

ТЕОРИЯ СЛОЖНОСТИ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАУКЕ: ИНЫЕ ОСНОВЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ¹

У. БРАЙАН АРТУР²,

Лаборатория интеллектуальных систем Научно-исследовательского центра компании XEROX в Пало Альто (PARC), профессор Института Санта-Фе, Санта-Фе, США
Перевод Анны Оганесян и Леонида Шафиров

В данной статье предложены логические основы применения теории сложности в экономической науке – исходя из суждения, что экономика не обязательно находится в состоянии равновесия: экономические агенты (фирмы, потребители, инвесторы) постоянно изменяют свои действия и стратегии в ответ на совместно создаваемый ими результат. Это, в свою очередь, вызывает изменение результата, что требует от экономических агентов изменять своё поведение вновь. Агенты, таким образом, живут в мире, в котором их убеждения и стратегии подвергаются постоянной «проверке» на выживание в пределах определённой «экосреды» – как результата, порождаемого совместно этими убеждениями и стратегиями. В прошлом экономическая наука в основном избегала такого подхода – подхода с точки зрения неравновесия, – однако если мы начнем его использовать, нам откроются паттерны и феномены, невидимые в рамках равновесного анализа. Характер их возникновения вероятностный, они существуют какое-то время, а затем исчезают; и они соотносятся со сложными структурами других областей. Так же мы рассматриваем экономику не как нечто данное и сложившееся, а как формирующуюся на основе постоянно развивающегося комплекса технологических инноваций, институтов и регулирующих механизмов, которые способствуют возникновению инноваций, институтов и регулирующих механизмов.

Теория экономической сложности рассматривает экономику как находящуюся в движении, постоянно саму себя «вычисляющую» – и постоянно заново себя воссоздающую. Там, где теория экономического равновесия делает акцент на существовании порядка, предопределённости, дедукции и статике, теория экономической сложности фокусируется на роли случайных событий, неопределённости, создании смыслов и открытости к переменам. В рамках данного подхода время, в смысле реального исторического времени, приобретает значимость, а нахождение решения уже не рассматривается непременно как система математических условий, но как паттерн, комплекс последовательно возникающих феноменов, ряд изменений, которые могут вызвать дальнейшие изменения, совокупность существующих элементов, создающих новые элементы. Теория экономического равновесия представляет собой частный случай неравновесной экономической теории и, следовательно, теории экономической сложности; поэтому теория экономической сложности обладает более общим характером. Она раскрывает нам экономику, постоянно изобретающую саму себя, создающую новые структуры и возможности использования, экономику, постоянно открытую для ответа.

Ключевые слова: неравновесие; сложность; теория экономической сложности [адаптация теории сложности к экономической науке]; кластеризованная волатильность; сети; экосреда; вычисление; процедурная наука.

¹ Оригинал публикации [Originally published as]: Arthur W.B. (2013). Complexity economics: a different framework for economic thought // *Santa Fe Institute Working paper*: 2013-04-012. В качестве предисловия будущей книги [To appear in the book]: Arthur W.B. (2013). *Complexity Economics*, Oxford Univ. Press.

² Я благодарен Ронану Артуру, Ричарду Бронку, Дэвиду Коландеру, Дойну Фармеру, Магде Фонтана, Дэвиду Рейсману и Уильяму Таббу за ценные комментарии.

COMPLEXITY ECONOMICS: A DIFFERENT FRAMEWORK FOR ECONOMIC THOUGHT

W. BRIAN ARTHUR,

Intelligent Systems Lab, Palo Alto Research Center (PARC),
External Professor, Santa Fe Institute, Santa Fe, USA
Translated by Anna Oganesyana and Leonid Shafirov

This paper provides a logical framework for complexity economics. Complexity economics builds from the proposition that the economy is not necessarily in equilibrium: economic agents (firms, consumers, investors) constantly change their actions and strategies in response to the outcome they mutually create. This further changes the outcome, which requires them to adjust afresh. Agents thus live in a world where their beliefs and strategies are constantly being «tested» for survival within an outcome or «ecology» these beliefs and strategies together create. Economics has largely avoided this nonequilibrium view in the past, but if we allow it, we see patterns or phenomena not visible to equilibrium analysis. These emerge probabilistically, last for some time and dissipate, and they correspond to complex structures in other fields. We also see the economy not as something given and existing but forming from a constantly developing set of technological innovations, institutions, and arrangements that draw forth further innovations, institutions and arrangements.

