

## **Кредитный «пузырь» и кризис: модель перколяции финансового рынка**

Простая стохастическая модель воспроизводит динамику кредитного «пузыря», возникшего вследствие беспрецедентного накопления ликвидности в глобальном масштабе. Избыточная ликвидность способствует образованию кластеров взаимодействующих покупателей долговых инструментов и формирует массовую практику погашения задолженности новыми долговыми обязательствами. Эта практика, характерная для современной финансовой системы, усиливает положительные обратные связи на финансовом рынке, ускоряя рост стоимости глобального долга. При критическом значении объема ликвидности происходит перерождение рынка, или, формально, появляется перколяционный кластер покупателей долга. Это явление - симптом неизбежности кредитного кризиса, поскольку конечный объем ликвидности не может монетизировать сколь угодно большие размеры задолженности. Оно моделируется нелинейным дифференциальным уравнением, имеющим сингулярную точку. Модель показывает, как движущие силы кредитного кризиса 2007-08 гг - секьюритизация активов и финансовые нововведения - способны привести глобальные финансы к катастрофе. Условная вероятность подобного развития событий оказывается равной 27 процентам.

Предметом данной статьи является моделирование процесса формирования кредитного «пузыря» (credit bubble), обусловленного ростом объемов ликвидности. Как и стандартные «пузыри», возникающие на фондовом рынке, огромный рост задолженности закончился, в очередной раз, кредитным кризисом (credit crunch). Спазматические сокращения объемов задолженности на различных сегментах финансового рынка достигли к маю 2008 года примерно 335 миллиардов долларов [7], и продолжаются около года, причем в формах совершенно не характерных для предшествующих кризисов ликвидности. Нынешний кризис растянут во времени, абсолютно непрозрачен и «блуждает» с высокой неопределенностью по различным сегментам финансового рынка, эпизодически сотрясая фондовые индексы. Даже спустя год, эксперты весьма осторожны в предсказании времени окончания кризиса и оценки масштабов интегральных потерь, которые оцениваются МВФ в один триллион долларов [15]. Вместе с тем, уже сейчас очевидно, что повышение требований к качеству кредитов, достигаемое в значительной мере устранением эксцессов в использовании сложных структурированных финансовых инструментов (CDO и CDS, прежде всего), улучшило возможности финансовой системы монетизировать и погашать долги. Несмотря на мрачные предсказания, коррекция дисбалансов на различных сегментах финансового рынка, хотя и порождает значительные финансовые риски и потери, но протекает, в целом, с минимальными последствиями для реальной экономики. Кризис показал, что, по крайней мере, в современных условиях система глобальных финансов в целом достаточно прочна и способна противостоять дестабилизирующим воздействиям.

Между тем, в контексте взаимодействия реального и финансового рынков, кредитный кризис 2007-08 гг предстает как симптом явления более общей природы. Увеличение глобальной задолженности объективно ускоряется благодаря эволюции мировой финансовой системы в направлении устранения финансового посредничества (desintermediation). Мощный импульс этим процессам дан секьюритизацией активов, вовлекающей в орбиту финансовых отношений новые ресурсы, а также производными инструментами, многократно увеличивающими размеры вмененного (notional) долга. Совпадение за последние примерно десять-пятнадцать лет процессов секьюритизации активов и формирования избыточной ликвидности резко ускорило раздувание долгового «пузыря» в глобальном масштабе.

---

<sup>1</sup> Смирнов Александр Дмитриевич – заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор экономических наук, действительный член Российской академии естественных наук, ГУ - ВШЭ.

Модель такого сценария, основанная на аналогии процессов перколяции и дестабилизации рынка из-за усиления положительной обратной связи в поведении его участников, предлагается в данной статье. Она является уточнением и конкретизацией предыдущей работы автора по той же проблеме [3]. Выбор глобального рынка как основного объекта анализа определяется двумя обстоятельствами. Во-первых, кредитный кризис носит общемировой характер, затрагивая, хотя и в различной степени, многие регионы и сегменты финансового рынка. Во-вторых, используемые в модели константы перколяции применимы к системам большой (теоретически бесконечной) размерности, а этим требованиям удовлетворяет именно глобальный рынок.

### **Избыточная ликвидность и долговой пузырь**

Избыточная денежная масса, неизбежно принимающая форму облегченного кредитования, – не просто аномалия глобального рынка, но один из важнейших факторов увеличения непродуктивного спроса на финансовые активы и возрастания их стоимости. Широкое распространение структурированных финансовых инструментов – современная практика возмещения долгов новыми обязательствами – предстает как прямое следствие этих процессов. Расширение объема сделок с активами такого типа предполагает повышение финансового рычага (leverage) и резкое возрастание торговли рисками. В подобных условиях дальнейшее ослабление зависимости между ликвидностью и долгами, уже подорванное отсутствием (золотого) стандарта стоимости, может эволюционировать по одному из двух возможных сценариев. С высокой вероятностью может состояться частичная коррекция на разных сегментах кредитного рынка, причем с относительно умеренными потерями. Хочется надеяться, что именно это явится окончательным завершением текущего кредитного кризиса. Однако, при определенных условиях, те же процессы могут приобрести сингулярный характер из-за невозможности полной монетизации мировой задолженности. Это равносильно коллапсу финансовой системы а, в неблагоприятных экономических условиях, чревато экономической катастрофой, и не только для развитых стран.

Эмиссия гигантских объемов денежной массы, по мнению многих экспертов, привела к ее избыточности и нарушила некогда стабильные причинно-следственные связи между деньгами и инфляцией [6,12]. Избыточная глобальная ликвидность (global excess liquidity), динамика которой за период 1992-2006 гг, по данным Английского банка[9], представлена на рис.1, в современных условиях порождает не высокую товарную инфляцию, а, в сочетании с процессами секьюритизации активов (asset securitization), ускорением формирования рынков финансовых производных инструментов (financial derivatives market) и расширением числа компаний непубличной собственности (private equity entities), беспрецедентно ускоряет рост стоимости финансовых активов.

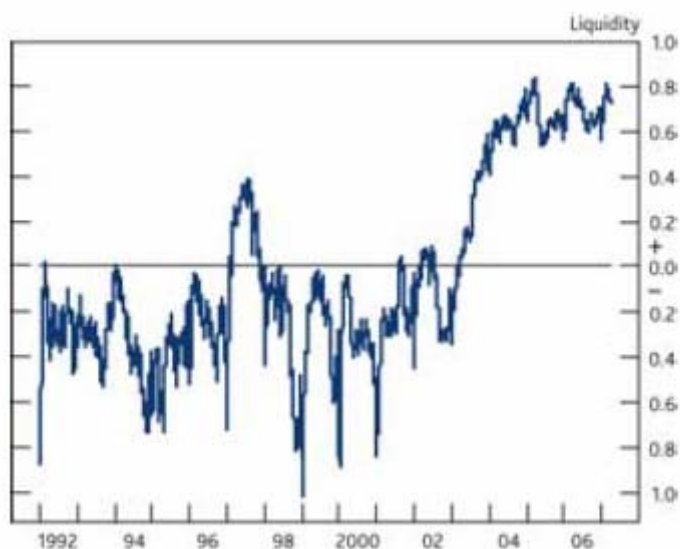


Рис. 1. Ликвидность мировых финансовых рынков, согласно [9].

