарное течение финансовых процессов, при определенных условиях может трансформироваться в турбулентный поток, заканчивающийся кризисом, который, по сути своей, является апофеозом иррациональности.

В теории финансов иррациональность, во многих обличиях и под разными наименованиями, является понятием, важность которого подчеркивалась такими выдающимися исследователями, как Дж. М. Кейнс, И. Фишер, Дж. Тобин, Б. Мандельброт, Г. Саймон, Х. Мински. Их идеи, равно как и труды современных исследователей, включая Т. Лакса, Р. Шиллера, Д. Сорнета, Г.Е. Стенли, Д. Штауфера, П. Кругмана, Д. Фармера, используются в работе для обоснования того, что иррациональность – это не только признак массовой психологии инвесторов, но и характеристика, встроенная в структуру финансовой системы. Различные сочетания рациональности и иррациональности, по нашему мнению, определяют режимы развития системы и проявляются не только в поведении отдельных участников рынка, на микроуровне, но и в функционировании системы в целом. Рациональность и иррациональность как исключают, так и дополняют друг друга в рамках концепции «ограниченной рациональности» (bounded rationality), введенной в научный оборот Г. Саймоном [42, 46]. Простейшим и, пожалуй, наиболее убедительным финансовым прототипом их взаимодействия является процесс раздувания и лопания финансового «пузыря», который исследуется в настоящей работе. Это, хотя и «редкое» по историческим меркам, явление признано настолько важным, что давно имеет чисто эмпирическое объяснение с полшутливым названием «теории еще большего дурака» (the greater fool theory). По сути, данная работа, продолжая двадцатилетние исследования автора данной проблемы [2–5], предлагает модель генезиса, раздувания и лопания финансового «пузыря», которая основана на применении методологии анализа сложных систем, в частности теории перколяции.

Логика и структура данной работы следующая. Работа состоит из двух частей и пяти разделов. Первая ее часть публикуется в настоящем номере журнала. В ней изложены вопросы методологии моделирования финансовых и макроэкономических процессов, рассматриваемых как сложные системы. Взаимодействие элементов таких систем характеризует определенные градации сочетания рациональности и иррациональности. Между тем модель «рационального» инвестора, уподобляя безоговорочно систему ее элементу, принципиально не позволяет исследовать ситуации доминирования иррациональности, характерные для так называемых критических явлений. Глобальные дефолты или кризисы, хотя и относятся к классу «редких», или пуассоновских, событий, играют исключительно важную роль в процессе финансовой эволюции [31]. В дискуссии между сторонниками и противниками гипотезы «рациональных ожиданий» автор полагает, что неадекватность гипотезы «рациональных» ожиданий проистекает исключительно из-за претензий на универсальность. В частности, исследование «рациональных пузырей», существенно продвинутое Т. Лаксом и Д. Сорнетом [35], хотя и дает нереалистические значения критических экспонент, но прокладывает своеобразный «мост» к применению методологии сложных систем.

Во второй части работы (публикуется в следующем номере журнала) методология анализа сложных систем применяется к построению модели финансовых пузырей и кризисов. Рассматривается простая модель двухкомпонентного финансового рынка Кейнса, дополненная гипотезой взаимодействия денег и долгов, которой соответствует уравнение Бернулли, зависящее от трех параметров. В такой макромодели стоимость долга есть функция эмиссии ликвидности, а соотношение стоимости долга и денег отражает степень рациональности системы. На уровне макрофинансов рассматриваются три гипотезы взаимодействия денег и долгов.

Линейная и логистическая гипотезы уравнения стоимости финансового актива отражают доминирование рациональности в поведении инвесторов. Логистическая мо-

дель для постоянного параметра управления, учитывая взаимодействие заемщиков, конкурирующих за ограниченные размеры кредитов, стабилизирует систему «деньги – долги». Изменения этого параметра из-за растущей иррациональности способны порождать хаотические процессы, приводящие к коллапсу системы. Этот сценарий реализуется на дискретной модели удельного внешнего долга России в конце 1990-х гг. Макромодели хаоса требуют, однако, слишком детальной спецификации динамики параметра управления, что крайне затруднительно сделать для общего случая эволюции системы [24]. Методологически проще выявить фазу доминирования иррациональности на макрофинансовой модели, представленной уравнением Бернулли, в частности через изменение знака (на отрицательное значение) параметра при нелинейной компоненте. Решение этого уравнения моделирует возникновение положительных обратных связей по мере развития финансового пузыря, что приводит к сингулярности системы, иначе, появлению кризиса. Таким образом, если в режиме монетизации долга участники рынка действуют вполне рационально, то растущий финансовый пузырь, иррациональный по своей природе, превращает систему в автокаталитическую и в конечном счете предопределяет ее неизбежный коллапс.

Сингулярность макрофинансовой системы объясняется на основе перколяционной модели поведения участников рынка. Микроструктурные представления о поведении инвесторов, конкретизирующие определения Кейнса спекуляции и предприимчивости, приводят к уравнению поведения финансового инвестора, которое оказывается точно таким же, как и для макрофинансовой модели. Перколяционная модель финансового пузыря допускает чисто вероятностную интерпретацию, которая использует инвариантные константы (для бесконечномерных систем) для вычисления параметров вероятностных распределений, особенно степенного закона, управляющего развитием финансового пузыря. Параметр Парето в рамках этого закона выражается через отношение условной вероятности времени кризиса к темпу прироста стоимости глобального долга. Перколяция финансовой системы дает целостное объяснение провалам и потерям, а использование инвариантных констант позволяет рассчитать различные характеристики кредитного кризиса 2007–2010 гг. Эмпирическая параметризация степенной модели стоимости глобального долга приводит к достаточно правдоподобным значениям различных вероятностных характеристик текущего финансового кризиса.

В целом модели, предлагаемые во второй части, являются конкретизацией и иллюстрацией методологии, рассматриваемой в первой части работы. Разумеется, соотношение между ними однозначное, но не взаимно-однозначное, поскольку методологические утверждения могут конкретизироваться в моделях других типов.

1. Кризис методологии редукционизма

Кредитный кризис 2007–2010 гг., обнажив несовершенства глобальных финансов, а финансы – самое близкое приближение к идеальной конкуренции, показал ограниченность наших знаний о природе, взаимодействии, развитии и реакциях финансовых и реальных систем. И это – несмотря на столетия функционирования кредитно-денежных рынков, многолетние обширные и скрупулезные исследования, проводимые самыми блестящими умами, несмотря на обилие стандартов, правил, справочников и многостраничных учебников. «Нет худа без добра»: кризис, продемонстрировав очевидную неспособность финансовой системы к саморегуляции и обеспечению

эффективного распределения общественных ресурсов, в полном объеме поставил вопрос о смене парадигмы экономической и финансовой науки. «Рыночный фундаментализм», против которого длительное время, но безрезультатно, выступали многие видные финансисты и экономисты – теоретики и практики, – оказался, наконец, если не поверженным, то, по крайней мере, серьезно скомпрометированным.

1.1. Обзор дискуссии

Дискуссии экономистов вокруг основной парадигмы исследований – «гипотезы эффективного финансового рынка» и «рационального» экономического агента – достигли такого размаха и ожесточения, что выплеснулись на страницы широкой печати. Один из ведущих экономических журналов – лондонский «Экономист» – посвятил обзору этих дискуссий обширные статьи в двух выпусках 2009 г. [18], предоставив, в порядке исключения (журнал крайне редко публикует авторские статьи), «последнее слово» нобелевскому лауреату Р. Лукасу. Обвинения звучат с обеих сторон¹, – как критиков, так и защитников этой парадигмы. Совершенно не одобряя эксцессы полемики, следует признать, что поводов для беспокойства и размышлений у теоретиков более чем достаточно. И главный среди них достаточно очевиден: финансовый и экономический кризис 2007–2010 гг., предпосылки которого, как сейчас очевидно, зрели в течение последнего десятилетия, оказался практически «незамеченным» наукой и регулятивными органами ведущих стран мира².

В огромном количестве работ по финансам и макроэкономике, опубликованных на рубеже веков, исследований финансовых кризисов, за редким исключением, не было. Поэтому нет ничего удивительного в том, что отдельные, даже достаточно серьезные, предупреждения о неблагополучии в глобальных финансах не стали доминантой мнения научного сообщества в целом. Ни в малейшей степени не возлагая на науку вину за развязывание кризиса, хотя звучали и такие обвинения, следует признать, что научное сообщество целостного представления о грозящей катастрофе своевременно не сформировало³.

Разумеется, наука не требует единогласия по всем вопросам, но научный консенсус относительно общего состояния экономики вполне возможен. Сказанное отнюдь не противоречит наличию разногласий о деталях и сроках наступления кризиса. Они неизбежны, отчасти потому, что точное предсказание невозможно, отчасти из-за того, что апокрифические исследования были, есть и будут, кстати, точно так же, как это было до последнего времени. Между тем только общее представление о грозящей катастрофе, если бы оно существовало и разделялось большинством исследователей, даже при расхождении в частностях, могло бы служить науч-

¹ Например, нобелевский лауреат П. Кругман заявил в публичной лекции, что «все, чему учили экономистов в течение последних тридцати лет, в лучшем случае – бесполезно, а в худшем – вредно» [18]. Автор полагает, что это утверждение – всего лишь эпатаж почтеннейшей публики, хотя и по весьма серьезному поводу.

² Странное впечатление производила экономическая конференция МВФ ноября 2008 г., обсуждавшая абстрактные модели рационального инвестора, когда вся мировая финансовая система летела, в буквальном смысле этого слова, в пропасть.

³ Популярный электронный журнал «Wired Magazine» [59] опубликовал в 2009 г. блестяще написанную, но совершенно несостоятельную статью, в которой «вина» за кризис возлагалась на китайского теоретика-финансиста Д. Ли, предложившего использование копулятивной модели для анализа дефолтов в портфеле финансовых активов.

ной основой соответствующих научных прогнозов. Крупные международные организации, например, МВФ, ОЭСР, Всемирный банк, Базельский банк, следовательно, имели бы методологию для разработки практических мер по предотвращению, или, по крайней мере, минимизации последствий кризиса⁴. Сейчас проблема создания системы раннего обнаружения кризисов активно обсуждается [21], однако ничего подобного не наблюдалось в годы, предшествовавшие кризису.

Важнейшей причиной такого положения, по нашему мнению, явилась не малая влияние экономистов и финансистов, а отсутствие научной методологии, которая только и способна придать целостность и убедительность отдельным предсказаниям. Между тем методология изучения кризисов как части процесса взаимодействия и развития финансовых и реальных рынков не только не была создана, но, напротив, господствующие воззрения полностью отрицали ее научную и общественную значимость, следовательно, необходимость разработки. Эта позиция отчетливо сформулирована в статье «Макроэкономические приоритеты», написанной Р. Лукасом в 2003 г. В ней признанный глава теории «рациональных ожиданий» заявил буквально следующее: «Макроэкономика родилась в 40-е годы как интеллектуальная реакция на Великую депрессию. Этим термином обозначается определенная совокупность знаний и практических навыков, которые, как мы надеемся, способны предотвращать подобные экономические катастрофы. Мой тезис в данной лекции сводится к тому, что макроэкономика, в определении, данном выше, выполнила свое предназначение: ее **центральная проблема – предотвращение депрессии – успешно решена** (выделение и курсив автора – А.Д. Смирнов), и с практической точки зрения решена уже в течение многих десятилетий»⁵ [34, р. 1].

С высоты прошедшего времени можно утверждать, что данный тезис Р. Лукаса оказался не более чем усиленной «ошибкой второго рода»: неверная гипотеза не только не была отвергнута, но напротив, принята за основу господствующей теоретической конструкции⁶. Неадекватность редукционизма, который в экономике и финансах реализуется как модель «рационального инвестора», или «эффективного» (в информационном отношении) финансового рынка, сейчас достаточно очевидна. Кризис, и особенно предшествующий ему процесс раскручивания финансового пузыря, во весь рост поставили вопрос о необходимости адекватного моделирования сложных систем и взаимодействия ее элементов.