Complexity economics sees the economy as in motion, perpetually «computing» itself – perpetually constructing itself anew. Where equilibrium economics emphasizes order, determinacy, deduction, and stasis, complexity economics emphasizes contingency, indeterminacy, sense-making, and openness to change. In this framework time, in the sense of real historical time, becomes important, and a solution is no longer necessarily a set of mathematical conditions but a pattern, a set of emergent phenomena, a set of changes that may induce further changes, a set of existing entities creating novel entities. Equilibrium economics is a special case of nonequilibrium and hence complexity economics, therefore complexity economics is economics done in a more general way. It shows us an economy perpetually inventing itself, creating novel structures and possibilities for exploitation, and perpetually open to response.

Keywords: nonequilibrium; complexity; complexity economics; clustered volatility; networks; ecologies; computation; procedural science.

JEL classifications: A11, B52, O33, Y20.

На протяжении последних 25 лет постепенно зарождался и набирал силу иной подход к изучению экономики – теория экономической сложности (*complexity economics*). Теория экономической сложности утверждает, что экономика не всегда находится в равновесном состоянии, что вычисления, а также математические расчёты в экономической науке полезны, что экономическая ситуация может характеризоваться как возрастающей, так и убывающей отдачей, и что экономика не является чем-то заданным и сложившимся, но находится в процессе формирования – на основе постоянно развивающихся множеств институтов, регулирующих механизмов (*arrangements*) и технологических инноваций. Данный подход, в целом, зародился в Институте Санта Фе в конце 1980-х годов, но сегодня он применяется на практике³ и фокусирует внимание на ряде актуальных вопросов. Что предлагает этот иной образ мышления экономике? Как именно он работает и в каких областях применим? Заменит ли он неоклассический подход, или войдёт в состав неоклассической экономической теории? И какой логике, если таковая имеется, он подчиняется?

³ См. тома книги «Экономика как эволюционирующая сложная система» под редакцией: Эрроу, Андерсена и Пайнса (*Arrow, Anderson and Pines, 1988*); Артура, Дюрлауфа и Лейна (*Arthur, Durlauf and Lane, 1997*); Блюма и Дюрлауфа (*Blume and Durlauf, 2005*). Истории данных идей посвящены источники: (*Fontana, 2010; Arthur, 2010b*), а также популярные произведения Уолдропа (*Waldrop, 1992*) и Бейнхокера (*Beinhocker, 2006*). Разновидности теории экономической сложности включают генеративный подход в экономической теории, интерактивный подход в экономической теории, агент-ориентированную вычислительную экономику (см.: *Epstein 2006a; Miller and Page, 2007; Tesfatsion and Judd, 2006*).

Моя задача в рамках данной статьи состоит в том, чтобы ответить на эти вопросы, особенно – на последний, не стремясь при этом предоставить обзор, или экскурс; скорее я хочу изложить основы мышления в рамках этого нового подхода, пояснить его логику. Чтобы проиллюстрировать ключевые положения теории, я буду исходить из базовых принципов, описанных в двух моих более ранних эссе (Arthur, 1999; 2006), а также опираться на работы иных авторов⁴.

Я постараюсь показать, что этот новый подход не является всего лишь расширением стандартного подхода в экономической науке и не сводится к добавлению агент-ориентированных моделей поведения к стандартному набору моделей. Он представляет собой иной способ видения экономики – под иным углом зрения, при котором действия и стратегии постоянно развиваются, время становится важным, структуры постоянно формируются и переформируются, при котором видны феномены, невидимые с позиций стандартного равновесного анализа, и при котором мезоуровень, располагающийся между микро- и макроуровнями, становится важен. Иными словами, такой угол зрения открывает нам мир, который ближе миру политической экономики, чем неоклассической теории, – мир органический, эволюционирующий и исторически обусловленный.