Огромная денежная масса, не связанная обеспечением транзакций с потоками товаров, ресурсов и реальных активов, неизбежно устремляется в сферу финансов. В форме облегченного

кредитования, избыточная ликвидность способствовала необычайно широкому развитию «долговых выкупов» (leveraged buyout), причем не только общественных корпораций, но, особенно, в сегменте слияний и поглощений (mergers and acquisitions, M&A) с широким участием компаний непубличной собственности. Отсутствие объективной меры стоимости, например, золотого стандарта, существенно расширило доступность и снизило стоимость кредитов, что повлекло за собой беспрецедентный рост мировой задолженности. Общая величина только глобального секьютизированного долга оценивается в 84.4 триллионов долларов при 1.1 триллионов долларов заимствований только за 2005 год.

Избыточная глобальная ликвидность, как известно, понижая стоимость обслуживания долга для заемщиков, уменьшает барьеры доступности кредитов и увеличивает пределы задолженности. Этому активно способствуют процессы секьюритизации долга и развитие рынка финансовых производных инструментов, особенно характерные для экономики США. Современный рынок секьюритизированных активов (asset backed securities, ABS) включает самые разнообразные инструменты: от «займов, обеспеченных закладными» (mortgage backed securities, MBS), до различного вида «обеспеченных долговых обязательств» (collateralized debt obligations, CDO). Если первая продажа инструмента MBS была заключена Ginnie Mae<sup>2</sup> в 1970 году, то в 2005 году (по оценкам Bond Market Association) рынок структурированных финансовых продуктов (structured financial products) только в США превысил 8 триллионов долларов. Облегченное кредитование стимулировало рост долгового рынка, особенно ипотечных займов, объемы операций на котором раздулись в опасный пузырь, который начал лопаться в 2007-08 гг [13].

Кризис (credit crunch), начавшийся на сегменте ненадежных закладных займов (subprime loans meltdown), эпизодически снижая индексы фондового рынка, распространился на глобальные рынки слияний и поглощений, а затем на рынок коротких займов (money market), обрушив векселя, обеспеченные активами (asset backed commercial papers, ABCP). Основные фондовые площадки мира фиксировали самое значительное падение индексов с момента кризиса высокотехнологичных компаний в 2000-2001 гг (dotcom crisis). Большинство аналитиков согласны с тем, что особенность текущего кредитного кризиса состоит в массовом свертывании операций по физической секьюритизации (cash securitization) «долгов обеспеченных активами» (collateralized debt obligations, CDO), а провал сегмента ABCP явился, по сути дела, настоящей сенсацией.

Кредитный кризис 2007-08 гг не уменьшил денежную массу, обращающуюся на мировых рынках, но, укрепив стандарты кредитования и устранив наиболее одиозные последствия избыточной ликвидности, способствовал ее перемещению на другие сегменты, где использование этого ресурса будет носить более производительный характер. Вместе с тем, движущие силы спазматического сокращения кредита – секьюритизация активов и финансовые производные – убедительно продемонстрировали сингулярный характер процессов роста стоимости мировой задолженности.

### **Общая характеристика модели**

Давно известно, что финансовые и экономические рынки демонстрируют свойства сложных систем. Они представляют открытые системы, элементы которых взаимодействуют в условиях нелинейности и сильных обратных связей, а поведение, как правило, существенно различается в зависимости от масштаба (scaling). Уравнения микроструктуры рынков получить довольно трудно, поэтому концепции статистической физики, разработанные для анализа и моделирования фазовых переходов и нелинейной (стохастической или хаотической) динамики, весьма полезны в изучении поведения экономических систем без их детального микроскопического описания. Так, *Д. Штауфер, Д. Сорнет, Р. Конт, Ж. Бушад* и другие, исследовали поведение инвесторов на финансовом рынке на основе модели Изинга – хорошо изученной модели статистической механики [23]. Накопление грандиозных массивов высокочастотных данных способствовало широкому применению в финансах методов эмпирического тестирования концепций теории перколяции (percolation), в том числе универсальности и самоподобия, стохастических степенных законов (power laws), корреляционной связности (connectedness) [21].

Модели перколяции подтверждают, что на финансовых рынках (системы высокой размерности) в критической точке могут формироваться фракталы, что является признаком

---

<sup>2</sup> Под этим именем известно правительственное агентство (Government National Mortgage Association, GNMA), которое гарантирует платежи по займам, обеспеченным закладными.

подобия системы и элемента. Например, гетерогенный рынок покупателей и продавцов может перестроиться в однородный рынок продавцов, причем вероятностные распределения его многих характеристик становятся степенными<sup>3</sup>. Фрактальные свойства динамики финансовых рынков были обнаружены на интуитивном уровне, еще в 50-е годы прошлого столетия. Так, *Д. Дюран* (D. Dugand) предложил модель стоимости акции быстрорастущей компании, имеющую структуру Петербургского парадокса – пожалуй, старейшего из известных логических фракталов [24].

В окрестности критической точки поведение системы сингулярно, поэтому исследование кредитных циклов включает изучение механизмов дестабилизации рынков. С этими явлениями финансы встречаются особенно часто: развивающиеся и лопающиеся финансовые пузыри и кризисы, гиперинфляция, эпидемии банковской паники. Акцент на изучении перестройки структуры рынков, как основной причине кризисов, пробудил интерес экономистов к теории «долговой дефляции» (debt deflation theory). Впервые идея дефляционного коллапса была высказана *И. Фишером* (I. Fisher) еще в 1933 году, но долгое время игнорировалась экономической наукой [7]. В 70-80 годах прошлого века эта концепция была существенно развита американским экономистом *Х. Минским* (H. Minsky). Он, в частности, исследовал условия, возникающие в процессе совместного функционирования финансового и реального рынков, и приводящие к дестабилизации процесса погашения долгов и дефляции [20]. *Б. Бернанке* (B. Bernanke) конкретизировал эту методологию применительно к эволюции банковской системы [5].

Предложенная в [3] модель концептуально лежит в русле общей теории «дефляционного долга» *Фишера-Минского-Бернанке*. В модели сингулярность финансовой системы возникает вследствие накопления ликвидности в глобальных масштабах, что, при определенных условиях, может способствовать перерождению и коллапсу системы «нормальной» монетизации долга.