1.2. О редукционизме в финансах

В контексте методологии редукционизма гипотезы «рациональных» ожиданий (rational expectations), «эффективного» рынка (effective market hypothesis, ЕМН) и

⁴ 79-й ежегодный отчет Базельского банка [13] содержит, в частности, объяснения практически непреодолимых трудностей, возникающих при попытках реализации масштабных мер по предотвращению кризиса.

⁵ Цитируемая статья – президентское послание Р. Лукаса ежегодной конференции американской ассоциации экономистов. Неадекватность универсальной методологии «рациональных ожиданий», в разработку которой он внес большой вклад, на наш взгляд, не должна умалять личных заслуг этого видного ученого.

⁶ Ошибки выдающихся умов, к сожалению, не редкость в финансах. Достаточно вспомнить потерю состояний И. Ньютоном (кризис Южных морей) и И. Фишером (Великая депрессия), а предсказание последнего накануне кризиса 1929–1933 гг., по сути, аналогично утверждению Р. Лукаса.

«рационального» инвестора (*rational investor*) используются как синонимы, хотя, разумеется, их конкретизация может существенно различаться. Методология редукционизма в основе своей проста и может быть выражена в нескольких словах. Поведение и свойства системы в целом уподобляются поведению и свойствам ее отдельного элемента всегда и везде, при любых условиях, внутренних и внешних. Поскольку в экономике и финансах таким элементом является некий «типичный» экономический агент – инвестор или потребитель, имеющий, как правило, явно выраженную систему предпочтений, то финансовая (экономическая) система уподобляется своему типичному участнику. Соответственно изучение более сложного объекта (системы) сводится к изучению более простого (относительно) элемента. Разумеется, научная редукция не столь прямолинейна, она опирается на исследование общей природы системы и элемента, выявление их унифицированных свойств. Теория (или гипотеза) «рациональных» ожиданий явилась результатом весьма нетривиальных интеллектуальных усилий, которые совершенно неправильно игнорировать, отбрасывать или оглуплять. Объективная оценка этой гипотезы, вместе с тем, должна содержать признание того, что конечным результатом научной редукции в экономике явилось замещение анализа системы на анализ ее элемента, а экономика уподобилась отдельному «типичному» инвестору.

Конечно, представления о безусловном подобии системы своему элементу в экономике и финансах возникли, а тем более стали доминировать, не произвольно и не по злому умыслу. Абсолютизировать кейнсианство и методологию *putting* 1950-х гг.⁷ столь же неправильно, сколь и методологию «рационального инвестора». Дело в том, что простая макроэкономическая модель Кейнса, особенно в интерпретации Хикса – Хансена и Манделла – Флеминга, удовлетворяя, в частности, условиям теоремы о неявной функции, соответствует, в целом, лишь анализу квазистатики системы. Статичность макроэкономической модели, где финансы и реальный рынок определены, как в свое время говорили, «аксиоматически», была явным методологическим дефектом подобного подхода, поскольку препятствовала пониманию динамики реальных и монетарных процессов. Поэтому, начиная с работ Д. Джорджсена о рациональном инвесторе, т.е. с 60-х гг. прошлого столетия [27], экономисты предпринимали попытки объяснения поведения системы, используя достаточно очевидные факторы, влияющие на мотивацию типичного участника рынка. При этом, правда, вопрос о том, в какой мере можно «приписать» рациональную мотивацию, особенно выраженную в терминах полезности, системе в целом, т.е. рынку, с самого начала оставался открытым⁸.

Финансовая интерпретация пионерных работ Р. Лукаса и Т. Сарджента о мгновенных реакциях рационального инвестора начиная с 1970-х гг. стала доминировать в научных исследованиях. Финансовый рынок все чаще стал уподобляться свойствам и поведению своего «типичного» элемента. Данная методология, однако, предполагает, что когда реакции рыночных агентов формируются на основе всей доступной информации, отражающейся в ценах активов, то взаимодействие агентов не

⁷ В 50-х гг. прошлого века широко использовались гидравлические аналоги кейнсовской модели основных макроэкономических процессов.

⁸ Автор вспоминает, как А. Бергсон, один из основоположников теории благосостояния, после лекции в ЦЭМИ АН СССР в конце 1960-х гг. полушутливо заметил, что он «завидует» исследователям социалистической экономики, поскольку последнюю можно рассматривать в терминах общественной полезности.

требует специального анализа⁹. На следующем этапе, в интерпретации популярной в 1980-е гг. модели «рационального инвестора» Р. Мертона, система, поведение которой было признано идентичным поведению отдельно взятого элемента, *alias* «типичного» участника рынка, оказалась наделенной свойством рациональности [17].

Столь радикальная трансформация свойств системы и элемента открыла дорогу для использования методов оптимизации системы в целом, что позволило получить ряд интересных теоретических утверждений, например концепцию стохастического фактора дисконтирования. Вместе с тем не требуется решать уравнения Эйлера – Лагранжа, чтобы понять, что вдоль оптимальной траектории поведения инвестора вряд ли происходят критические явления типа финансового кризиса. Сказанное, разумеется, ни в малейшей степени не отрицает пользы применения математических методов оптимизации. Речь идет о том, что модель рыночного агента, оптимизирующего свое поведение, содержательно ограничена некими «нормальными» условиями, не допускающими катастрофических потрясений и критических перестроек рынка. И вновь возникает уже затронутый вопрос: *quod licet Jovi non licet bovi*. Оптимальное поведение отдельного инвестора, пусть и с оговорками, вполне допустимо, но как понимать оптимизацию рынка в целом? Убедительного обоснования гамильтоновой системы в финансах не существует, и «напрямую» вряд ли его можно получить.

Модели «рационального» инвестора, как правило, с трудом подкреплялись эмпирическими данными и приводили к многочисленным парадоксам, неразрешимым в рамках данной умозрительной конструкции [17]. Это постепенно уменьшало интерес научного сообщества к подобным моделям. Вместе с тем финансовая практика никогда не принимала в полной мере предпосылку об идентичности рынка и его отдельного участника. И действительно, несколько странно, что отдельно взятый инвестор, который всегда борется за существование в неблагоприятной, а то и прямо ему противостоящей, среде, «на самом деле», как уверяет теория, имеет дело с объектом, имитирующим его собственное поведение. Это настолько противоречило действительности, равно как и интуиции участников рынка, что один из самых крупных финансистов-практиков, У. Баффетт, в частности, иронично заявил, что готов на свои средства создавать кафедры «эффективного рынка», чтобы потом безнаказанно разорять их выпускников (цит. по [37, с. 14]). Хорошо известны также отрицательные высказывания о гипотезе эффективного рынка, принадлежащие крупному финансисту Дж. Соросу [49, с. 41–42].

Не менее важно и то обстоятельство, что «типичный» инвестор, изначально оказался своего рода «поручиком Кижже»¹⁰ современной финансовой теории. В экономике и финансах, где размеры участников рынка различаются зачастую на несколько порядков, средние величины, как правило, лишены содержательного смысла. Средний агент, несмотря на провозглашаемую «репрезентативность», таковым не мог быть, поскольку попросту не существовал для многих (*scale free*) финансовых и экономических процессов, не имеющих характеристической шкалы. Подобные свойства давно

⁹ В эти годы была популярна шутка о том, что сторонник теории «рациональных ожиданий», увидев лежащую на полу стодолларовую купюру, никогда ее не поднимет, поскольку убежден, что кто-то это уже сделал до него.

¹⁰ Поручик Кижже из одноименного романа русского писателя Ю. Олеши – это персонаж, порожденный ошибкой переписчика официальных докладов в царской России. Несмотря на свой виртуальный характер, этот персонаж в бюрократической среде существовал вполне реально, получая денежное довольствие, чины и звания.

известны экономистам. Например, средний размер депозита для монополизированного рынка коммерческих банков (тысяча «обычных» банков плюс Сбербанк, если говорить о России) – величина, абсолютно не репрезентативная, нечто вроде «средней температуры всех пациентов больницы». Некритическое использование средних для таких процессов поэтому существенно искажает результаты анализа и предлагает зачастую явно нерациональные рекомендации.

Эмпирически «репрезентативность» рыночных агентов отождествлялась со средними значениями совокупности, а поскольку взаимодействие элементов, как правило, игнорировалось, то для случайных явлений поведение большого числа независимых элементов полагалось соответствующим условиям центральной предельной теоремы. Отсюда понятна популярность гипотезы «нормальности», или гауссовости, равно как и стремление к универсализации подобных стохастических процессов. Гауссова модель, по выражению Б. Мандельброта, – это модель эгалитарного процесса в том смысле, что для больших выборок добавление еще одного наблюдения практически не меняет среднюю, которая является характеристической величиной¹¹. При этом, правда, волатильности могут иметь существенные флуктуации. Поэтому гауссовость служила и служит одним из важнейших признаков «нормальной», или идеальной», конкуренции, а универсализация гауссовской модели игнорировала многочисленные парадоксы, равно как и соответствующую статистику «выбросов», настойчиво напоминающую о так называемых «толстых хвостах» в распределении финансовых показателей, в частности, доходностей активов.

Как отмечалось выше, редукционизм – методологический прием, характерный не только для экономики. В конечном счете адекватность методологии проверяется экспериментом, что предполагает сопоставимость размерности модели и реальной системы. Поэтому дискуссия о модели «рационального» инвестора должна рассматриваться в общенаучном контексте доступности информации и эксперимента, следовательно, в аспекте размерности системы. В экономике и финансах недостаточность эмпирической информации, равно как и невозможность экспериментировать, заставляют экономистов регулярно ссылаться на модели соответствующих процессов, что практически никогда не делают физики. Результаты экспериментов в естественных науках, как правило, инвариантны к размерам систем, поскольку размерность моделируемых объектов чрезвычайно велика, порядка числа Авогадро (6×10^{23}). Напротив, нехватка информации имеет серьезные методологические последствия для экономической науки, порождая неопределенность теоретических выводов, которые чрезвычайно чувствительны к массивам данных, имеющимся в распоряжении исследователя. Стенли и др. в работе [51] приводят следующую, чрезвычайно важную, последовательность смены гипотез о природе финансовых процессов.

Известно, что знаменитый расчет Б. Мандельброта (1963 г.) по хлопковым ценам имел весьма небольшой, по современным меркам, порядок данных, всего лишь 10^3 наблюдений. Для таких систем гипотеза распределения Леви – Парето представляется вполне адекватной, и ее выдвигание имело огромное значение для трансформации финансов в соответствии с современными теоретическими представлениями. Между тем в 1995 г. Стенли и др. провели исследования по экономическим системам, имевшим размерность, пропорциональную 10^6 наблюдений. Обработка эмпири-

¹¹ Распределение Коши, напротив, не имеет средней, иными словами, случайная величина с этим распределением чрезвычайно колеблется, причем ее дисперсия не существует. Соответственно, по Б. Мандельброту, – это модель элитарного процесса [37].

ческих данных привела к гипотезе об «усеченном» распределении Леви (truncated Levy distribution). Наконец, в 2002 г. Гопикришнан и др. исследовали индикаторы, имевшие размерность порядка 10^9 , что далеко вывело финансовые системы за пределы распределения Леви. Сейчас исследователи говорят о «кубическом законе», управляющем динамикой многих финансовых индикаторов, тогда как семейство распределений Леви – Парето ограничивает величину параметра «частоты» экстремальных событий значением 2. Правомерна поэтому такая постановка вопроса: доступность информации, к примеру, порядка 10^{12} наблюдений, приведет к уточнению существующей или к выдвиганию принципиально новой научной гипотезы? Главной проблемой, разумеется, является не столько величина одного из параметров распределения, сколько научная обоснованность теории, которая выдвигается на массивах информации, несопоставимой с истинной размерностью системы. Информационная недостаточность неизбежно транслируется в различные характеристики теории, формирующейся на ее основе, поддерживая рецидивы редукции в попытках преодоления ограниченности эмпирических данных. Важность этого методологического обстоятельства вполне очевидна в обсуждении *pro et contra* гипотезы «рационального инвестора», более чем тридцатилетнее господство которой подходит к концу.