Экономика и сложность

Позвольте мне начать с самой экономики. Экономика представляет собой обширный и сложный комплекс механизмов и действий, где агенты – потребители, фирмы, банки, инвесторы, правительственные учреждения – покупают и продают, занимаются спекуляцией, участвуют в торговле, наблюдают, создают продукты, предлагают услуги, инвестируют в компании, выстраивают стратегии, исследуют, прогнозируют, конкурируют, обучаются, внедряют инновации и адаптируются. Используя современную терминологию, можно охарактеризовать экономику как массивно-параллельную систему, образуемую одновременной деятельностью акторов. В результате этого одновременно осуществляемого поведения формируются рынки, цены, торговые механизмы, институты и отрасли промышленности, а также агрегированные [поведенческие] паттерны.

Одно из самых ранних пониманий экономической науки, восходящее, безусловно, к Смиту, состояло в том, что эти агрегированные паттерны формируются из индивидуального поведения, а индивидуальное поведение, в свою очередь, реагирует на эти агрегированные паттерны, что представляет собой рекурсивный цикл. Именно этот рекурсивный цикл обуславливает существование сложности (*complexity*). Сложность – это не теория, а течение, имеющееся в различных науках, изучающее, как взаимодействующие элементы системы создают всеобщие паттерны, и как эти всеобщие паттерны, в свою очередь, обуславливают изменение или адаптацию элементов. Она может изучать то, как движутся отдельные автомобили, сообщая формируя модели поведения в дорожных пробках, и как эти модели, в свою очередь, приводят к изменению положения автомобилей. Подход с точки зрения сложности объясняет процесс формирования структур, – а также то, как это формирование воздействует на обуславливающие его объекты.

Рассматривать экономику, или сферы экономики, с точки зрения сложности означает задаваться вопросами о том, как экономика эволюционно развивается, а это означает детальное исследование того, как поведение индивидуальных агентов совместно формирует некий результат и как последний, в свою очередь, может изменить в итоге поведение агентов. Иными словами, это течение науки задаётся вопросом, как индивидуальное поведение может *ответно реагировать* на сообща создаваемые индивидами паттерны и как эти паттерны будут изменяться в результате. В сущности, мы задаёмся сложным вопросом – как из целенаправленных действий множества агентов формируется процесс. Так, экономическая наука в начале своей истории приняла более простой подход, в большей мере тяготеющий к математическому анализу. Заботило её не то, как поведение агентов будет *ответно реагировать* на порождённые этим поведением агрегированные паттерны, а то, какое поведение (действия, стратегии, ожидания) будет поддерживаться или будет *совместимо* с теми агрегированными паттернами, которые оно породило. Иными словами, исследователи в рамках этого подхода стремились понять, какие паттерны не потребуют изменений поведения на микроуровне и останутся, соответственно, статичны, или в состоянии равновесия. (Общую теорию равновесия, таким образом, интересовало то, какие цены и объёмы произведённых и потреблённых товаров будут согласовываться со всеобщими паттернами цен и объёмов на рынках в рамках определённой экономики, не создавая стимулов для их изменения. Классическую теорию игр занимало

⁴ Другие эссе, посвященные данному подходу: (Axtell, 2007; Colander, 2000; 2012; Epstein, 2006; Farmer, 2012; Judd, 2006; Kirman, 2011; Rosser, 1999; Tesfatsion, 2006). Термин «теория экономической сложности» был впервые использован в работе (Arthur, 1999).

то, какие стратегии, ходы или размещения будут (в соответствии с определённым критерием) согласовываться с заданными стратегиями, перемещениями, размещениями, которые может избрать конкурент – то есть будут представлять наилучшую схему поведения для агента. А экономическую теорию рациональных ожиданий интересовало то, какие ожидания будут согласовываться с результатами, порождаемыми совместно этими ожиданиями, или будут в среднем подтверждены ими.)