В «нормальном» режиме погашение долга обеспечивается механизмом координации поведения основных участников рынка: эмитентов долгов (правительств разных стран), покупателей долга (частных инвесторов) и эмитентов ликвидности (центральных банков). Финансовый рынок – гетерогенный, на котором число покупателей примерно совпадает с числом продавцов, объемы спроса на активы примерно равны объемам предложения, а рынок «широкий» и «глубокий» в общепринятом смысле. «Нормальность» рынка отнюдь не универсальная характеристика – она диктуется объемами ликвидности. Избыточная ликвидность провоцирует перестройку микроорганизации финансового рынка, на котором начинают формироваться растущие кластеры покупателей долга. Формируется гомогенный рынок покупателей долга, на котором доминируют стратегии «подражания» (herding), «животных инстинктов» (animal spirit) или «иррационального возбуждения» (irrational exuberance) [22]. Запускается механизм, который переключает совокупный спрос с денег на долги и обеспечивает ускоренный, в сравнении с объемами глобальной ликвидности, рост стоимости заимствований.

Переход системы в режим «избыточной ликвидности» усиливает положительные обратные связи во взаимодействии инвесторов, особенно, по мере приближения объема ликвидности к своему критическому значению. Этот процесс моделируется как «спекуляция» и «предприимчивость» по терминологии *Дж. М. Кейнса* [17]. Перестройка микроорганизации финансового рынка приводит к появлению доминирующего кластера покупателей долга, имеющего фрактальную размерность, что вполне аналогично процессам перколяции. Критический объем ликвидности генерирует монетизацию сколь угодно больших объемов заимствований, что разрушает связи между ликвидностью и долгами, а в условиях секьюритизации активов может привести систему заимствований к коллапсу. В критической точке вырождение рынка денег и долгов происходит в силу того, что конечные объемы ликвидности не могут монетизировать сколь угодно большие размеры задолженности. Использование методов перколяции для ячеистых сетей (2D site lattice) дает возможность простыми средствами исследовать механизмы этого процесса и вычислить ряд параметров современной финансовой системы.

## Перестройка глобального рынка

---

<sup>3</sup> Существуют многие экономические процессы, например, формирования богатства, доходов, или распределения размеров предприятий, которые следуют степенным законам, или распределениям *Парето* [21]. Они, разумеется, исследуются вне связи с явлениями перколяции.

Объем ликвидности, обеспечивающий полное погашение долга, является «наилучшим» для системы, поскольку его превышение влечет качественные изменения процессов, происходящих на финансовых рынках [2]. Когда центральные банки накачивают в экономику «деньги повышенной мощности», которые мультиплицируются в избыточные объемы глобальной ликвидности, то смысл самого понятия ликвидности существенно меняется. Если ликвидность избыточна, то их конвертация в товары или активы осуществляется медленнее, с ограничениями и дополнительными издержками. Избыточность ликвидности говорит о том, что от денег трудно избавиться. «Вязкая», если так можно выразиться, ликвидность – это уже не вполне ликвидность, поскольку механизм обмена начинает давать сбой, подобно двигателю, в котором загустевает смазка<sup>4</sup>. «Вязкость» рынка в таком понимании идентична снижению покупательной способности денег - явлению, достаточно хорошо изученному в аспекте «высокой» инфляции и гиперинфляции. Отличие современной экономики состоит, однако, в том, что избыточная глобальная ликвидность не трансформируется в рост товарных цен.

В теории систем повышение «вязкости» среды моделируется через редукцию дифференциального уравнения второго порядка, которое определяет поведение системы. Экономически редукция этого уравнения возможна, если учесть изменение влияния избыточной ликвидности на формирование стоимости новых заимствований. Для «нормального» режима параметр «удобства» денег положителен и меньше безрисковой ставки процента:  $0 < \delta < r$ . Увеличение эмиссии ликвидности усиливает ее избыточность и, тем самым «вязкость» платежной системы. Это отражается на величине параметра  $\delta$  - удобства, которые приносят деньги в силу их ликвидности для своего владельца. В нормальных условиях величина этого параметра положительна, и примерно соответствует размерам купонных выплат. Однако рост «вязкости» уменьшает покупательную способность денег и, тем самым, их удобство для инвесторов. Параметр  $\delta$  становится отрицательной величиной, когда от денег крайне трудно, или невозможно, избавиться.

В режиме «вязкой» или избыточной ликвидности система

$$\frac{df}{ds} = f(s_t), \quad (1)$$

есть стандартное представление *финансового пузыря* (financial bubble), который в данной модели есть перманентный рост стоимости долга<sup>5</sup>. Для «нормального» финансового рынка номинал долга (face value) естественно полагать фиксированным, однако, в условиях избыточной ликвидности - это не так. Массовое распространение практики погашения долгов новыми заимствованиями и, особенно, появление инструментов типа CDS (credit default swaps), в которых «вмененный» долг может быть произвольно большим, не ставит ограничений в отношении существования долговых пузырей. В современных условиях долговой, или кредитный, пузырь возникает и «раздувается» именно благодаря широкому применению секьюритизированных активов и финансовых производных.

Однородное уравнение (1), связывая скорость роста и уровень стоимости новых заимствований, характеризует основную особенность качественной перестройки финансового рынка, а именно, массовый переход к погашению долгов посредством новых заимствований. Этот процесс является экономическим содержанием усиления положительных обратных связей, раздувающих долговой пузырь. Подобное возможно и в «нормальном» режиме функционирования финансового рынка, но как аномалия, которая отмечалась еще классиками. Достаточно напомнить известную цитату из выступления в британском парламенте некоего *Гескиссона*, которая принадлежит *Д. Рикардо*. Этот парламентарий утверждал, что «в основе предположения, что старый долг оплачен, лежит то обстоятельство, что мы заключили новый заем, на гораздо большую сумму...» [1, с.235].

Механизм формирования избыточной ликвидности отличается от стандартного пузыря принципиально, поскольку неограниченный рост стоимости новых заимствований происходит при конечном количестве денег. Именно это происходит, когда должник получает право погашать займы выпуском новых долговых обязательств. Например, в начале двухтысячных годов в США

<sup>4</sup> Для характеристики финансового рынка часто используются понятия, заимствованные из естественных наук, типа «емкости» (volume), «ширины» (breadth) и «глубины» (depth), в ряду которых понятие «вязкости» (viscosity) представляется вполне уместным.

<sup>5</sup> Гипотеза «эффektивного» рынка исключает рациональные пузыри, а долговые пузыри невозможны, по определению.