В свете сказанного выше краткий обзор несостоятельности методологии редукционизма завершим выводом, который многим может показаться парадоксальным. По нашему мнению, критика модели «рационального» финансового инвестора не означает ее полную непригодность в анализе экономических явлений. Повторим, неприемлемыми представляются лишь претензии редукционизма на универсальность. Именно они порождают неадекватность модели «рационального» инвестора условиям турбулентного финансового рынка с резко падающими, к примеру, ценами активов и высокими рисками. Необоснованная универсализация этой концепции является истинной причиной ее неприятия финансовой практикой. Между тем, если принять, что развитие науки происходит по типу «вложенных» множеств, то, отбросив необоснованные претензии «рациональных» ожиданий на универсальность, вполне можно выявить класс процессов, для которых данный подход вполне приемлем. В этом свете чрезвычайно интересными представляются исследования типа «рациональных» пузырей, которые, по нашему мнению, служат своеобразным «методологическим мостом» между гипотезой «рационального инвестора» и анализом сложных систем. Вполне убедительная связь между ними коротко может быть сформулирована следующим образом.

Все взаимодействия элементов большой и сложной системы охарактеризовать невозможно, но вполне возможно и допустимо выбрать некий, доминирующий тип взаимодействия. В таком контексте анализ сложных экономических систем принципиально расширяет методологию «рационального» инвестора: вместо «типичного» агента исследуется «типичное» взаимодействие микроагентов. Понятно, что это – непростой переход, решать подобные проблемы можно только на основе серьезного эмпирического изучения различных финансовых процессов. Например, какое взаимодействие – квадратичное, степенное или, в общем случае, фрактальное – следует принять как типичное. В свете сказанного позитивным выводом научной дискуссии должно явиться создание новой методологии, синтезирующей все позитивное в экономической теории, включая и модели «рационального» инвестора.

1.3. «Рациональные» финансовые пузыри

Периоды длительного и значительного роста стоимости финансовых активов известны очень давно и, разумеется, не могли остаться вне поля зрения экономистов. Простая модель финансового пузыря была предложена в 1982 г. *О. Бланшаром* и *Р. Ватсоном* [10], аналогичные попытки предпринимались и рядом других исследователей. Эти работы показали, что возникновение пузырей, при соблюдении достаточно простых условий, не противоречит гипотезе рациональных ожиданий. Содержательно, однако, возникновение, развитие и окончание (лопание) пузырей на финансовых рынках можно объяснить лишь эффектами взаимодействия агентов рынка, порождающими положительные обратные связи. Поскольку поведение независимых, однородных по масштабам, предпочтениям и горизонтам участников рынка, обладающих полной информацией, формулируется вне анализа этих эффектов, то интерес к исследованию рациональных пузырей надолго угас. Так, долговые пузыри были исключены из анализа на основании тех соображений, что для фиксированного контракта номинал долга, погашаемого через $t > 0$ лет, известен точно. Для акций – положение более сложное, поскольку эти инструменты, строго говоря, никогда не погашаются, а в глазах закона корпорация существует вечно. Однако и в этом случае пузыри были исключены посредством апелляции к исчислению так называемой «фундаментальной» стоимости актива.

В 2002 г., однако, появляется работа *Т. Лакса* и *Д. Сорнета* [35], в которой идея рациональных пузырей вновь рассматривается, но в рамках более общей модели мультипликативного случайного процесса (процесса Кестена). Финансовый пузырь, представленный процессом Кестена, естественно возникает при исчислении доходностей активов и порождает логнормальные и степенные распределения ставок доходностей. Модель Бланшара – Ватсона оказывается частным случаем процесса формирования стоимости финансовых активов. Для произвольного финансового актива $A_t, t = 0, 1, 2, \dots$, который имеет случайно изменяющуюся будущую стоимость A_{t+1} и периодический доход s_{t+1} , рациональное поведение инвестора предполагает выполнение условия

$$(1.3.1) \quad A_t = \delta E_t [A_{t+1} + s_{t+1}],$$

где рыночная ставка дисконта $\delta = (1 + r_f)^{-1} < 1$, и r_f – рыночная ставка безрисковой доходности. Типичный рыночный агент (один из очень большого числа участников рынка) обладает полной на данный момент информацией I_t , что означает вычисление условного ожидания $E_t \equiv E[\cdot | I_t]$. Рыночная стоимость финансового актива, согласно (1.3.1), есть дисконтированная стоимость будущего периодического дохода (купона или дивиденда) и капитальной стоимости актива.

Рынок, на котором цены активов отражают всю наличную информацию в соответствии с уравнением (1.3.1), является эффективным в информационном отношении. Эта модель обычно дополняется условием «трансверсальности», которое исключает возникновение финансовых пузырей:

$$\lim_{j \rightarrow \infty} \delta^j E_t [A_{t+j}] = 0.$$

Последовательное вычисление уравнения (1.3.1) для разных значений времени при подстановке в него условия трансверсальности и выполнении «закона вложенных ожиданий»

$$E_{t+j} [\dots E_{t+1} [E_t [X]]] = E_t [X]$$

приводит к следующему выражению для «фундаментальной стоимости актива»:

$$(1.3.2) \quad A_t = \delta^j \sum_{j=1}^{\infty} E_t [s_{t+j}].$$

Уравнение (1.3.2) означает, что на финансовом рынке торгуются активы, стоимость каждого из которых рациональными инвесторами определяется как дисконтированный по ставке безрисковой доходности поток будущих доходов, иначе, «фундаментальная» стоимость финансового актива. В отсутствие пузыря «фундаментальная» стоимость актива существует и единственна, что существенно упрощает анализ ситуаций на финансовом рынке. Вместе с тем условие отсутствия финансовых пузырей не является обязательным. Существование пузыря модифицирует модель «рационального инвестора» к виду

$$(1.3.3) \quad A_t = \delta E_t [A_{t+1} + s_{t+1} + B_{t+1}],$$

где B_{t+1} – уровень финансового пузыря. В модели (1.3.3) финансовый пузырь должен удовлетворять условию

$$(1.3.4) \quad B_t = \delta E_t [B_{t+1}],$$

которое обеспечивает непротиворечивость требований рациональности и существования пузыря. Это условие выполняется для широкого класса случайных мультипликативных дискретных уравнений с аддитивными компонентами (процессов Кестена):

$$(1.3.5) \quad B_{t+1} = a_{t+1} B_t + \varepsilon_{t+1},$$

где $\{a_{t+1}\}$ и $\{\varepsilon_{t+1}\}$ – случайные независимые и одинаково распределенные процессы, причем $\{\varepsilon_{t+1}\}$ – *n iid(0,1)* процесс. Совместность уравнений (1.3.4) и (1.3.5) обеспечивается, если выполняется равенство

$$(1.3.6) \quad E_t [a_{t+1}] = \frac{1}{\delta}.$$

Процесс Кестена B_t – последовательность случайных положительных значений пузыря, зависящих от распределения случайной величины $\{a_{t+1}\}$. Каждое значение случайной величины

$$(1.3.7) \quad a_{t+1}^i = \frac{B_{t+1}^i}{B_t}; \quad i = \overline{1, n}$$

является, по экономическому смыслу, условным состоянием (или условным темпом изменения уровня) финансового пузыря. Это – так называемая *цена Эрроу*, приписываемая i -му состоянию пузыря в последующий момент времени. Соответственно, для дискретного распределения вероятностей условных состояний пузыря $\{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n\}$, $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1$ имеет место условие

$$(1.3.8) \quad E_t[a_{t+1}] = \sum_{i=1}^n a_{t+1}^i \pi_i = \frac{1}{\delta}.$$

Из теоремы Кестена [35] для мультипликативных случайных уравнений следует, что при выполнении весьма нежестких условий предельное распределение процесса B_t имеет характер степенного закона:

$$(1.3.9) \quad \text{Pr}[B_t > x] \sim x^{-\beta},$$

причем параметр Парето $\beta > 0$ удовлетворяет равенству

$$(1.3.10) \quad E_t \left[\left| a_{t+1}^\beta \right| \right] = 1.$$

Для модели *Бланшара – Ватсона*, где финансовый пузырь – бинарная случайная переменная

$$(1.3.11) \quad a_t = \begin{cases} \bar{a}, & \pi; \\ 0, & 1 - \pi, \end{cases}$$

согласно (1.3.8) и (1.3.10) находим, что $\bar{a} = (\delta\pi)^{-1}$ и $\bar{a}^{-\beta}\pi = 1$, откуда значение параметра Парето составляет $\beta = \frac{\log \pi}{\log \delta + \log \pi}$. Например, для $\delta = 0,95$ (ставки безрисковой доходности в 5% годовых) и $\pi = 1 - \pi = 0,5$ параметр Парето равен $\beta = 0,93$.

Величина параметра Парето для «рационального пузыря», однако, оказывается значительно ниже эмпирических значений, которые для многих финансовых процессов фиксируются на уровне 3 («кубический закон» [36]). Это, на наш взгляд, объясняется условием (1.3.8), которое устанавливает связь между условными состояниями пузыря и «безусловным» темпом его изменения $1/\delta$. Последний апеллирует к «нейтральности рисков», поскольку определяется уровнем безрисковой ставки процента $1/\delta = 1 + r_f$, которая минимальна на всем множестве положительных доходностей. Арбитражные возможности на рынке, таким образом, исключаются, но ценой сильного занижения величины параметра Парето. Методологический вывод из анализа данной модели состоит в том, что хотя пузыри не противоречат гипотезе рациональных ожиданий, но, поскольку последняя не учитывает эффекты взаимодействия и нелинейно-

сти, неадекватные значения параметра степенного распределения неизбежны. Вместе с тем апелляция к процессам Кестена, порождающим логнормальные и степенные распределения, позволяет рассматривать гипотезу рациональных пузырей как некий «мост» к исследованиям финансов как сложной системы, которая, как правило, следует распределению Парето.

2. Сложные системы и моделирование кризисов

Современная система финансов, по объемам сделок с основными и производными активами, достигла поистине астрономических масштабов, исчисляемых сотнями триллионов долларов. Финансы не производят материальные ценности, но, являясь наилучшим приближением к «идеальной» конкуренции, расширяют возможности целесообразного использования дефицитных ресурсов. Финансовая система многократно мультиплицирует стоимость реальных ресурсов посредством как усложнения иерархии связей участников рынка, так и появления множества сложных, структурированных активов, подчас с плохо изученными свойствами и повышенными рисками. Финансовые контракты из-за своей сложности становятся непрозрачными, причем потеря транспарентности происходит, зачастую, не от недостатка, а от переизбытка информации¹².

Представление финансового рынка как сложной системы должно ответить на следующий вопрос. Каким образом система, основанная на контракте, устанавливающем равенство сторон, соответственно равенство издержек и результатов, генерирует рост финансового и реального богатства, рассогласованность которых может быть преодолена лишь в результате грубой коррекции рынка, иначе, кризиса? Не претендуя на полноту, тем более истинность, ответа, приведем ряд соображений, помогающих в структуризации этой, без преувеличения, основной проблемы макрофинансовой теории.

2.1. Богатство и взаимодействие реальных и финансовых рынков

Известно, что производство товаров и услуг невозможно без целесообразного использования ресурсов – знаний, природных ресурсов, капитала и труда, – причем величина издержек производства имеет тот же порядок, что и доходы (выпуск, или объемы продаж). В мире вещей ничего не происходит мгновенно (overnight), поскольку использование ресурсов требует времени, а, значит, производственные процессы всегда инерционны. У. Баффет эту простую мысль выразил в присущей ему образной манере: «Американская экономика не может развернуться на пяточке»¹³. В отличие от производства вещей эмиссия финансовых активов имеет относительно малые издержки. В отсутствие инерции издержек стоимость активов определяется стохастикой «новостей», случайные шоки которых трудно предсказуемы. Эти изменения происходят практически мгновенно, а, следовательно, стоимость финансовых активов рас-

¹² Зарегистрированы многие случаи, когда инвесторы в обеспеченные активами обязательства (collateralized debt obligation, CDO) получали от эмитентов этих инструментов проспекты, насчитывающие сотни страниц, смысл которых не могли дешифровать даже специально нанятые аналитические фирмы [60].

¹³ «The US [economy] can't turn around on a dime» (Bloomberg, 10 Mar 2009).