Этот упрощённый подход в рамках теории равновесия стал привычным способом изучения паттернов в экономике и сделал их доступными для экономического анализа. Это был вполне понятный – и даже подходящий – способ продвигать экономическую науку. И он многого достиг. Его центральный конструкт, общая теория равновесия, является не просто математически элегантной; моделируя экономику, она воссоздаёт её в нашем разуме, даёт возможность сформировать её образ, осмыслить экономику во всей её целостности. Это чрезвычайно ценно, и то же самое может быть сказано в отношении моделирования равновесия в других сферах: теории фирмы, международной торговли, финансовых рынков.

Однако это изящество равновесия имело свою цену. Экономисты воспротивились неоклассическим построениям, в которых оно выразилось, на тех основаниях, что в основе этих построений – идеализированный, рационализированный мир, который искажает реальность, а их основополагающие предпосылки зачастую подбираются для аналитического удобства (*Blaug, 2003; Bronk, 2009; 2011; Cassidy, 2009; Colander et al., 2009; Davis, 2007; Farmer and Geanakoplos, 2008; Kirman, 2010; Koppl and Luther, 2010; Krugman, 2009; Mirowski, 2002; Simpson, 2002*). Я разделяю эти возражения. Как и многие экономисты, я восхищаюсь красотой неоклассической экономики; но для меня её построения, практически утратившие связь с реальностью, излишне рафинированы (*too pure*), чересчур хрупки. Неоклассическая экономика существует в платоновском мире порядка, статичности, познаваемости и совершенства. В отсутствие порядка, статичности, познаваемости и совершенства мир неоднозначен, беспорядочен, реален.

Хорошие экономисты всегда, конечно, культивировали более полноценное видение экономики (*Colander and Kupers, 2012; Louça, 2010*), поэтому, возможно, мы могли бы опираться на равновесный подход как на основу нашего мышления, допуская, что опыт и интуиция могут восполнить недостающие реалии. Но всё же этим довольствоваться нельзя.

Исходить из предпосылки равновесия – всё равно что смотреть через мощный «фильтр», не позволяющий увидеть в экономике всё то, что можно разглядеть. При равновесном подходе по определению нет пространства для совершенствования или дальнейшего приведения в соответствие с новым состоянием, нет свободы действий для исследования, создания, возникновения краткосрочных феноменов, так что все, что имеет отношение к приведению в соответствие с новым состоянием – адаптация, инновация, структурное изменение, история как таковая, – должно быть отброшено и исключено из теории. Результатом может стать стройная система, которой однако будет не хватать достоверности, живости и творчества.

Что если бы экономическая наука позволила себе более широкие рамки и задалась вопросом, как агенты в экономике могут ответно реагировать на совместно создаваемые паттерны? Будет ли какая-то разница? Что мы увидим в этом случае?

Эндогенно порождаемое неравновесие

Первое, на что следует обратить внимание, это то, что, задавая вопрос «как агенты могут ответно реагировать?», мы неявно допускаем существование неравновесия, поскольку, если возможны новые реакции, то они окажут влияние на результаты, так что по определению равновесия в данной ситуации быть не может. Хорошо подкованный экономист мог бы возразить против этого допущения о существовании неравновесия; согласно стандартной доктрине, неравновесие не является важным для экономики. «Состояния нестабильного равновесия», по Самуэльсону (*Samuelson, 1983*), «даже если таковые существуют, являются преходящими, непостоянными. ... Сколько раз приходилось читателю наблюдать яйцо, стоящее на одном из своих концов?»⁵

Равновесие, заверяют нас, является естественным состоянием экономики.

Я хочу убедительно показать, что это не так, категорически не так, что неравновесие является естественным состоянием экономики, и, следовательно, экономика всегда открыта для реакции. Это

⁵ Похожую мысль выразил Вальрас в 1909 году в ходе разговора с Шумпетером: «существование, в сущности, пассивно, и лишь приспосабливается к природным и социальным влияниям, которые могут на него воздействовать, так что теория стационарного процесса в действительности образует экономическую теорию целиком...» (*Tabb, 1999; Reisman, 2004*).