получили широкое распространение payment-in-kind notes, займы, которые позволяют должнику увеличивать номинал долга, если текущий платеж не производится. Совершенно анекдотическими являются, например, «ниндзя займы» (No Income, No Job or Assets, NINJA Loans), т.е. займы людям, не имеющим доходов, работы или активов. Они, однако, охотно предоставлялись кредиторами, желающими получить доходы в условиях избыточной ликвидности. История воистину повторяется<sup>6</sup>, но первый раз – как фарс, а второй – как трагедия. Когда отмеченная Д.Рикардо аномалия, при некоторых условиях превращается в норму поведения инвесторов, то процесс монетизации долга неизбежно принимает сингулярный характер, что будет рассмотрено в дальнейшем.

В соответствии с (1) перманентный рост долгового пузыря поддерживается неограниченным увеличением объемов денежной массы. Это, однако, не соответствует действительности: в каждый момент времени эмиссия денег ограничена, а финансовый пузырь не может раздуться неопределенно долго. История финансовых пузырей свидетельствует о том, что завышение рынком стоимости активов всегда заканчивалось финансовым крахом. Используя формальный язык, финансовая система в некоторой критической точке вырождается. Между тем, уравнение (31) сингулярности не имеет, следовательно, моделью финансового кризиса быть не может. Объяснение процесса увеличения стоимости задолженности, заканчивающегося крахом системы, требует характеристики взаимодействия инвесторов преимущественно на вторичном рынке.

### Перколяция на финансовом рынке

Случайная динамика рынка может быть представлена как *двумерная модель перколяции* (2D percolation model). Перколяция<sup>7</sup>, в современной интерпретации этого термина, есть теория, которая использует аналогии между процессами фазовых переходов и формирования кластеров ячеек сети для изучения качественных изменений в поведении системы [16]. Такие изменения происходят из-за появления корреляционных связей большой длины (connectedness) между ячейками сети вблизи критической точки. Перколяционные модели широко применяются в естественных науках, занимая видное место в аналитическом инструментарии «эконофизики»<sup>8</sup>.

Методология перколяции используется для объяснения процессов формирования кластеров покупателей долга, которые происходят под влиянием накопления ликвидности. Феномен перколяции на финансовом рынке есть увеличение кластера покупателей долга до размеров, сопоставимых с размерами системы. Система становится самоподобной, а ее размерность – фрактальной. На финансовом рынке начинает доминировать кластер покупателей долга, что влечет сингулярность системы. Исследование кредитного пузыря в модели сводится к определению точки, в которой происходят необратимые качественные изменения структуры рынка (перколяция системы), за которыми неизбежно последует собственно кризис ликвидности. Строго говоря, «созревший» кредитный пузырь - не кризис, но кризис неизбежно наступает вследствие необратимых изменений структуры рынка.

На стохастическом рынке долга формирование кластеров ячеек на сети линейного размера  $L$ ,  $L \times L = N$  происходит в результате взаимодействия частных инвесторов. Для каждого уровня априорной вероятности,  $p$ , характеризующей состояние рынка, последовательно рассматриваются ячейки  $f_i, i \in N$ , которые случайным образом принимают одно из двух состояний:

$$f_i = \begin{cases} +1, & p_i < p, \\ 0, & p_i \geq p. \end{cases} \quad (2)$$

В модели принимается, что если ячейка находится в состоянии (+1), то инвестор  $f_i$  занимает длинную позицию, т.е. входит в некоторый кластер покупателей долга. Длинная позиция инвестора может объясняться его предпочтениями: избыточной ликвидностью, либо наличием недооцененного актива. Если ячейка принимает состояние (0), то ассоциированный с ней инвестор

<sup>6</sup> «История повторяется дважды: первый раз – как трагедия, а второй – как фарс» (Публий Овидий Назон).

<sup>7</sup> На латинском языке colare - поток, а per – через, сквозь.

<sup>8</sup> В естественных науках эта модель широко используется как модель процессов самой различной природы: землетрясений, формирования снежных лавин, распространения лесных пожаров, эпидемий и т.д.

покупает и продает долги, не демонстрируя явно выраженных предпочтений, следовательно, в кластер не входит. Формально кластеры определяются как совокупность ячеек, находящихся в состоянии (+1) и имеющих общее ребро, а их численные характеристики подсчитываются по алгоритму Хошена-Копелмана (Hoshen-Kopelman). Число и размеры кластеров (конфигурация сети) зависят от величины априорной вероятности, а динамика их формирования представляется последовательностью конфигураций сети, получаемых для разных уровней ликвидности (априорной вероятности) системы [10].

С помощью ресурса Интернета Percolation Applet автором был проведен ряд экспериментов на сети линейного размера  $L = 100$ , некоторые результаты которых приведены ниже. Для разных объемов ликвидности (значений априорной вероятности) на рис.5 представлены три типичные конфигурации.

Для объемов ликвидности,  $s < s_c$ , т.е. небольших, в сравнении с критическим объемом, рынок функционирует «нормально». Это означает, что число продавцов и покупателей активов, а также объемы их транзакций, примерно одинаковы, а поведение инвесторов имеет относительно низкую когерентность. Как правило, «нормальный» рынок – «глубокий» и «широкий», на котором размеры кластеров покупателей долга сравнительно малы. На рис. 6а видно, что в этом состоянии число светлых ячеек (продавцов долга) примерно равно числу темных ячеек (покупателей долга), а средний размер кластеров покупателей долга  $\langle f \rangle$  конечен и сравнительно невелик. Это говорит о гетерогенности финансового рынка в том смысле, что предпочтения инвесторов разделены и симметричны, а число покупателей примерно равно числу продавцов. Для таких объемов ликвидности размеры кластеров покупателей долга не зависят от размеров рынка в целом.

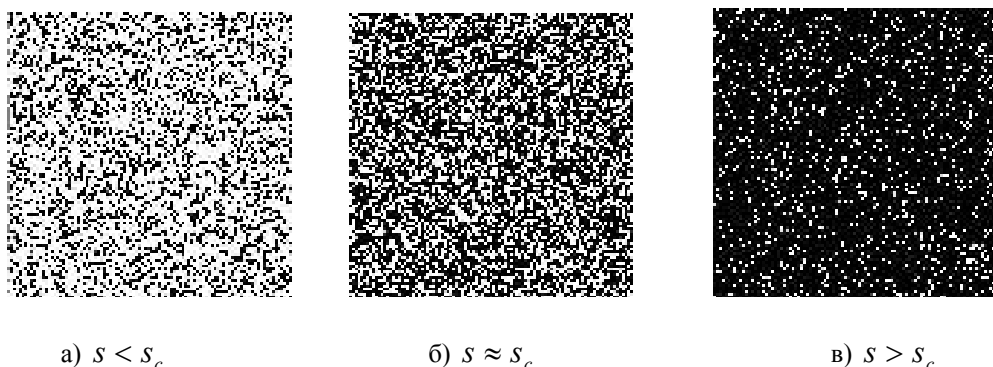


Рис.2. Конфигурации сети участников рынка размера  $L = 100$  для разных объемов ликвидности.