тет, или падает, существенно быстрее, чем изменения номинальных индикаторов реального рынка. Но поскольку балансовое равенство в финансах обязательно соблюдается, то материальное обеспечение активов замещается во все большей степени другими финансовыми активами, включая непогашенные долги. Отсутствие издержек в «производстве» финансовых активов открывает дорогу для формирования квази-издержек, а именно, созданию или синтезу новых активов, обеспечением которых являются существующие активы и, во все большей степени, непогашенные долги.

Богатство отдельного участника рынка, представленное, в частности, большой положительной величиной чистого частного богатства (*net private worth*, NPW), *a priori* не предполагает ненулевых реальных (материальных) ресурсов. Известно, что в рыночной экономике можно быть очень богатым человеком, не имея материальных ресурсов, специальных знаний, а располагая лишь денежными активами. Напротив, макроскопически чистое финансовое богатство равно нулю, поскольку активы кредиторов равны пассивам должников, а в конкурентной и сбалансированной экономике сбережения равны инвестициям (с точностью до внешнеэкономических связей). Это «исчезновение» финансов на макроуровне объясняет, почему исторически и логически финансовая экономика развивалась, прежде всего, на микроуровне, как формирование цен и условий торговли отдельными активами. Финансовое богатство, представляя совокупную стоимость всех «бумажных» активов, стоит ровно столько, сколько собственники ликвидности или фондов (*liquidity*, funds) готовы платить сегодня за ожидаемые доходы в будущем. Финансист из фирмы PIMCO П. Маккалли пишет: «Ликвидность – не столько некоторое количество денег, сколько определенное состояние настроений... коллективных appetites заемщиков и кредиторов относительно рисков, функция желания инвесторов компенсировать риски посредством заемных средств и готовности сберегателей давать эти средства займы инвесторам» (цит. по [33, p. 11]). Эти настроения материализуются финансовой системой в процессе торговли активами на первичных и, особенно, на вторичных рынках.

Стоимость финансовых активов, представляя рыночную стоимость совокупных частных прав на общественные доходы и ресурсы, является богатством лишь в той мере, в какой отражает господствующие настроения и ожидания участников рынка, которые должны быть адекватными текущему состоянию и перспективам экономики. В определенном, хотя и произвольном масштабе цен совокупная стоимость финансового богатства (либо активов, либо пассивов в отдельности) отлична от нуля [14]. Регулируя стоимость различных активов, исходных и производных, т.е. права собственности на доходы, финансы обеспечивают, в принципе, эффективное распределение дефицитных ресурсов в соответствии с общественными приоритетами. Эта важнейшая функция финансовой системы подвергается сомнению, особенно в период разрушительных кризисов. Тем не менее, перефразируя известное высказывание У. Черчилля, следует подчеркнуть, что хотя современные финансы, безусловно, имеют серьезные недостатки, но более совершенной системы распределения общественных ресурсов просто не существует.

Эффективное регулирование дефицитных ресурсов происходит, однако, лишь при условии когерентного развития финансовых и реальных рынков, которое проявляется лишь за длительные периоды времени, причем необязательно в пропорции 1:1. Можно утверждать, что если увеличение стоимости финансовых активов соответствует росту стоимости реальных ресурсов, то общество в целом становится богаче, и наоборот [55]. Однако весьма непросто превратить это утверждение в операциональное определение. Это, в частности, затрудняет своевременное распознавание кризисных

явлений, поскольку на ранних стадиях практически невозможно отличить спекулятивное раздувание пузыря от здорового удорожания стоимости активов¹⁴. Вместе с тем, когда рост стоимости финансовых активов, раскручиваемый взаимодействием участников рынка, не сопровождается когерентным увеличением масштабов использования реальных ресурсов, благосостояние общества в целом не повышается. За последние примерно десять лет именно это способствовало извлечению кредиторами-посредниками, банковской системой прежде всего, сверхдоходов, по сути, арбитражной прибыли, за счет производителей-заемщиков¹⁵. Так, глобальный рынок CDO составил на конец 2006 г. около 2 трлн. долл. [58], что примерно совпадает с интегральными потерями инвесторов на мировых рынках. Конечно, такое сопоставление достаточно условно, поскольку необеспеченный рост стоимости финансовых активов сопровождался значительными перекосами в распределении общественных доходов, неоправданно высоким вознаграждением за услуги финансового посредничества, осуществляемого как в стандартных формах (banking), так и, особенно, на альтернативном рынке банковских услуг (shadow banking). Однако равенство масштабов финансовых сверхдоходов и потерь симптоматично. Вполне понятно, что длительное ущемление доходов заемщиков в целом эквивалентно многократному увеличению кредитных рисков. Это, конечно, не может продолжаться бесконечно долго, и финансовый пузырь обязательно лопается. Иными словами, совокупные финансовые потери, исчисляемые триллионами долларов, – это, в основе своей, номинальные сверхдоходы кредиторов, которые не имели реального обеспечения товарами, услугами и другими элементами общественного капитала. Кредитный кризис 2007–2010 гг. восстановил нарушенный дисбаланс между частным и общественным богатством. Однако точность, а тем более справедливость, подобной коррекции весьма сомнительны, и это явилось фактором роста финансовых и экономических напряжений, которые, как в Греции 2010 г., способны перерасти в социальные волнения.

2.2. Контракт: микроэлемент финансовой системы

Гетерогенность экономических условий, равно как и стохастический характер их изменений, объективно превращают финансовый, особенно долговой, контракт (взаимодействие кредитора и заемщика) в базовый элемент любой, самой развитой экономической системы. Взаимная выгода участников контракта состоит в том, что кредитору не нужны деньги в данный момент, но необходимы доходы в будущем, тогда как заемщик имеет прямо противоположные цели и намерения. Согласование их целей и намерений посредством контракта (соглашения, предполагающего отсутствие арбитражной прибыли) открывает дорогу заключению взаимовыгодной сделки и расширению бизнеса. Финансовый контракт обеспечивает развитие экономики, невозможное в противном случае, т.е. обе стороны получают выгоду, которая, в общем

¹⁴ Выражение А. Гринспена об иррациональном возбуждении (irrational exuberance) финансовых рынков общеизвестно, хотя, как справедливо отмечает П. Кругман [32], бывший председатель правления ФРС мало что сделал по предотвращению финансовых пузырей [23]. По нашему мнению, эта пассивность во многом объясняется причинами, отмеченными выше.

¹⁵ Первичные кредиторы, например владельцы домов, также получили определенную часть арбитражной прибыли из-за возрастания стоимости недвижимости, но их часть просто не сопоставима с прибылью финансовых гигантов – теперь уже бывших инвестиционных банков.

случае, сопровождается рисками. Взаимная выгода участников контракта определяется величиной номинальной ставки доходности, $r > 0$, которая для долга является ставкой доходности к погашению (yield to maturity, YTM), диктуемой рынком. Величина ставки доходности в конечном счете зависит от развития производства и эффективного использования всех материальных и интеллектуальных ресурсов. Установление этого соответствия и есть важнейшая общественная функция, реализуемая во взаимодействии финансовых и реальных рынков, рассогласованность которых восстанавливается посредством грубой коррекции (кризиса).

В краткосрочном периоде долговой контракт, априори предполагающий равенство сторон, есть «справедливая игра» или «игра с нулевой суммой», поскольку сверхдоход одной стороны равен дополнительным издержкам контрагента. Это условие, известное как принцип отсутствия арбитража (no-arbitrage relation), реализуется в широкой гамме отношений, возникающих на различных финансовых рынках: от формирования форвардной цены актива, до «финансового рычага». Отсутствие арбитража в контракте, однако, органически связано с неопределенностью. Финансовый контракт (на бесконечно короткий период времени) устанавливает связь между (альтернативными) издержками кредитора $rB(t)$ и его будущим доходом: периодической компонентой, $m(t)$ (купон или дивиденд), и изменением капитальной стоимости актива, \dot{B} , которая представлена производной стоимости долга по времени. Уравнение финансового контракта

$$(2.2.1) \quad rB(t) = \dot{B} + m(t),$$

по сути, воспроизводит динамику стоимости (исходного) финансового актива, что будет детально рассмотрено во второй части работы¹⁶. В контексте данного исследования представляет интерес типичный контракт ипотечного рынка, структура связей которого воспроизводит процессы секьюритизации активов. На одном из сегментов этого, самого крупного, рынка долгов начались все события текущего кредитного кризиса [22].

Ипотечный банк (mortgagee) в своих активах замещает стоимость дома на величину ипотечного займа, выданного ипотечному заемщику (mortgagor), который обязан его погасить в установленные сроки. Агрегат этих сделок имеет объем обязательств, не превышающих стоимость залога, или материальных ресурсов. В этом случае, по крайней мере, теоретически, невозможность погашения долга не влечет разорения кредитора, получающего стоимость залога. Многовековая практика таких долгосрочных займов показала, что, при соблюдении необходимых условий, ипотека, схема которой (для непрерывно начисляемой ставки доходности) представлена ниже, – один из наиболее надежных видов финансовой деятельности. Приведенные схемы используют условие $m(t) = y = const$.

¹⁶ Вероятностный аналог уравнения (2.2.1) финансового контракта для простого броуновского движения рассмотрен в работах автора [3,4].

Таблица 2.1.

Ипотечный кредитор

Активы	Пассивы
Стоимость дома, $-H$	
Ипотечный заем, $+M = y \int_0^T \exp[-rt] dt$	

Таблица 2.2.

Ипотечный заемщик

Активы	Пассивы
Стоимость дома, H	Ипотечный долг, $M = y \int_0^T \exp[-rt] dt$

Разумеется, на длительный период невозможно предсказать случайную динамику ставок доходности r , равно как и оценить размеры ожидаемых периодических платежей y , поэтому, строго говоря, вероятности дефолтов заемщиков всегда отличны от нуля. В период ипотечного кризиса кредитор сталкивается практически с неизбежными потерями, поскольку массовые дефолты заемщиков создают у них избыточное количество домов, которые невозможно продать, следовательно, возместить их первоначальную стоимость [44]. Кроме того, непоплаченный долг может быть погашен лишь с некоторой ненулевой вероятностью, в настоящий момент уверенности в этом быть не может. Следовательно, доверие инвесторов отражает величину вероятности возврата займов, иначе, является дополнением до единицы величины кредитного риска (риска дефолта). Доверие инвесторов к соответствующим инструментам, и к рынку в целом, скрепляет подобную, опрокинутую вниз, финансовую иерархию: как только исчезает доверие, то вся сложная конструкция финансовых отношений и контрактов начинает рушиться [57]. В какой мере стоимость финансового контракта при отсутствии дефолта приводит к изменению частного и общественного богатства? Некоторые причины нарушений этих соотношений происходят при создании сложных структурированных финансовых инструментов (контрактов), использующих ипотечные займы.

2.3. Структурированные инструменты и финансовый пузырь

Очевидно, что генезис и раздувание финансового пузыря (отсутствие глобального дефолта) происходят при соблюдении условий контракта. Однако при некоторых условиях рациональная установка – купить дешевле, чем продать, – которой руководствуются все участники рынка, оказывается встроенной в иррациональный процесс увеличения спроса на активы, подпитываемый избыточной ликвидностью. На критических уровнях ликвидности инвесторы в массовом порядке меняют «длинные» позиции на «короткие». Когда все начинают продавать, то стоимость активов падает,

как правило, катастрофически, а покупатели, вместе с ликвидностью, исчезают, и еще недавно азартный покупатель не способен продать переоцененный актив. Провал стоимости активов обычно не меньше предшествовавшего ему роста, поэтому инвестор, слишком поздно осознавший качественную перестройку рынка, оказывается в числе проигравших, а проще – самым большим дураком. В современных терминах эта «теория» – не что иное, как эмпирическое объяснение автокаталитического характера раздувания финансового пузыря, происходящего вследствие взаимодействий инвесторов, в которых доминируют иррациональные мотивы – сознательное завышение цен активов в надежде продать их дороже, чем они куплены. Подобная установка, однако, формируя положительные обратные связи на финансовом рынке, дестабилизирует систему, что неизбежно заканчивается катастрофой.