происходит не только из-за внешних потрясений и влияний извне, а потому, что неравновесие зарождается в экономике эндогенно. Для этого существуют две основные причины. Одна из них – фундаментальная (или найтианская) неопределённость, другая – технологические инновации. Давайте рассмотрим каждую в отдельности.

Прежде всего, фундаментальная неопределённость. Все проблемы выбора в экономике связаны с чем-то, что затрагивает будущие события, возможно, не сразу (одномоментно), а по прошествии некоторого времени. Таким образом, эти проблемы связаны с некоторой степенью неосведомлённости. В ряде случаев агенты хорошо информированы, или могут реалистично оценить вероятность наступления событий, но в ряде других случаев – фактически в большинстве – у них нет основы для этого, они попросту не знают⁶.

Я выбрал бы венчурные инвестиции и вложил бы капитал в новую технологию, но мой стартап может просто не знать о том, насколько хорошо будет работать технология, как люди получают доступ к ней, как правительство будет осуществлять регулирование или кто появится на рынке с конкурирующим продуктом. Я должен предпринять шаг, но я нахожусь в состоянии подлинного неведения – фундаментальной неопределённости, и оптимального решения здесь не существует. Всё становится ещё хуже, когда в процесс вовлекаются другие агенты; такая неопределённость становится уже самоусиливающейся. Если я точно не знаю, какова ситуация, я могу предложить, что другие агенты также не могут этого знать. Я не просто должен буду сформировать субъективные убеждения, но я должен буду сформировать субъективные убеждения о субъективных убеждениях. И другие агенты должны будут сделать то же самое. Неопределённость порождает всё большую неопределённость⁷.

Это наблюдение, конечно, не ново. Другие экономисты, в частности Шекл (*Shackle, 1955; 1992*), много писали об этом. Но это наблюдение имеет одно важное следствие для теоретизирования. В той степени, в которой результаты непознаваемы, создаваемые ими проблемы, связанные с принятием решений, не являются чётко определёнными. Отсюда также следует, что рациональность – чистая дедуктивная рациональность – также чётко не определяется, по той простой причине, что не может существовать логического решения проблемы, которая логически не определена. Отсюда следует, что в подобных ситуациях дедуктивная рациональность не просто является слабой предпосылкой; её попросту не существует. Может иметь место разумное поведение, благоразумно дальновидное поведение, но, строго говоря, не бывает дедуктивно рационального поведения. Поэтому мы не можем подразумевать его существования.

Сказанное не означает, что люди не могут осуществлять деятельность в экономике или что они не выбирают чем заниматься. Поведенческая экономика говорит нам, что часто контекст предопределяет то, как люди принимают решения, и мы, конечно, можем использовать эти выводы. А когнитивная наука утверждает, что если решение важно, люди могут посмотреть на ситуацию со стороны и попытаться разобраться в ней путём выстраивания предположений, догадок, прибегая к прошлому опыту и накопленным знаниям. Они используют своё воображение, пытаются создать некоторую картину будущего и действовать в соответствии с ней (*Bronk, 2009; 2013*). В самом деле, как говорит об этом Шекл (*Shackle, 1992*), «каждый человек представляет будущее самостоятельно, и эта работа воображения является важной частью процесса принятия решения». Один из способов смоделировать это – предположить, что экономические агенты формируют индивидуальные убеждения (возможно, несколько убеждений) или гипотезы – внутренние модели – относительно ситуации, в которой они находятся, и непрерывно их обновляют, приводя в соответствие с моментом; это означает, что они постоянно адаптируются, отказываясь от тех или иных действий и стратегий и заменяя их другими, обучаясь опытным путём – осуществляя «разведывание» (*explore*)⁸. Иными словами, они действуют, руководствуясь индукцией (*Holland et al., 1986; Sargent, 1993; Arthur, 1994*)⁹.