Увеличение ликвидности усиливает когерентность поведения участников рынка, поскольку, когда денег становится больше, то растет число покупателей долга, соответственно, продавцов денег. Таким образом, рост объемов ликвидности влечет за собой увеличение числа и среднего размера  $\langle f \rangle$  кластеров покупателей долга. На рис. 6б представлена конфигурация системы для объемов ликвидности, близких к критическому уровню,  $s \approx s_c$ .

В данном состоянии общее число продавцов долга по-прежнему примерно равно числу покупателей, но последние организованы в единый кластер (ячейки темного цвета), который имеет максимальную размерность, сопоставимую с размерами всего рынка. Это характеризует явление *перколяции системы*, которое знаменует необратимое изменение рынка, ведущее к неизбежному кризису. Перколяция, которая происходит в критической точке,  $s \approx s_c$ , означает появление на рынке кластера покупателей долга, размер которого сопоставим с размерами системы. Геометрически кластер покупателей расположен, например, от верхней до нижней границы сети<sup>9</sup>. Перколяция финансового рынка означает радикальное изменение его свойств, поскольку на рынке начинают доминировать когерентные действия покупателей долга (инстинкт толпы). Размер максимального кластера определяется «корреляционной связностью» системы, т.е. степенью взаимного влияния покупателей долга, не нарушенного собственными предпочтениями

<sup>9</sup> Определение перколяционного кластера для систем конечной размерности является предметом специального соглашения.

участников данного кластера. Вместе с тем, организация максимального (spanning) или перколяционного, кластера довольно рыхлая. Перколяционный кластер, как видно на рис. 5.б), имеет нерегулярную форму с «дырами», а, кроме того, на сети различимы многие независимые кластеры покупателей долга меньшей размерности.

Наконец, на рис. 6в воспроизводится конфигурация вторичного рынка долгов для объемов ликвидности, превышающих критический уровень,  $s > s_c$ . В этом состоянии когерентность поведения участников рынка настолько велика, что практически все становятся покупателями долга. В этом состоянии рынка только очень малое число участников рынка продает долги и образует отдельные кластеры (светлого цвета). Однако все постоянно и неопределенно долго покупать не могут. Осознание этого факта приводит к массовой смене позиций участниками рынка с длинной на короткую<sup>10</sup>. Рынок покупателей превращается в рынок продавцов, что и означает наступление кризиса ликвидности, происходящее на «закритической» стадии лопания «финансового пузыря».

### Обратные связи и сингулярность финансового рынка

Важнейшим преимуществом, которое дает использование теории перколяции, - это возможность использования результатов, полученных в исследовании систем совершенно другой природы. Поскольку эксперименты в финансах чрезвычайно опасны, то теория перколяции предлагает ряд «универсальных констант», или «критических экспонент» (critical exponent), полученных в результате огромного числа экспериментов с фазовыми переходами различных систем [10]. В нашей модели эти константы используются непосредственно, но, вообще говоря, этому должны предшествовать специальные исследования.

Модель перколяции утверждает, что для малой окрестности критического значения эмиссии ликвидности  $s = s_c$ , распределение средних размеров кластеров следует степенному закону:

$$\langle f \rangle \propto |s - s_c|^{-\gamma}, \quad (3)$$

где  $\gamma = 43/18$  - одна из критических экспонент перколяции для ячеистой плоской сети [37]. Как следует из (3), в окрестности критической точки конечный объем ликвидности способствует формированию кластера покупателей долга сколь угодно большой размерности. Это, в свою очередь, увеличивает (теоретически - до бесконечных размеров) спрос на активы, стоимость которых взлетает до небес. Иными словами, конечные объемы ликвидности должны монетизировать сколь угодно большие объемы задолженности. Динамика среднего размера кластеров и перколяция глобального финансового рынка в точке  $p = 0.59$  представлены на рис.7.

Инвариантность масштаба, свойственная степенному распределению, характеризует перколяционный кластер как фрактал, размерность которого для ячеистой плоской сети, как известно, равна  $d = 0.189 \pm 0.03$ . Фрактальный характер перколяционного кластера отражает «эффекты толпы» на финансовом рынке, происходящие под воздействием увеличения объема ликвидности [19]. В окрестности критической точки функция связности  $\xi(p)$  ведет себя сообразно степенному закону

$$\xi(p) \propto |s - s_c|^{-\nu}, \quad (4)$$

где  $\nu = 4/3$  - одна из критических экспонент.

Корреляционная связность перколяционного кластера и его средний размер для степенного распределения кластеров в критической точке становятся теоретически бесконечными, хотя в реальных конечных системах они ограничены размерами всего накопленного долга. В критической точке элемент системы (перколяционный кластер) становится вполне сопоставимым с системой в целом

<sup>10</sup> «Теория еще большего дурака» (the greater fool theory), хорошо известная в финансах, представляется вполне убедительным объяснением данного процесса.



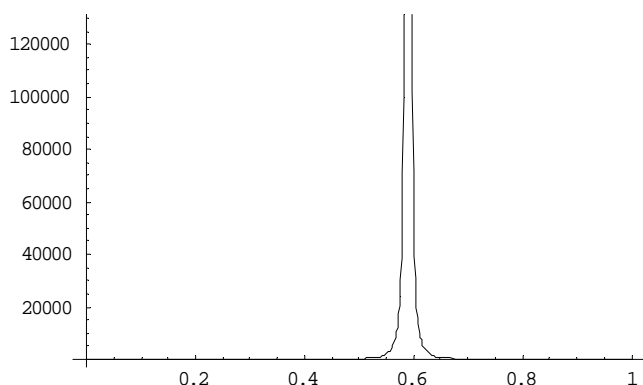


Рис. 3. Перколяция глобальной системы «деньги-долг».

Экономическая интерпретация изменений микроструктуры финансового рынка вполне соответствует характеристике, данной Дж. М. Кейнсом процессам «спекуляции» и «предприимчивости» инвесторов [17]. Под термином «спекуляция» (speculation) он понимал аспект поведения инвесторов, который заключается в предвидении действий других участников рынка. С другой стороны, инвесторы заняты постоянным поиском активов, имеющих наивысшую стоимость для владельца, или максимальную доходность для покупателей. Этот аспект поведения инвесторов Кейнс характеризовал термином «предприимчивость» (enterprise)<sup>11</sup>. Спекуляция и предприимчивость на финансовом рынке - сопряженные понятия, поскольку изменение цен активов когерентно формированию кластеров покупателей долга.