В современных финансах, особенно в англосаксонской модели финансового рынка, пузырь реплицируется, прежде всего, посредством формирования синтетических активов. Финансовый синтез позволяет резко разнообразить спектр средств, которыми располагает инвестор, расширить спрос на активы, повысить ликвидность рынков и в конечном счете снизить транзакционные издержки. Синтетические активы, включая производные и структурированные (*derivative and structured*), играют большую и все возрастающую роль: их многие десятки, если не сотни, среди которых ARS, ABS, ABCP, CDO, CDS и другие. История структурированных инструментов насчитывает несколько десятилетий, и в канун кризиса объем торговли этими инструментами исчислялся триллионами долларов [25]. Кредитный кризис нанес страшный удар по многим сегментам рынка, на которых торговались эти активы, а многие из них просто «схлопнулись». Как выясняется в ходе расследований причин кредитного кризиса 2007–2010 гг., даже для создателей свойства структурированных активов оставались загадкой, последствия их массового применения были просто неизвестны, а практика торговли этими инструментами изобиловала эксцессами, злоупотреблениями доверием и прямым обманом инвесторов¹⁷ [50].

Обычный, или «нормальный», процесс монетизации долга предполагает погашение долгов «звонкой монетой», тогда как его трансформация допускает «оплату» старых долгов посредством эмиссии новых займов, что неизбежно заканчивается катастрофой. Подобное возможно и в «нормальном» режиме функционирования финансового рынка, но это – аномалия, которая отмечалась еще классиками. Так, напомним цитирование *Д. Рикардо* выступления в британском парламенте некоего Гескиссона, утверждавшего, что «в основе предположения, что старый долг оплачен, лежит то обстоятельство, что мы заключили новый заем, на гораздо большую сумму...» [1, с. 235]. Когда отмеченная аномалия, при некоторых условиях, превращается в норму поведения инвесторов, то процесс монетизации долга неизбежно принимает сингулярный характер. Однако эмиссия долговых обязательств, как на основе необеспеченных долгов, так и на основе долгов, обеспеченных непогашенными долгами, полностью разорвала связь между финансовыми и материальными активами¹⁸.

¹⁷ Объективное изучение практики использования структурированных инструментов должно приводить не к их отрицанию, а к более полному пониманию положительных и отрицательных сторон этих активов и пределов их эффективного использования.

¹⁸ Процедура продажи (физической или синтетической) непогашенных долгов специально созданным инвестиционным организациям (*Special Investment Vehicles, SIV*), которые их перемешивают (*repackage*) и оформляют как обеспечение новых ценных бумаг, известна как секьюритизация активов (*asset securitization*). Провалы сегментов, на которых торговались эти бумаги, явились одним из важнейших факторов глобального кредитного кризиса 2007–2010 гг.

Свойства и процедуры синтеза, условия торговли и ценообразования синтетических инструментов изучают микрофинансы, нас же интересуют макроскопические аспекты финансового синтеза – замещение во все больших масштабах непогашенных долгов на новые долговые обязательства. Главным последствием создания сложных синтетических активов явилось увеличение стоимости активов, не обеспеченное ростом реального богатства. Массовое распространение подобной практики неизбежно влечет перерождение процесса монетизации долга – основы любой самой развитой финансовой системы.

Литература по современным структурированным инструментам огромна, но концентрируется на вопросах предсказания коррелированных дефолтов, возникающих, как правило, в копулятивной модели портфеля активов инвестора [28]. Достаточно сложная, а подчас и просто громоздкая, математика этих моделей затрудняет понимание экономической сути процесса синтеза CDO (collateralized debt obligations), которая, если абстрагироваться от многих технических деталей, сводится к тому, что создание такого синтетического инструмента позволяет увеличить суммарную стоимость рыночных активов. Аналогичная идея отчетливо сформулирована Дж. Соросом как «создание мнимой стоимости из пустоты» [50]. Этот интересный процесс, ставящий под сомнение универсальность принципа отсутствия арбитража, либо конкурентность финансовых рынков, рассмотрим на простом примере двух бинарных случайных исходных активов (underlying assets):

$$x := \{X, \bar{X}\} \text{ и } y := \{Y, \bar{Y}\}.$$

Исходные активы, как правило, находятся на балансе кредиторов, в том числе участников ипотечного рынка, как было указано в предыдущем разделе. Предположим, что исходные активы – бескупонные, типа стрипсов, погашаются через год и имеют равные номиналы $F_x = F_y = F$. Символ X обозначает состояние дефолта, а символ \bar{X} соответствует погашению (отсутствию дефолта) актива x . Полагаем, что выплаты и дефолты активов независимы и их комбинации образуют полную группу событий, причем события $X \cap \bar{X} = \emptyset$ и $Y \cap \bar{Y} = \emptyset$ несовместны. Состояние дефолта реализуется с вероятностью p_x , а отсутствие дефолта имеет место с вероятностью $1 - p_x$. Аналогичный смысл имеют обозначения для актива y .

Допустим, как это имеет место в действительности, что высокие вероятности дефолта препятствуют продажам исходных активов. Стремление продавать такие активы инвесторам, избегающим высоких рисков, наряду с получением значительных комиссионных, явилось причиной формирования так называемых «структурированных» финансовых активов, среди которых наибольшую известность получили активы, обеспеченные долгами, CDO. Если продать активы x и y «напрямую» невозможно, либо затруднительно, то можно продать синтетические активы s и e , называемые обычно траншами (tranches), составленные, например, по типу $s = 0,75(x + y)$ и $e = 0,25(x + y)$, где суммарная стоимость исходных активов $x + y$ соответствует стоимости M активов на балансе кредитора ипотечного рынка, представленном в предыдущем разделе работы. Процедуры формирования траншей, число которых может достигать пяти, достаточно сложны, но сводятся к следующему. Исходные активы (и их доходы) объединяются в общий пул и распределяются так, чтобы сначала обеспечить выплаты по

привилегированным (senior) траншам, а лишь затем – по субординированным (mezzanine and equity) активам. Примем, что синтетические транши, s и e , имеют такие же номиналы, что и исходные активы x и y , но отличаются порядком формирования выплат. Привилегированный транш s выплачивает доход, если хотя бы один исходный актив не находится в состоянии дефолта, что формально означает $s : \bar{S} = \bar{X} \cup \bar{Y}$, тогда как субординированный транш e имеет ненулевую стоимость, если оба исходных актива – не в состоянии дефолта одновременно: $e : \bar{E} = \bar{X} \cap \bar{Y}$.

Выплаты по привилегированному траншу происходят как реализация случайного события¹⁹ $\bar{S} = (\bar{X} \cap \bar{Y}) \cup (\bar{X} \cap Y) \cup (X \cap \bar{Y})$, вероятность которого равна

$$\Pr[s = \bar{S}] = 1 - p_x p_y.$$

Соответственно дефолт привилегированного транша есть событие, происходящее с вероятностью

$$(2.3.1) \quad \Pr[s = S] = 1 - \Pr[s = \bar{S}] = p_x p_y.$$

Для субординированного транша вероятность выплат (отсутствия дефолта) составляет $\Pr[e = E] = 1 - p_x - p_y + p_x p_y$, а вероятность дефолта есть величина

$$(2.3.2) \quad \Pr[e = E] = p_x + p_y - p_x p_y.$$

Очевидно, что дефолт привилегированного транша – событие менее вероятное, чем дефолт исходных активов, тем более, дефолт субординированного транша²⁰. Привилегированный актив, как более надежный, получает более высокий рейтинг и становится более дорогим. Следовательно, ставки доходности активов группируются в обратном порядке:

$$(2.3.3) \quad r_s < r < r_e,$$

причем наиболее надежный транш, как самый дорогой, продается под наиминимумую ставку доходности. В неравенствах (2.3.3) полагается, что исходные активы имеют одинаковые доходности $r_x = r_y = r$.

Выявленное соотношение изменений вероятностей дефолта и ставок доходностей означает экономически, что формирование сложного структурированного актива, сохраняя значения номиналов, приводит к увеличению текущей рыночной стоимости активов. Покажем это на интуитивном уровне при условии равенства вероятностей дефолта исходных активов: $p_x = p_y = p$. В данных предположениях рыночная стоимость исходных активов равна $2(1-p)F \exp(-rt)$, а стоимость производных активов составляет $(1-p^2)F \exp(-r_s t) + (1-p)^2 F \exp(-r_e t)$.

¹⁹ Нетрудно убедиться, что состояния траншей также образуют полную группу событий.

²⁰ Вполне аналогичный пример процедуры синтеза CDO рассмотрен Р. Ксенакисом [56].

Для $t = 1$ и равенства спредов $s_1 = s_2 = s$, где $s_1 = r_s - r$ и $s_2 = r_\varepsilon - r$, неравенства $(1 + p)\exp(-r_s) + (1 - p)\exp(-r_\varepsilon) > 2\exp(-r)$ или

$$(2.3.4) \quad (1 + p)\exp(s) + (1 - p)\exp(-s) > 2$$

выполняются для достаточно широкого спектра значений вероятностей дефолта и спредов²¹, что видно на рис. 2.1.

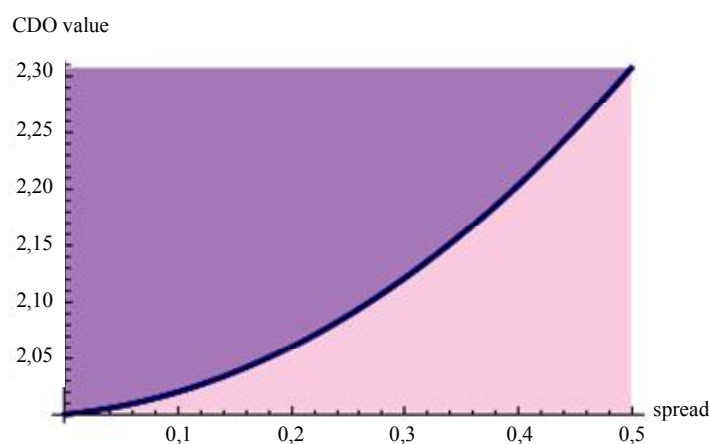


Рис. 2.1. Рост стоимости CDO

Как нетрудно заметить, для $p = 0$ средняя скорость удорожания стоимости CDO (относительно стоимости исходных активов) становится функцией гиперболического косинуса от значений спреда доходностей активов:

$$(2.3.5) \quad \frac{1}{2}(\exp[s] + \exp[-s]) = \cosh[s].$$

Поскольку эта функция симметрична, положительна и больше единицы для ненулевых спредов, то превышение стоимости CDO над стоимостью исходных активов представляется очевидным. Соотношение стоимостей исходных и структурированных (привилегированного и субординированного) активов показано на рис. 2.2.

²¹ Заметим, что спред доходностей привилегированного транша и исходных активов — величина отрицательная, что объясняется «сверхобеспечением» этого транша (overcollateralization, O/C). На практике это достигается как увеличением стоимости активов, входящих в обеспечение траншей, так и страхованием их доходностей посредством покупки гарантий у специальных компаний (monoline insurers).

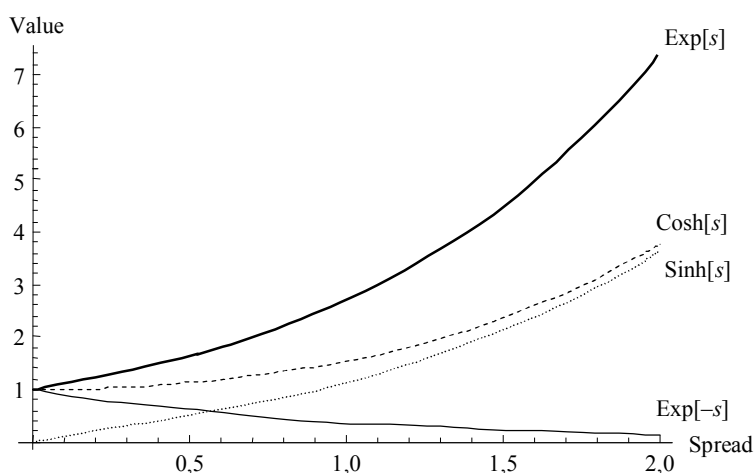


Рис. 2.2. Изменение стоимостей активов

Рассмотренная процедура синтеза активов не отвечает на вопрос о появлении арбитражных возможностей; последние могут отсутствовать, если учесть широкое использование на практике процедур сверхобеспечения CDO и страхования их доходностей. Однако рост стоимости синтетических активов в результате операций «slice and dice» – создания CDO – очевиден. Поэтому вывод экспертов о роли синтетических активов как фактора кредитного кризиса 2007–2010 гг. получает убедительное подтверждение [45]. Прямым следствием сказанного является утверждение о том, что увеличение стоимости финансовых активов, когда оно не обеспечено ростом реального богатства, неизбежно готовит грубую коррекцию рынка, иначе – финансовый кризис. Вместе с тем «провисание» стоимости CDO возле начала координат несколько корректирует предупреждения У. Баффета и Дж. Сороса [20, 50] относительно роли структурированных инструментов как «распространителей», а не демпферов рисков. Из поведения «цепной» функции (catenary) следует, что эти предупреждения справедливы для малых спредов, тогда как для их больших значений, когда стоимость траншей растет существенно, риски вряд ли играют столь плохую роль, которую им обычно приписывают.