⁶ Как выразился Кейнс (*Keynes, 1937*), «Перспективы новой европейской войны ..., или цен на медь ..., или ставки процента через двадцать лет... Нет никакой научной основы, которая бы позволила вычислять вероятность такого рода. Мы просто не знаем».

⁷ Сорос (*Soros, 1987*) называет это принципом *рефлексивности*.

⁸ Стандартное возражение состоит в том, что, допуская, что агенты делают умозаключения, не руководствуясь дедукцией, подразумевает произвольность этих умозаключений. Что не даёт подобным убеждениям или поведению быть избранными *ad-hoc* с целью обеспечить желаемый результат? Конечно это возможно, однако не оправдывает возвращения к нереалистичным «рациональным» моделям поведения. Идея заключается не в том, чтобы упростить анализ путём формулирования предположений о воображаемом поведении, а в том, чтобы взять за основу такое поведение, которое делает модели реалистичными.

⁹ Неверно трактовать это как «ограниченную рациональность». Это подразумевает, что агенты не используют все логические способности, находящиеся в их распоряжении, в полную силу, что в условиях неопределённости зачастую может быть неверно.

Такая постоянная материализация этих «разведывательных» действий – источник постоянного броуновского движения в экономике. Экономика все время находится в беспокойном движении, поскольку агенты проводят разведывание, учатся и адаптируются. Это беспокойство, как мы увидим, может разрастись в некий более масштабный феномен.

Другой источник беспокойства – технологические изменения. Около ста лет назад Шумпетер (*Schumpeter, 1912*) блестяще сформулировал, что существует «источник энергии в пределах экономической системы, который сам по себе возмущает любое равновесие, которое может быть достигнуто». Этим источником он называл «новую комбинацию средств производства». (Сегодня мы бы сказали – новую комбинацию технологий.) Экономическая наука не отрицает положения, включая его однако посредством допущения, что время от времени равновесные состояния должны приспособливаться к таким внешним изменениям.

Однако упомянутая технологическая сила нарушает равновесие в большей степени, чем допускал Шумпетер. Новые технологии порождают очередные новые технологии: когда появились компьютеры, они «потребовали», или породили, спрос на новые технологии хранения данных, компьютерные языки, вычислительные алгоритмы, полупроводниковые переключатели. Новые технологии делают возможным существование других новых технологий: появление вакуумных трубок сделало возможным, или «обеспечило» существование следующих технологий – радиопередачи и приёма сигналов, трансляции, релейных схем, первых вычислительных операций и радаров. И эти новые технологии, в свою очередь, потребовали и обеспечили, опять-таки, следующие новые технологии. Получается, что новая технология является не просто однократным возмутителем равновесия, а постоянным генератором, требующим всё новых и новых технологий, которые сами порождают и требуют очередных следующих технологий (*Arthur, 2009*). Отметим еще раз самоусиливающуюся природу этого процесса. Результатом его является не случайное возмущение, а непрерывающиеся волны возмущения, вызывающие новые возмущения, действующие параллельно во всей экономике, на всех её уровнях. Технологические изменения порождают дальнейшие изменения эндогенно и ежеминутно, ввергая экономику в перманентное состояние беспокойства.

Действие технологических возмущений во временном измерении несколько медленнее, чем броуновское движение, связанное с неопределённостью. Однако всё, вызываемое ими, порождает ещё большие беспорядки. И они сами по себе порождают дальнейшую неопределённость: предприятия и отрасли попросту не знают, какие технологии вторгнутся в их пространство следующими. Как неопределённость, так и технологии в итоге формируют нашу экономику, в которой агенты не имеют детерминированных средств (способов) принятия решений.