Перестройка микроорганизации рынка, ведущая к перколяции, позволяет составить уравнение «спекуляции», которое характеризует динамику среднего размера кластеров  $\langle f \rangle$  покупателей долга. По мере приближения эмиссии ликвидности к критическому уровню размеры конечных кластеров увеличиваются. С учетом этого, дифференцируя равенство (3) по переменной ликвидности, получаем:

$$\frac{d\langle f \rangle}{ds} = (-\gamma)|s - s_c|^{-\gamma-1} \frac{d}{ds}|s - s_c| = \gamma \langle f \rangle^{\frac{1}{\gamma}} \langle f \rangle \propto \langle f \rangle^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}, \text{ для } s < s_c.$$

Это приводит к нелинейному дифференциальному уравнению для среднего размера кластеров:

$$\frac{d\langle f \rangle}{ds} = \langle f \rangle^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  - критическая экспонента перколяции. По мере формирования кластеров покупателей долга изменяется стоимость новых заимствований: чем больше покупателей, и чем более согласованно они действуют, тем выше спрос на активы, следовательно, выше их стоимость. Динамика стоимости новых заимствований не является линейным процессом, поскольку избыточность ликвидности влечет качественные изменения микроструктуры рынка. Пожалуй, самой простой моделью нелинейности является дифференциальное уравнение «предприимчивости», по сути, совпадающее с уравнением «спекуляции»:

$$\frac{df}{ds} = f^a(s); \quad a > 1, \quad (6)$$

где параметр  $a > 1$  характеризует меру влияния стоимости новых долгов на скорость их роста. Из аналогии процессов формирования кластеров покупателей долга и возрастания стоимости новых заимствований следует равенство соответствующих параметров в правых частях уравнений (5) и (6), которые измеряют скорости изменения состояний. Это значит, что в результате взаимодействия каждого участника кластера примерно с двумя другими средний размер кластера покупателей растет, что через параметр  $a = 1.42$  влияет на рост стоимости новых заимствований.

Нелинейное уравнение (6), как известно, редуцируется к линейному уравнению, что позволяет вычислить критический объем эмиссии ликвидности:

<sup>11</sup> Не смешивать с термином «предпринимательство» (entrepreneurship), который обычно используется в широком социально-экономическом контексте.

$$s_c = \frac{1}{n-1} f(0)^{-(a-1)}, \quad (7)$$

и стоимость нового долга:

$$f(s) = f(0) \left[ 1 - \frac{s}{s_c} \right]^{-\frac{1}{a-1}}. \quad (8)$$

В критической точке  $s_c$ , как следует из (8), стоимость новых долгов становится сопоставимой с размерами всего долга, что может иметь место лишь для бесконечно высоких объемов заимствований. Но, когда размеры новых и существующих долгов неограничены, то реального обеспечения надежными активами система иметь не может, а деньги теряют свою ценность. Иными словами, монетизация конечными объемами ликвидности бесконечно высоких объемов задолженности эквивалентна коллапсу финансовой системы. Этот факт лишь маскируется конечностью всех реально существующих систем.

### Сценарий перерождения глобальных финансов

Согласно «пессимистическому» сценарию, избыточная глобальная ликвидность перетекает с товарного на финансовый сегмент рынка, что влечет ускоренный рост стоимости мировых заимствований. Коррекция финансового рынка, однако, не ограничивается его отдельными сегментами, как во время кредитного кризиса 2007-08 гг, а перерастает в глобальную финансовую катастрофу. Это – вполне возможное развитие событий, особенно если реальная экономика будет переживать трудности. Какова же вероятность развития событий в данном направлении?

В литературе термин «глобальная ликвидность» (global liquidity) является амбивалентным, а общепризнанного подхода к измерению глобальной ликвидности не существует. В данной работе мерой «глобальной ликвидности» является эмиссия мировой денежной базы, или «внешних» денег (global outside money). Объем «глобальной задолженности в режиме избыточной ликвидности измеряется объемом секьюритизированного долга (global securitized debt). Пожалуй, наиболее общее представление о структуре глобальной ликвидности, которое используется для параметризации модели, приводится в исследовании *Independent Strategy* [12]. «Внешние» деньги, или деньги повышенной мощности, которые создают центральные банки, образуют весьма небольшую часть, около 1 процента, как видно из объема глобальной ликвидности.

Параметризация предлагаемой модели проведена посредством достаточно простых расчетов по данным МВФ [13]. Объем мирового ВВП за 2005 год принят равным 61.1 триллиона долларов в пересчете на паритет покупательной способности валют, причем доля ВВП стран с развитой экономикой была равна 52.3 процента от этой величины. Поскольку денежная база, которая является одной из мер ликвидности, составляет 9% ВВП, то ее мировой объем оценивается величиной порядка 5.5 триллиона долларов. Проведенные расчеты дают две эмпирические величины необходимые для параметризации модели: объем эмиссии глобальной денежной базы,  $s = 0.61$  трлн долларов, а также стоимость глобального «нового долга»,  $f(s) = 1.1$  трлн долларов. Значение параметра  $f(0)$  оценивается в 0.62 триллиона долларов, а *критический объем* эмиссии глобальной ликвидности,  $s_c$ , составляет 2.91 триллиона долларов. Полученные численные характеристики позволяют рассчитать последовательность состояний системы глобальных финансов, которые представлены в таблице 1.

Как следует из этой таблицы, дрейф глобальной финансовой системы к критической точке происходит достаточно медленно. Опасения коллапса глобальной финансовой системы объясняются, прежде всего, неопределенностью темпов накопления избыточной ликвидности. Если произойдет ускорение этих темпов, то это резко усилит «гомогенизацию» мирового финансового рынка. Появление доминирующего (перколяционного) кластера глобальных покупателей долгов приведет к быстрому возрастанию размеров стоимости новых заимствований, что заметно на уровнях глобальной ликвидности, превышающих 2 триллиона долларов.

Состояние глобальных финансов (трлн ам. долларов) для  $a = 1.42$

Мировой объем секьюритизированного долга, $B(s)$	Параметр «нового долга», $f(0)$	Критический объем эмиссии денег «повышенной мощности», $s_c$	Объем эмиссии денег «повышенной мощности», $S$	Объемы стоимости «нового долга», $f(s)$	Относительная стоимость денег, $\frac{s}{f(s)}$	Пределы заимствований, $q = \frac{f(s)}{F}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
84.3	\$ 0.62	\$ 2.91	\$ 0.61	\$ 1.1	0.55	0.01
			\$ 1.22	\$ 2.24	0.55	0.03
			\$ 2.44	\$ 47.6	0.05	0.56
			\$ 2.54	\$ 84.1	0.03	1.02
			\$ 2.6	\$ 128.2	0.02	1.52

Грубые оценки *вероятности глобального коллапса* могут быть получены, исходя из аналогии финансового рынка ячеистой сети размерности 2D (2D site lattice). Поскольку мировые финансы являются очень большой системой, то перколяция, или начало необратимых изменений на рынке, наступает для объема глобальной ликвидности в 2.91 трлн. долларов, соответственно, априорной вероятности  $p_c = 0.592$ . Согласно данным на 2005 год, это определяет текущее положение глобальной системы «деньги-долги» в 12 процентов на шкале априорных вероятностей.