В завершение этого раздела отметим, что поскольку $\cosh[s] = \cos[is]$, то, вполне возможно, эволюцию стоимости CDO следует исследовать на множестве комплексных чисел, где мнимые числа соответствуют степени иррациональности поведения инвесторов, особенно на заключительных стадиях формирования долгового пузыря. Об этом же говорит и представление $-\rho = i^2\rho$, параметра иррациональности ρ , который будет введен в части II работы (следующей статье).

2.4. Финансовый рычаг и коллапс

Не менее важным представляется еще одно обстоятельство. Увеличение стоимости активов обычно сопровождается расширением использования инвесторами заем-

ных средств, или ростом финансового рычага (leverage). Так, кредитный кризис 2007–2010 гг. во многом вызван несоразмерным использованием участниками рынка финансового рычага, а также недостаточным контролем за его величиной посредством Базельского регулирования²² [13]. Известно, что теперь уже бывшие инвестиционные банки Merrill Lynch и Lehman Brothers накануне кризиса использовали финансовый рычаг порядка 40, т.е. лишь один доллар их собственного капитала поддерживал около 40 долл. заемных средств²³ [26]. В условиях роста стоимости активов рычаг больших размеров резко увеличивал доходность собственного капитала, но, когда стоимость активов начала снижаться, он явился причиной разорения многих крупных участников рынка. Широкое использование участниками рынка заемных средств и секьюритизированных активов, что эквивалентно увеличению финансового рычага, предопределило неизбежность кризиса, иначе, сингулярный характер финансовых процессов.

Интересно, что склонность современных финансовых систем к коллапсу обнаруживается достаточно просто, без апелляции к сложным моделям перколяционного типа. Так, для финансового рычага, $x = \frac{D}{E}$, где D – размеры заемных средств и E – собственный капитал, запишем простое уравнение связи между ставкой доходности на собственный капитал, $\rho \equiv ROE$, ставкой инвестиционной доходности, $\mu \equiv ROA$, и стоимостью заемных средств, r . Это уравнение, без учета обратных связей (компания, обремененные долгами, обычно получают кредиты по более высоким ставкам процента), записывается как

$$(2.4.1) \quad \rho = \mu + (\mu - r)x.$$

Понятно, что, когда стоимость заемных средств ниже инвестиционной доходности, финансовый рычаг – мощное средство увеличения доходности собственного капитала, это и является причиной его массового использования. Однако падение стоимости активов приводит к противоположным результатам, подтверждая мнение экспертов о том, что одной из причин кредитного кризиса 2007–2010 гг. явилось неоправданное использование финансового рычага [7]. В предположении постоянства ставок доходности, $\rho = \bar{\rho}$, $\mu = \bar{\mu}$, уравнение (2.4.1) относительно величины рычага принимает вид

$$(2.4.2) \quad x = \frac{\bar{\rho} - \bar{\mu}}{\mu - r}.$$

В условиях роста стоимости финансовых активов ставка доходности собственного капитала обычно превышает ставку инвестиционной доходности, $\rho > \mu$, а вели-

²² Соглашения Базель I, устанавливая пропорции собственного капитала, поддерживающего активы, дифференцированные по степени рискованности, регулировали величину, обратную к значению финансового рычага банковских учреждений. Понятно, что увеличение доли заемных средств есть фактор роста рискованности, хотя обратное неверно. Так, даже сравнительно низкие значения рычага могут не уменьшить риски, если, например, банк инвестировал в ненадежные ипотечные активы.

²³ Как известно, финансовый рычаг может рассчитываться либо как отношение стоимости активов, либо стоимости заемных средств на единицу собственного капитала.

чины инвестиционной доходности μ и стоимости заемных средств r сближаются, что уменьшает влияние рычага. Если типичная фирма стремится обеспечить постоянную доходность на собственный капитал, то в условиях растущего финансового пузыря сближение стоимости заемных средств и инвестиционной доходности заставляет участников рынка неограниченно увеличивать рычаг. Таким образом, когда $r \rightarrow \mu$, значение рычага становится сколь угодно высоким, $x \rightarrow \infty$, что говорит о сингулярности рынка, поскольку рычаг не может принимать сколь угодно большие значения. Это показано на рис. 2.3.

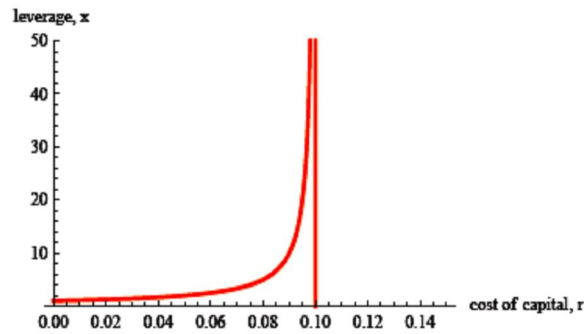


Рис. 2.3. Финансовый рычаг

Математика сингулярности широко применяется, например, для моделирования фазовых переходов или явлений магнетизма. Как известно, фазовые переходы характеризуются существенными изменениями переменных системы, происходящими, когда некоторый «контрольный параметр» системы достигает критического значения. Подобные качественные изменения можно рассматривать как широкий класс явлений сингулярности, которые происходят в динамической системе за конечное время. Утверждение о сингулярности финансового рынка, как показано на рис. 2.4, справедливо и для изменений ставок инвестиционной доходности, что происходит при увеличении спроса на активы.

Хотя финансовый рычаг известен давно, тем не менее лишь в начале этого века Т. Адриан и С. Шин [6] установили различия в использовании рычага разными группами участников рынка, что, безусловно, способствовало увеличению размаха и тяжести финансовых потерь в ходе кризиса. Отмеченная склонность финансового рынка к сингулярности полностью согласуется, в частности, с выводами этих американских исследователей и подтверждается имитацией поведения инвесторов на перколяционных моделях рынка. Ускоряющийся рост стоимости активов, по выражению У. Баффета, «финансовый наркотик» для инвесторов [20], обязательно несет на себе печать вырожденности. Это подтверждается эмпирикой и финансовой теорией, в том числе моделями перколяционного типа, что будет показано в последующей публикации.

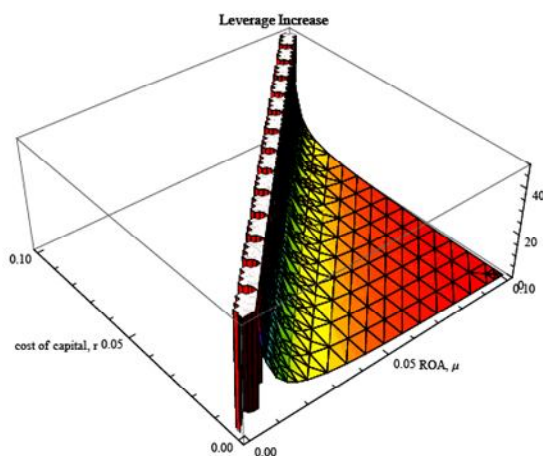


Рис. 2.4. Сингулярность как следствие роста финансового рычага

2.5. Финансовый рынок как сложная система

В настоящее время преобладающей точкой зрения на финансовый рынок является его представление как сложной большой системы, функционирующей в условиях неопределенности. Поведение финансового рынка есть результат взаимодействия огромного количества гетерогенных инвесторов, которые используют все более сложные (структурированные) инструменты. На глобальных рынках основных, производных и структурированных активов многие тысячи участников продают и покупают десятки тысяч самых разнообразных инструментов. Стоимость финансовых инструментов формируется под воздействием факторов самой различной природы – экологических, социальных, экономических и культурно-исторических. Поэтому финансовые рынки непрерывно поглощают и перерабатывают огромное количество самой разнообразной информации: от природных и социальных катастроф, до интимных походов видных политических и общественных деятелей²⁴. Участники рынка, число которых исчисляется десятками тысяч, различаются между собой размерами, плановыми горизонтами, информацией и предпочтениями. Они вступают между собой в разнообразные технологические, информационные и экономические связи, опосредованные влиянием социально-культурной и экологической среды.

Общепринятого определения понятия сложной системы не существует [43], однако чрезвычайно удобным представляется лаконичное определение, предложенное Г.Е. Стенли и др., согласно которому в сложной системе «все зависит от всего» [51]. Удобство такого определения состоит в том, что оно подразумевает взаимодействие элементов системы, которое образует исходную точку современной парадигмы исследований. По сути, это перефраз известного высказывания об экономике или финансах как «собаке, кусающей собственный хвост». Определение Г. Стенли конкре-

²⁴ Информационная всеядность финансовых рынков общеизвестна. Вместе с тем разнообразная и разнородная информация постоянно фильтруется, причем рынки неизменно отдают приоритет событиям финансового и экономического характера [17].

тизируется Д. Сорнетом: «сложная система состоит из большого числа взаимодействующих частей, часто связанных с окружением системы, которые самоорганизуют свою внутреннюю структуру и динамику, проявляя подчас новые и неожиданные свойства» [48]. Сходного определения придерживаются, к примеру, Р. Маршински и Л. Матассини [39], В. Ньюмен и Д. Тюркот [41], а также ряд других исследователей.

Сложные системы, как выяснилось, во-первых, проявляют определенные черты универсальности независимо от их природы, а во-вторых, методы их исследования при помощи методологических упрощений (редукционизма) оказались не состоятельными. В современной науке концепция сложности, в основе которой лежит изучение характера взаимодействия элементов и частей системы, является методологией, позволяющей выявлять свойства, организацию и поведение систем самой различной природы. Именно взаимодействие системы и ее частей, а не внешние шоки и влияние окружающей среды, доминирует в определении свойств и поведения объектов различной природы. Анализ сложных систем развивает и конкретизирует утверждение о том, что «целое больше, чем сумма частей его составляющих», сформулированное еще гештальт-психологией в конце XIX в. и популярное в 1960-е гг. [54]. Продолжая эту давнюю традицию, современная методология исследования сложности вместе с тем предлагает целый спектр современных методов и моделей.

Хорошо известно, что природные и общественные системы являются неупорядоченными, поскольку чистые и идеальные формы, одинаковые размеры, безупречные образцы, в том числе поведения, практически не существуют. Финансовые системы, так же как и более общие экономические системы, являются неупорядоченными (disordered) системами. Один из способов проявления неупорядоченности – это взаимодействие и связность (connectedness) частей или элементов сложной системы [16]. Практически все исследователи полагают, что сложность системы порождена, прежде всего, взаимодействием ее частей и большого количества составляющих ее элементов, причем последние существенно различаются между собой как свойствами, так и размерами [11, 38]. Даже в простейшем случае моделирование взаимодействия одинаковых элементов системы приводит к появлению «смеси» элементов с разными свойствами, что принципиально отличается от редукционистского агрегата, представляющего однородное целое. Предположение о существовании «рационального инвестора» с этой точки зрения можно рассматривать как попытку наложения упорядоченности на неупорядоченную систему с целью изучения последней. В неупорядоченных системах связность микроскопических элементов оказывает огромное влияние на ее макроскопические свойства и поведение. Разумеется, для экономиста моделирование взаимодействия элементов системы не представляется чем-то принципиально новым. Достаточно вспомнить известную функцию Кобба – Дугласа, $Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$, которая отражает взаимодействие качественно различных элементов экономической системы: технологии, капитала и труда.