Теперь у нас вырисовывается картина экономики, отличающаяся от той, которую рисует нам стандартная теория равновесия. В той степени, в которой неопределённость и технологические изменения присутствуют в экономике, – а они распространены, разумеется, на всех уровнях – агенты должны разведывать свой предстоящий путь, «учиться» принятию решений конкретной проблемы, ответно реагировать на возможности, открывающиеся перед ними. Мы существуем в мире, в котором убеждения, стратегии, действия агентов подвергаются «проверке» на выживание в рамках определённых ситуаций, или исходов, или «экологий» (внешней среды), совместно порождаемых этими убеждениями, стратегиями и действиями. Кроме того, большей тонкости требует понимание того факта, что как таковой процесс разведывания – исследования агентами своего предстоящего пути – изменяет саму экономику и ситуацию, с которой сталкиваются агенты. Так агенты не просто реагируют в ответ на проблему, в которой пытаются разобраться; сами их действия при этом коллективно преобразовывают текущий результат, что заставляет их приспособливаться заново. Иными словами, мы погружены в мир сложности, – сложности, тесно связанной с неравновесием.

Теоретизируя в рамках представлений о неравновесности

Итак, что мы имеем в итоге? Если экономика масштабна и деятельность кипит постоянно, то, казалось бы, мы имеем дело, выражаясь словами Шумпетера (*Schumpeter, 1954*), с «хаосом, не поддающимся аналитическому контролю». Столкнувшись учёные-экономисты с такой перспективой в прошлом, они бы просто, метафорически выражаясь, развели руками и отступили. Но что если мы не отступим, что если останемся на наших позициях и всерьёз примем идею неравновесия? Как мы поступим? Можем мы сказать что-то ценное? Что мы увидим? И, прежде всего, что это будет означать – создание, исходя из представлений о неравновесности?

Конечно, многие секторы экономики могут по-прежнему рассматриваться как находящиеся в состоянии ближе к равновесному, и стандартная теория будет для них всё так же справедлива. А другие секторы могут рассматриваться как временно отклоняющиеся от искомого равновесного состояния, и здесь мы можем изучать вопрос конвергенции. Однако в таком случае экономика по-прежнему будет рассматриваться как хорошо сбалансированный автомат, временами склонный к выходу из состояния согласованности; а такой подход не приблизит нас к пониманию сути того, как экономика ведёт себя вне равновесного состояния, и не позволит уяснить творческую природу неравновесности.

Лучший способ продвинуться в понимании – наблюдать, что в экономике текущие обстоятельства формируют условия, которые будут предопределять, что последует дальше. Экономика является системой, элементы которой постоянно обновляют своё поведение в соответствии с текущим моментом¹⁰. Иными словами, формально, мы можем говорить о том, что экономическая система представляет собой непрерывающееся *вычисление (computation)* – в огромных масштабах распределённое, характеризующееся массовым параллелизмом, стохастическое¹¹. С этой точки зрения экономика становится системой, эволюционно, с учётом особого порядка действий (процедурно), развивающейся как последовательность событий; она становится алгоритмической.

Существует опасность того, что рассматривать экономику с этих позиций значит просто потакать современной моде в науке, однако эта идея даёт возможность отметить один важный момент. Предположим на минуту, что нам – или лучше Лапласу или «Богу» – известен алгоритм¹², стоящий за вычислениями (обширный, но конечный набор детальных механизмов, посредством которых экономика или её сектор, интересующий нас, делает свой следующий шаг). Фундаментальная теорема в теории вычислимости (*Turing, 1936*) гласит, что в целом (если мы выберем случайный алгоритм) нет никакого способа, систематического аналитического метода, который бы указал нам наперёд, остановится ли этот алгоритм, или компьютерная программа (а не будет функционировать вечно, или циклично). Хотя мы можем договориться, что остановка алгоритма производится при достижении на выходе некоторого определённого набора математических условий или при достижении определённого «решения», однако в целом мы не можем утверждать, произойдёт ли это в действительности. Другими словами, не существует аналитического метода, который бы позволил решить наперёд, как будет работать данный алгоритм, каковы будут результаты¹³. Всё, что мы можем, – это проследить вычисления и посмотреть, что они дадут. Конечно, в случае с простыми алгоритмами мы часто можем наблюдать, что их исполнение сводится к конкретному результату. Но алгоритмы не должны очень усложняться прежде, чем мы сможем предопределить их результаты (*Wolfram, 2002*).