Фактический объем эмиссии глобальной ликвидности за 2005 год, измеряемой деньгами повышенной мощности, составил около 21 процента от её критического уровня. Этому соответствует безусловная вероятность отсутствия перколяции («выживания» системы,  $R$ ) глобальных финансов в 79 процентов. Поскольку перколяции глобальных финансов в недалеком прошлом не было, то она может произойти в ближайшем будущем, причем с условной вероятностью

$$\frac{1-R}{R} = 0.266,$$

или примерно 27 процентов<sup>12</sup>. Учитывая, что параметры модели имеют размерность года, то данному значению вероятности соответствует период равный примерно четырем годам. Следовательно, *если тенденции в развитии мирохозяйственных связей сохранятся, то через четыре года следует ожидать серьезных потрясений на мировом финансовом, и, возможно, на реальном рынке*. Как было сказано, кризис 2007-08 гг укрепил стандарты кредитования, а значит снизил фактическую вероятность деградации кредитно-денежной системы что, однако, не отменяет необходимость серьезных реформ глобальных финансов [42].

### Модель и кредитный кризис 2007- 08 гг

Насколько механизм опережающего, по сравнению с увеличением ликвидности, возрастания стоимости долга согласуется с действительностью? По нашему мнению, в основе этого процесса лежит усиливающаяся секьюритизация активов, на потенциальную опасность которой указывает модель сингулярности. Как известно, в отличие от традиционного заимствования, этот способ финансирования хозяйственной деятельности состоит в продаже будущих потоков доходов, которые капитализируются и превращаются в высоколиквидные и, теоретически, достаточно надежные финансовые инструменты. Процесс секьюритизации активов достаточно сложен; он предполагает наличие масштабного и развитого рынка финансовых инструментов, особенно разнообразных долгосрочных займов, включая ипотечные, возможностей идентификации, ранжирования, агрегации (repackaging) и капитализации многих потоков будущих доходов. Продажа структурированных финансовых инструментов, типа CDO, теоретически

<sup>12</sup> Приведенные расчеты, предполагающие замену предельных величин на средние, носят, разумеется, сугубо ориентировочный характер, а оценки функций финансовой надежности и риска требуют более детальной информации о развитии данных процессов во времени.

диверсифицирует риски, распределяя их по многим участникам рынка, а синтетические CDO позволяют торговать рисками в чистом виде. Вместе с тем, секьюритизация не может устранить неопределенность потоков будущих платежей, следовательно, рискованность операций с этими инструментами, которая в некоторых условиях, может достичь опасных пределов. Вместе с тем, расширение масштабов кредитования усиливает долговую нагрузку (debt leverage) на финансовую систему, поскольку банковский капитал обслуживает существенно больший объем транзакций.

Увеличению чувствительности системы финансов к случайным колебаниям способствуют новые производные инструменты, самым распространенным среди которых стали свопы кредитного дефолта (credit default swap, CDS). Рынок этих продуктов по объемам «вмененного» долга обязательств (notional debt outstanding) достигает порядка 34 триллионов долларов, и все меньше связан с объемами исходных долгов. Именно эти инструменты в огромной степени определяют сингулярный характер современной кредитной системы.

Как известно, кредитный кризис 2007-08 гг все чаще именуют «первым кризисом секьюритизации». Это верно, но в полной мере применимо лишь к так называемой «физической секьюритизации (cash securitization), основанной на продаже (true sale) активов из исходного портфеля (reference portfolio). Большой масштаб сделок, огромные трудности оформления сделок, длительные сроки продажи действительно привели к провалу сделок на этом сегменте финансового рынка. Однако это не относится к синтетической секьюритизации, которая, по существу, представляет симбиоз CDO-CDS. Масштабы сделок с синтетическими инструментами такого типа неуклонно растут, особенно после распространения торговли на так называемые стандартизированные индексы свопов: CDX и iTraxx [11]. Характерная особенность этих индексов состоит в том, что они могут воспроизводить траншированную структуру нот (notes) обычного CDO – от привилегированных (senior, AAA rated), до наиболее рискованных (equity, not rated). Это делает рынок подобных инструментов чрезвычайно ликвидным, что принципиально отличает его от малоликвидного рынка «физической» секьюритизации. Существенным преимуществом синтетических сделок является простота и скорость их осуществления, а также предоставление возможности торговать рисками в «чистом виде», не прибегая к продаже активов.

Особенности синтетических CDO-CDS учитываются в модели через гиперактивность финансового рынка, поддерживаемую расширением торговли рисками и усилением «финансового рычага». Как было сказано выше, формирование перколяционного кластера происходит из-за усиления «корреляционной связности», которая является мерой взаимозависимости ячеек кластера. Эта мера вполне аналогична обычной статистической корреляции, которая используется для характеристики зависимости дефолтов различных финансовых активов. Увеличение корреляции по-разному влияет на стоимость различных траншей синтетического CDO, представленного, например, индексом iTraxx: стоимость рискованных траншей растет, а стоимость привилегированных снижается. Снижение вероятности дефолта делает инвестиции в эти ноты привлекательнее, а потому торговля рисками возрастает. Таким образом, формирование перколяционного кластера когерентно процессам усиления кластеризации дефолтов, что влечет резкое расширение торговли рисками в предкризисный период. Подобные явления были зарегистрированы за последние годы на финансовых рынках мира.

Следующим важным фактором кризиса, который находит свое отражение в модели, это – увеличение финансового рычага. В значительной мере это происходит из-за расширения торговли рискованными траншами, вложения в которые увеличивают «финансовый рычаг». Увеличение финансового рычага в модели отражено, в частности, данными, представленными в таблице 5. В шестом столбце таблицы приводится информация (обратное отношение) о росте «финансового рычага» - от 2 до 50, что происходит при эмиссии ликвидности<sup>13</sup>. Конечной величине эмиссии денег соответствует все большая стоимость новых долгов, что, как видно из таблицы, влечет падение покупательной способности денег, иначе - рост финансового рычага. Стоимость новых заимствований в пределе становится «бесконечно большой», но в терминах ликвидности богатство инвесторов приближается к нулю. Поскольку такой рынок существовать не может, то это является характеристикой коллапса финансовой системы.

Интересно, отметить, что американские исследователи Т.Адриан и С.Х. Шин в ряде работ [4], опубликованных в 2006-08 гг, указали на проциклический характер изменений «рычага» у инвестиционных банков и хедж-фондов, т.е. финансовых институтов в наибольшей степени вовлеченных в торговлю рисками и сложными структурированными инструментами. Это

<sup>13</sup> Зарегистрированы случаи, когда некоторые хедж-фонды использовали рычаг равный 500.