Развитие и распространение кредитного кризиса 2007–2010 гг. представляет пример взаимодействия финансовых рынков. Так, рассмотрим цепь событий, приведших к «схлопыванию» сегмента синтетических облигаций с переменной ставкой доходности, определяемой на периодических аукционах (auction-rated security, ARS) [33]. Это событие некоторые эксперты расценили как самую масштабную пирамиду в истории финансов. Начало всей цепи было положено на сравнительно небольшом сегменте так называемых «ненадежных ипотечных займов» (subprime loans), емкость которого оценивалась примерно в 200 млрд. долл. Когда по ряду причин, прежде всего

из-за недостаточности обеспечения этих активов, частота дефолтов на этом сегменте в начале 2007 г. резко возросла, то соответственно возросли кредитные риски и издержки страховых фирм-гарантов платежей по таким займам. Последствия этих событий носили двоякий характер. Во-первых, существенно снизилось доверие инвесторов ко всем инструментам, обеспеченным ненадежными займами, стоимость которых снизилась из-за сокращения спроса на них. Во-вторых, рост кредитных рисков вынудил рейтинговые агентства весной 2007 г. начать массовое понижение степени надежности финансовых страховщиков муниципальных облигаций (*monocline insurers*), которые гарантировали выплаты по ненадежным займам. Поскольку страховщики этой группы занимались и гарантией синтетических облигаций *ARS*, то падение рейтинга страховщиков вызвало снижение доверия к этим инструментам и неизбежное падение их стоимости, ставшее особенно заметным к середине 2007 г. Интерес основной массы инвесторов к *ARS* упал столь значительно, что этот сегмент синтетических облигаций, емкостью до 400 млрд. долл., во второй половине 2008 г. практически прекратил свое существование²⁵. Сложные взаимодействия подобного типа вполне аналогичны злокачественным метастазам, распространявшимся, с ускорением, на различные сегменты долгового рынка.

В современной теории исследование сложности концентрируется на изучении малой окрестности так называемой критической точки, где происходят качественные изменения системы, иначе, система совершает перколяцию²⁶. В окрестности критической точки система претерпевает качественные изменения, меняя свою структуру, свойства и количества элементов и поведение [8, 9]. Ранее несвязные микроскопические элементы становятся взаимосвязанными, причем эти взаимосвязи распространяются и могут охватывать всю систему. Взаимосвязи микроэлементов влияют на формирование макрохарактеристик системы в целом. Функция распределения кластеров в малой окрестности точки перколяции является степенной, а колебания системы возле критической точки не имеют характеристической шкалы (*scale-free*). В критической точке, и только в ней, произвольная неупорядоченная система становится подобной своему элементу, или самоподобной системой.

За последние десятилетия установлено, что огромное разнообразие эмпирических систем имеет безмасштабные (*scale-free*) флуктуации в критической точке. Эмпирические значения констант различаются у различных систем, но возле критической точки они одинаковы, несмотря на различия в деталях. Процессы самой различной природы, такие как изменение ферромагнитных свойств, термодинамические процессы, вулканизация резины, землетрясения, формирование снежных лавин и лесных пожаров, распространение эпидемий и банковских паник в окрестности критической точки, ведут себя в определенном смысле практически идентично, например имеют одинаковые константы перколяции. Практически любая сложная систе-

²⁵ Многие инвесторы инициировали судебные преследования эмитентов *ARS*, провал рынка которых называется финансовой аферой, намного превосходящей пирамиду Дж. Медоффа объемом в 50 млрд. долл., рухнувшую в 2008 г. При этом, правда, забывается, что сегмент *ARS* благополучно существовал и развивался более двух десятилетий, а предупреждения против эксцессов в их использовании звучали с момента изобретения этих инструментов.

²⁶ Перколяция (от лат. *per* – через, сквозь; *colare* – поток) – изменение качества системы, происходящее при особых условиях. Исследование процесса вулканизации резины, опубликованное в 1941 г. П. Флори (*Paul Flory*), впоследствии нобелевским лауреатом по химии, содер- жало основы теории перколяции систем в современном понимании этого термина [52].

ма, насчитывающая большое количество взаимодействующих элементов, подчиняется степенному закону [40].

По определению, системы принадлежат одному классу универсальности, если они имеют одинаковые константы перколяции. Предположение о том, что зарождение, развитие и лопание финансового пузыря происходит по законам фазовых переходов, означает, что эти явления принадлежат одному классу универсальности. Оба процесса – сложные системы, поведение которых формируется эндогенно, в результате взаимодействия большого количества микроэлементов. По определению, две системы принадлежат одному классу универсальности, если они имеют одинаковые константы перколяции [51, с. 211]. Если процесс развития финансового пузыря есть процесс перколяции, то они – одного класса универсальности. Известно, что такие системы, как правило, следуют степенному распределению. Следовательно, модель перколяции может рассматриваться как адекватное представление финансового рынка, а структура рынка в критических условиях должна изменяться с теми же константами перколяции. В этом заключается основная идея предлагаемой модели поведения инвесторов. Процесс изменения структуры финансового рынка на момент лопания финансового пузыря полагается аналогичным, т.е. принадлежит одному классу универсальности, процессам фазового перехода в малой окрестности критической точки. Следовательно, при выполнении некоторых условий, модель перколяции может помочь в объяснении эволюции финансового пузыря и появления кризиса.

2.6. Некоторые положения теории «классической» перколяции

В экономических исследованиях применение теории перколяции находится, по нашему мнению, в начальной стадии [47, 53]. Между тем эта теория, являясь органической частью методологии анализа сложных систем, находит массу приложений в самых различных областях естествознания и человеческой деятельности. Великолепным сводом методологии, методов и моделей современной теории перколяции и ее приложений является монография [19]. Предлагаемый ниже материал, следуя работам [16, 29, 43, 52], содержит минимальные сведения о теории «классической» перколяции ячеек плоской сети, которые необходимы для понимания модели поведения инвесторов на финансовом рынке.

Теория перколяции является геометрическим приложением теории вероятностей, которая имеет дело с формированием различных конфигураций на (бесконечно) больших сетях, состоящих из случайным образом занятых либо пустых клеток (site percolation). На сети линейного размера L каждая ячейка, независимо от других, полагается занятой с некоторой априорной вероятностью p и пустой – с вероятностью $(1 - p)$. Априорная вероятность p есть мера того, что выбранная наугад ячейка окажется занятой, и для достаточно большого числа реализаций системы имеет смысл:

$$p = \frac{\text{среднее число занятых ячеек}}{\text{общее число ячеек сети}}.$$

Последовательный перебор всех клеток сети с датчиками, например, равномерно-распределенных случайных чисел, порождает различные конфигурации (кластеры) занятых клеток. Более точно кластер определяется как множество занятых клеток (ячеек), имеющих общее ребро, причем для «классической» перколяции полагается,

что каждая клетка имеет четыре соседа, а четыре образуют ее периметр. Число и структура кластеров полагается функцией их размеров (числа ячеек, входящих в кластер); для вычисления кластеров и их характеристик используется, как правило, алгоритм Хошена – Копельмана. Процесс формирования кластеров, которые образуют соседние занятые ячейки, изучается посредством имитации Монте – Карло. Базовая единица анализа – это ожидаемое число кластеров размера $n_s(p)$ для данной сети. Среднее число кластеров конечного размера s вычисляется по достаточно большому числу реализаций для заданного значения вероятности p :

$$n_s(p) = \frac{\text{среднее число кластеров размера } s}{\text{общее число ячеек сети}}.$$

Из общих соображений ясно, что для малых значений априорной вероятности большинство занятых клеток сети являются изолированными, а размеры кластеров – малы. Очевидно, что если выбор занятых клеток происходит независимо, то вероятность того, что кластер состоит из одной ячейки, равна $n_1 = p(1-p)^4$, а вероятность образования кластера из двух соседних клеток составляет $n_2 = 2p^2(1-p)^6$.

Формула вероятности образования кластеров размера до 20 клеток существенно сложнее:

$$n_s = \sum_t g_{st} p^s (1-p)^t,$$

где периметр t – число клеток, граничащих с пустыми ячейками, а g_{st} – число конфигураций размера s и с периметром t .

Для значений априорной вероятности, близких к единице, практически все клетки заданной сети оказываются занятыми. Они образуют один большой (бесконечной размерности) кластер весьма произвольной формы с множеством различных «дыр» внутри. Возникает вопрос: при каких условиях появляется кластер, ячейки которого образуют непрерывный путь от одного конца сети до другого? Ответ имеет не столько техническое, сколько методологическое значение: поскольку для малых априорных вероятностей такой путь не существует, то его появление для больших вероятностей знаменует качественное изменение свойств и поведения системы. Эксперименты с моделями перколяции показывают, что для бесконечномерной плоской квадратной сети существует критическая вероятность p_c , такая, что для $p < p_c$ перколяционный кластер отсутствует, а для $p > p_c$ существует, как минимум, один перколяционный кластер. Интересно, что, несмотря на многие десятилетия исследования такой «простой» проблемы, точное (аналитическое) решение для критической вероятности не найдено. Критическая вероятность для ячеистой сети определяется численно и составляет $p_c = 0,5927460$. Следует отметить, что указанная критическая вероятность для сети конечного размера L – другая и пропорциональна p^L .

Для $p = p_c$ число кластеров конечного размера подчиняется степенному закону $n_s(p) = s^{-\tau}$. Характеристики кластеров сети изучаются при помощи моментов $M_k = \sum_s n_s(p) s^k$, при исчислении которых перколяционные кластеры исключаются.

Поскольку каждая занятая ячейка принадлежит либо конечному, либо бесконечному кластеру, то асимптотически верно следующее отношение пропорциональности:

$$P_{\infty}(p) = p - M_1 \propto (p - p_c)^{\beta},$$

где β – одна из инвариантных констант перколяции. Характеристика $P_{\infty}(p)$ задает вероятность того, что случайно выбранная ячейка принадлежит перколяционному кластеру. Иначе, из выбранной наугад клетки можно дойти до границы заданной сети по пути, образованному занятыми ячейками. Данная вероятность отличается от вероятности того, что выбранная наугад ячейка окажется занятой, а также от вероятности существования перколяционного кластера, которая для сети бесконечного размера есть единичная функция:

$$R(p) = \begin{cases} 0, & p < p_c; \\ 1, & p \geq p_c. \end{cases}$$

Параметр чувствительности (susceptibility) χ и средний размер кластера $\langle s \rangle$ в окрестности критической точки асимптотически ведут себя одинаково с константой перколяции γ :

$$\chi = M_2 \propto |p - p_c|^{-\gamma},$$

а для общей массы кластеров в окрестности критической точки имеет место условие

$$G(p) = |p - p_c|^{-1/\sigma},$$

где σ – еще одна инвариантная константа перколяции. Изменения параметра порядка и связности показаны на рис. 2.5.

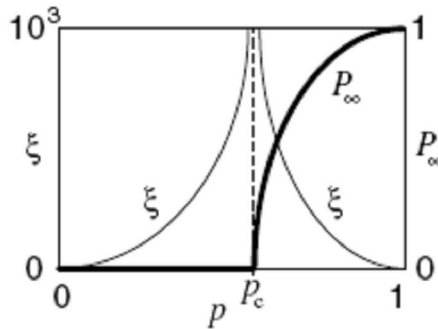


Рис. 2.5. Характеристики связности и порядка

В основе процесса формирования растущих кластеров лежит усиливающая корреляционная связность различных ячеек сети. В критической точке $p = p_c$ происходит изменение качества системы (фазовый переход), означающее, что для

$p < p_c$ система макроскопически несвязна, а для $p > p_c$ система становится макроскопически связной. Можно поэтому утверждать, что теория перколяции изучает эффекты связности $\xi^2(p)$ элементов системы на ее макроскопические свойства. В малой окрестности точки перколяции функция связности соответствует степенному закону с инвариантной константой ν :

$$\xi^2(p) = \frac{\sum_s n_s s^2 R_s^2}{\sum_s n_s s^2} \propto |p - p_c|^{-2\nu}.$$

Корреляционная «длина» $\xi(p)$ характеризует типичный радиус кластеров для $p < p_c$ или «дыр» для $p > p_c$.

Для плоской $D = 2$ клеточной сети (2D site lattice) некоторые константы перколяции приведены в табл. 2.3. Следует отметить, что критическая вероятность p_c константой перколяции не является, а зависит от размерности системы и формы ячеек.

Таблица 2.3.

Некоторые константы перколяции

D	β	γ	ν	σ	τ	d
2	5/36	43/18	4/3	36/91	187/91	91/48

Константы перколяции связаны между собой рядом соотношений. Например, для фрактальной размерности d имеет место

$$d = D - \frac{\beta}{\nu} = \frac{(\gamma + \beta)}{\nu} = \frac{1}{\sigma\nu},$$

причем типичный перколяционный (spanning) кластер имеет фрактальную размерность $d = 91/48 \cong 1,89583$. Фрактальные свойства перколяционного кластера представлены на рис. 2.6, взятом из работы [16]. Три из четырех картинок являются увеличением зоны, обведенной квадратом, исходного кластера, но перемешаны. Поскольку подобие кластеров сильно выражено, то восстановить истинную последовательность чрезвычайно трудно. Отметим, что свойство самоподобия характерно и для финансовых индексов.

Известно, что если два природных или общественных феномена в неоднородных средах имеют различные наборы критических экспонент, то они должны быть принципиально различными. Критические экспоненты, таким образом, помогают классифицировать процессы по степени их универсальности. Теория перколяции утверждает, что хотя численные характеристики различных процессов не универсальны, но возле критической точки они имеют один и тот же универсальный набор экспонент, которые совершенно не зависят от микроскопических свойств различных систем.

В малой окрестности критической точки некоторая характеристика системы X соответствует количеству $|p - p_c|^{-x}$, что имеет место только для бесконечно больших

систем. Для сети конечного размера L корреляционная длина становится сопоставимой с размерами системы:

$$\xi(p_c) \cong L, \text{ откуда } X(p = p_c) \propto L^{x/\nu}.$$

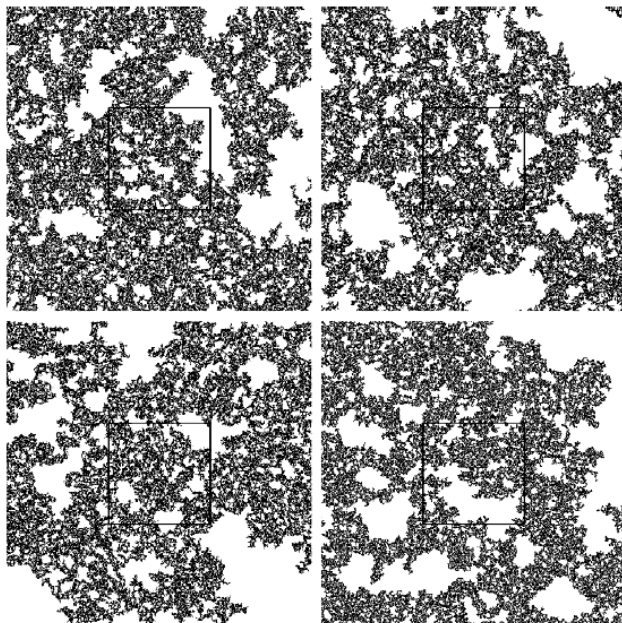


Рис. 2.6. Фрактальные свойства перколяционного кластера [16]

Вероятность существования перколяционного кластера $R(p)$ увеличивается от нуля до почти единицы в интервале $p \propto L^{-1/\nu}$, причем производная dR/dp характеризует вероятность того, что перколяция впервые произойдет при вероятности p . Возле $p = p_c$ этот индикатор достигает максимального значения и, казалось бы, должен соответствовать гауссовскому распределению. Однако это не так, поскольку в критической точке связность становится сопоставимой с размерами системы. Это означает, что каждая часть системы оказывает влияние на всю систему, т.е. «все зависит от всего» – все элементы системы взаимосвязаны. Таким образом, как показано в [52], условия центральной предельной теоремы не выполняются и распределение состояний системы не является гауссовским. В предлагаемой модели взаимосвязи инвесторов, представленных геометрически ячейками большой сети, формируют микрососновы процесса расширения финансового пузыря. Поэтому данный результат теории перколяции – ключевое звено унифицированного объяснения причин провалов и потерь в функционировании конкурентного рынка. В следующей статье они будут детально рассмотрены в рамках перколяционной модели финансового пузыря.

* *
*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рикардо Д. Опыт о системе фундированных государственных займов. Соч. Т. 2. М.: Госполитиздат, 1941.
2. Смирнов А.Д. Внешний долг и хаос: модель российского опыта конца 90-х годов // Доклад на 5-ой Международной конференции «Модернизация экономики России». М., 2004.
3. Смирнов А.Д. Монетизация государственного долга. М.: ГУ ВШЭ, 2005.
4. Смирнов А.Д. Монетизация глобального долга: погашение или кризис // Экономический журнал ВШЭ. 2007. Т. 11. № 4.
5. Смирнов А.Д. Кредитный кризис и перколяция финансового рынка // Вопросы экономики. 2008. № 10.
6. Adrian T., Shin H.S. Liquidity and Financial Contagion // Financial Stability Review. 2008. № 11. Banque de France.
7. Akerlof G., Shiller R. Animal Spirits, etc. Princeton: Princeton University Press, 2009.
8. Ball P. Critical Mass. L.: Arrow Books, 2004.
9. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-Organized Criticality // Physical Review A. 1988. 38. P. 364.
10. Blanchard O., Watson M. Bubbles, Rational Expectations and Speculative Markets // Campbell J., Lo A., MacKinlay C. The Econometrics of Financial Markets. Princeton: Princeton University Press, 1997.
11. Blume L.E., Durlauf S.N. (eds.) The Economy as an Evolving Complex System III, Oxford University Press, 2005.
12. Bank for International Settlement. 79th Annual Report. Basel, 2009.
13. Blake D. Financial Market Analysis. L.: McGraw Hill Book Company, 2000.
14. Bloomberg. 2009. April 21. IMF Says Global Losses from Credit Crisis May Hit \$ 4.1 Trillion.
15. Bunde A., Kantelhardt J. Diffusion and Conduction in Percolation // Diffusion in Condensed Matters. Berlin/Heidelberg: Springer, 2005.
16. Campbell J., Lo A., MacKinlay C. The Econometrics of Financial Markets. Princeton: Princeton University Press, 1997.
17. The Economist (July 18th–24th, 2009) What Went Wrong with Economics. L., 2009.
18. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009.
19. Financial Times. 2010. June 2. Buffett Bats off Criticism of Moody's.
20. Ghosh A., Ostry J., Tamirisa N. Anticipating the Next Crisis // Finance and Development. 2009. September. Washington.
21. Greenlaw D., Hatzius J., Kashyap A., Shin H.S. Leveraged Losses: Lessons from the Mortgage Market Meltdown. US Monetary Policy Forum Conference. February, 2008.
22. Hayford M., Malliaris A.G. Monetary Policy and the U.S. Stock Market // Economic Enquiry. 2004. Vol. 42. № 3. P. 387–401.
23. Hsieh D. Chaos and Nonlinear Dynamics // The Journal of Finance. 1991. Vol. 16. № 5.
24. International Monetary Fund. Global Financial Stability Report. Washington, October 2009.
25. International Banking and Financial Markets Development // BIS Quarterly Review. December 2008. Basel.
26. Jorgensen D. Capital Theory and Investment Behavior // American Economic Review. 1963. Vol. 53. P. 247–257.

27. *Kasapis A.* Mastering Credit Derivatives. 2nd ed. L.: Prentice Hall, 2008.
28. *Kesten H.* What is Percolation // Notices to AMS. 2006. Vol. 53. № 5.
29. *Keynes J.M.* The General Theory of Employment, Interest and Money. N.Y.: Harcourt-Brace, 1936.
30. *Kindleberger C.P.* Manias, Panics and Crashes: A History of Financial Crises. N.Y.: J. Wiley, 2000.
31. *Krugman P.* The Return of Depression Economics. L.: Penguin Books, 2008.
32. *Lee S.* Auction-Rate Securities: Bidder Remorse. NERA Economic Consulting, 2008.
33. *Lucas R.* Macroeconomic Priorities // American Economic Review. 2003. Vol. 93. Iss. № 1.
34. *Lux T., Sornette D.* On Rational Speculative Bubbles and Fat Tails // Journal of Money, Credit and Banking. 2002. Vol. 34. № 3. P. 589–610.
35. *Lux T.* Financial Power Laws: Empirical Evidence, Models, and Mechanism // Power Laws in Social Sciences / C. Cioffi (ed.) Cambridge University Press, 2006.
36. *Mandelbrot B., Hudson R.* The (mis)Behaviour of Markets. A Fractal View of Risk, Ruin and Reward. L.: Profile Books, 2005.
37. *Mantegna R., Stanley H.E.* An Introduction to Econophysics. Cambridge University Press, 2000.
38. *Marschinski R., Matassini L.* Financial Markets as a Complex System: A Short Time Scale Perspective // Deutsche Bank Research. 2001. Nov. 09.
39. *Newman M.J.E.* Power Laws, Pareto Distributions and Zipf's Law. arXiv: cond-math/0412004 v3 29 May 2006.
40. *Newman W.I., Turkotte D.L.* A Simple Model for the Earthquake Cycle Combining Self-organized Complexity with Critical Point Behavior // Nonlinear Processes in Geophysics. 2002. № 9. P. 453–461.
41. *Rubinstein A.* Modeling Bounded Rationality. MIT Press, 1998.
42. *Sahimi M.* Percolation Phase Transition // Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009.
43. *Shiller R.* Irrational Exuberance. Princeton: Princeton University Press, 2000.
44. *Shin H.S.* Financial Intermediation and the Post-Crisis Financial System: BIS Working Papers. March. Basel, 2010.
45. *Simon H.* Bounded Rationality and Organizational Learning // Organization Science. 1991. 2(1). P. 125–134.
46. *Sornette D.* Critical Market Crashes. arXiv: cond-math/0301543 v1 28 Jan 2003.
47. *Sornette D.* A Complex System View of Why Stock Market Crash // New Thesis. 2004. Vol. 01 (1). P. 5–17.
48. *Soros G.* The Crisis of Global Capitalism, Open Society Endangered. L.: Little, Brown and Company, 1998. P. 41–42.
49. *Soros G.* America Must Face up to the Dangers of Derivatives // Financial Times. 2010. Friday. April 23.
50. *Stanley H.E., Gopikrishnan P., Plerou V., Salinger M.A.* Patterns and Correlations in Economic Phenomena Uncovered Using Concepts of Statistical Physics // Lecture Notes in Physics (Series). Vol. 621/2003. Berlin/Heidelberg: Springer, 2003.
51. *Stauffer D.* Classical Percolation // Lecture Notes in Physics (Series). Vol. 762. 2009. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009.
52. *Stauffer D.* Percolation Models of Financial Market Dynamics // Schweitzer F. (ed.) Modeling Complexity in Economic and Social Systems. World Scientific, River Edge, 2001.
53. *Systems Thinking* / ed. by F.E. Emery. Middlesex: Penguin Books, 1970.

54. Tobin J. Financial Innovations and Deregulation in Perspective // Bank of Japan Monetary Studies. 1985. Vol. 3. № 2. Tokio.
55. *Xenakis J.* A Primer on Financial Engineering and Structured Finance. 2008. (www.generationaldynamics.com/cgi-bin/DPL?d=ww2010.i.cd0080123)
56. *Von Peter G.* Debt-Deflation: Concepts and a Stylised Model: BIS Working Papers. 2005.
57. Wikipedia, the free encyclopedia. Collaterized Debt Obligations. 2010.
58. Wired Magazine. Recipe for Disaster: The Formula that Killed Wall Street. 2009. 23 Feb.
59. Wired Magazine. Road Map for Financial Recovery: Radical Transparency Now! 2009. 23 Feb.