означает, что кредитный пузырь, раздувая стоимость активов, способствует росту задолженности, поскольку эта группа институциональных инвесторов, как правило, не уменьшает, а увеличивает размеры финансового рычага. Естественно, сокращение объемов кредитования мультиплицирует потери. Неудивительно, поэтому, что инвестиционные банки понесли наибольшие потери от кризиса, на сумму около 345 млрд долларов, а банки Bear Stearns (США), Northern Rock (Великобритания) и аффилированные с ИКВ (Германия) разорились.

## Заключение

В модели избыточная денежная масса побуждает инвесторов покупать активы, а превышение спроса над предложением ведет к росту стоимости новых заимствований. В основе этого лежит усиливающаяся активность инвесторов, их растущая информационная взаимозависимость и увеличение объемов транзакций. Растущий пузырь стоимости новых заимствований, однако, поддерживается сокращающимся притоком ликвидности. Многократно возрастающее «финансовое посредничество» через секьюритизацию активов обогащает инвесторов, но одновременно сокращает возможности реализовать богатство, когда рынок возвращается к «предпочтению ликвидности». Корреляционная связность инвесторов уменьшается, спрос на активы снижается и рынок приступает к болезненной коррекции. Таким образом, массированная продажа активов должниками (debt deflation), вызывающая падение их цен, есть следствие, а не причина, «грубой» коррекции рынка, имеющей масштабы коллапса. Причина краха системы кроется в резком усилении положительных обратных связей, вызванных когерентным поведением инвесторов, организованных в кластеры покупателей долга.

Гиперактивность финансового рынка, поддерживаемая синтетической секьюритизацией активов (synthetic CDO), вполне способна привести его к краху. Это может произойти, если центральные банки перестанут увеличивать ликвидность. Однако, как показывает развитие кредитного кризиса 2007-08 гг, центральные банки наращивать денежную базу продолжают в попытках «успокоить» рынок, несмотря на уменьшающиеся возможности регулировать ставки доходности и денежную массу в период рыночной коррекции. Между тем, невыполнение центральными банками функции «кредиторов последней инстанции» (lenders of the last resort) - неперемutable условие превращения возможности краха в действительность.

## Список литературы

1. Рикардо, Д., *Сочинения*, т.2, Госполитиздат, Москва, 1941.
2. Смирнов, А.Д. (2000), *Лекции по макроэкономическому моделированию*. Издательский Дом ГУ ВШЭ, Москва.
3. Смирнов, А.Д. (2007) Монетизация глобального долга: погашение или кризис, *Экономический журнал ВШЭ*, т.11, №4, Москва.
4. Adrian, T., Shin, H., S. (2008) Liquidity and financial contagion, Banque de France, *Financial Stability Review*, February.
5. Bernanke, B. (1983) Nonmonetary Effects of the Financial Crisis in Propagation of the Great Depression, *American Economic Review*, Vol. 73(3), June 1983, p. 257-76.
6. BCA Special Report, An Inflection Point in the Debt SuperCycle, September 5, 2007, [www.bcaresearch](http://www.bcaresearch)
7. *The Economist*, Barbarians at the vault, May 15th, 2008.
8. Fisher, I. (1933) The Debt-Deflation Theory of Great Depressions, *Econometrica*, 1, pp.337-57.
9. Gieve, J. (2007) *Coping with financial distress in a more market-oriented environment*, Bank of England, London.
10. Gould, H., Tobochnik, J., Christian, W. (2006) *An Introduction to Computer Simulation Methods: Application to Physical Systems*, 3d Edition, Addison- Wesley, Reading, Mass..
11. HVB, Global Markets Research (2004) *DJ iTraxx: Credit it best*.
12. Independent Strategy (2006), *New Monetarism*, London.
13. International Monetary Fund (2006) *World Economic Outlook. Financial Systems and Economic Cycles*. September, Washington, 2006.
14. International Monetary Fund (2007) Subprime: tentacles of a crisis, F&D, vol. 44, No.4.
15. International Monetary Fund (2008) *Global Financial Stability Report*, April, Washington, 2008.
16. Kesten, H. (2006) What is percolation, *Notices to AMS*, vol. 53, No. 5, May 2006.

17. Keynes, J. M., (1936) *The General Theory of Employment, Interest and Money*, Harcourt-Brace, New York.
18. Kindleberger, C. P., (2000) *Manias, Panics and Crashes: A History of Financial Crises*, J. Wiley, New York.
19. Mandelbrot, B., Hudson, R. (2005) *The MisBehavior of Markets*, Profile Books, London.
20. Mantegna, R. and Stanley H.E. (2000) *An Introduction to Econophysics*, Cambridge University Press.
21. Minsky, H. (1992) *The Financial Instability Hypothesis*, Working Paper 74, The Jerome Levy Economics Institute of Bard College.
22. Newman, M.J.E. (2006) *Power laws, Pareto distributions and Zipf's law*. arXiv: cond-math/0412004 v3 29 May 2006.
23. Shiller, R. (2000) *Irrational Exuberance*, Princeton University Press, Princeton.
24. Sornette, D. (2003) *Critical market crashes*, arXiv: cond-math/0301543 v1 28 Jan 2003.
25. Szekely, G., Richards, D. (2004) The St.Petersburg paradox and the crash of high-tech stocks in 2000, *The American Statistician*, August 2004, vol. 58, #3.

**Smirnov, A.D.** *Credit Bubble and Crisis*. – Moscow: State University-Higher School of Economics, 2008. – 33 pp. (in Russian)

Proposed a simple model of stochastic credit bubble that had been growing over the recent years due to global excess liquidity. The latter gave rise to the formation of a random sequence of the debt buyers clusters and initiated simultaneously the widespread practice of loan repayments with the new debt issuance. It had greatly increased positive feedbacks in the global market via structured financial instruments thus speeding up the debt growth. The debt bubble bursts at the critical value of global liquidity, and a nonlinear differential equation serves as a model of this singularity. Percolation process demonstrated how asset securitization and financial innovations might direct global system towards collapse. The model made possible to estimate conditional probability of a collapse that appeared to be equal to 0.27.

JEL Classification: E63, G13, H63, P24

*Key phrases*: liquidity, debt, percolation, singularity, asset securitization.

*Smirnov, Alexander D.*, Dr. in Economics, Professor  
 Acting member of Russian Academy of Natural Sciences  
 State University – Higher School of Economics  
 11, Pokrovsky Boulevard, Moscow 101987, Russia  
 Tel. 772 9590\*2175  
 e-mail: [adsmir@hse.ru](mailto:adsmir@hse.ru)  
[adsmir@gmail.co](mailto:adsmir@gmail.co)