Таким образом, нужно проявлять осмотрительность. Для сильно взаимосвязанных систем, равновесие и замкнутые формы решений не являются результатами по умолчанию; если они существуют, то требуют обоснования. И вычисление для таких систем не должно рассматриваться как избегание аналитического мышления; строго говоря, аналитическое мышление в этом случае может быть совершенно необходимым. Часто мы можем осуществлять весьма полезный предварительный анализ качественных свойств неравновесных систем и понимать механизмы, лежащие в их основе; тем не менее, в целом единственный точный способ изучить их результаты – провести сами вычисления.

Конечно, алгоритм, лежащий в основе реальной экономики, не является случайно выбранным, он представляется достаточно хорошо структурированным, так что вполне возможно, что «вычисления» реальной экономики всегда имеют простые результаты. В равной мере вычисления в экономике могут характеризоваться как неупорядоченные и неструктурированные. Обычно в секторах экономики, которые мы изучаем, так не происходит. Зачастую там, где присутствуют противодействующие силы, мы видим крупные структуры – области-аттракторы, которые свободно согласуются с равновесием. И в их пределах (либо в их отсутствие) мы видим также механизмы, порождающие феномены субпаттернов или субструктур, время от времени возникающих и исчезающих

¹⁰ Текущие обстоятельства будут, разумеется, включать и соответствующую прошлую историю или воспоминания о событиях, имевших место в прошлом.

¹¹ Современное вычислительное мышление рассматривает вычисление как непрерывающееся, одновременное (параллельное), распределённое и часто вероятностное. См.: (*ACM Ubiquity Symposium, 2010*). См. также: (*Beinhocker, 2011*).

¹² Ранее я утверждал, что будущее экономики неопределённо, в связи с чем, строго говоря, экономика не является абсолютно алгоритмической. Так что для этого мысленного эксперимента в качестве «Бога» я определил того, кто может заранее предсказать, как каждый агент будет реагировать в обстоятельствах любого рода.

¹³ В том числе сходящийся ли алгоритм (или всегда остаётся в пределах заданной окрестности или некоторой границы).

случайным образом. Проводя физическую аналогию, рассмотрим солнце. Издалека оно кажется большим состоящим из газа шаром, находящимся в едином сферическом равновесии. Однако в границах данного «равновесия» мощные механизмы обуславливают динамические феномены, такие как гигантские магнитные петли и арки, корональные дыры, яркие пятна X-лучей и массовые выбросы плазмы, достигающие скорости 2000 км в секунду. Наполненный газом шар демонстрирует в реальности приблизительно сферическую форму, но он никогда не находится в равновесном состоянии. Скорее он бурлит постоянной деятельностью, которая подрывает возможность равновесного состояния и формируется на основе предшествующих возмущений. Эти феномены локализованы и могут действовать на разных уровнях. Они являются преходящими, или временными – появляясь, исчезая, – и во времени взаимодействуют, по-видимому, случайным образом.

Зачастую мы обнаруживаем похожую ситуацию в экономике. Теоретизирование в рамках представлений о неравновесности будет означать, таким образом, обнаружение масштабных аттракторов в действии (если таковые на самом деле существуют), но также и изучение других субструктур или феноменов, которые могут иметь место в силу их свойств и поведенческих характеристик. Для того чтобы изучить иные субструктуры, иные феномены системы, возможно использовать компьютерное моделирование тщательно сконструированных экспериментов; с целью определения механизмов, которые породили свойства и характеристики вышеупомянутых феноменов и субструктур, часто используются статистические результаты. И во многих случаях мы можем построить простые модели феноменов, которые отражают их основные сущностные черты и позволяют нам использовать математику или теорию стохастичности для их изучения. Следует помнить, что цель при этом не обязательно заключается в том, чтобы сформулировать уравнения или необходимые условия. Цель, как и в случае с любой теорией, – достичь понимания в целом.

Давайте совместим некоторые из этих идей друг с другом, обратившись к фактическому исследованию неравновесия, выполняемого посредством вычислений. Приведём классический пример.

В 1991 году Кристиан Линдгрэн смоделировал на компьютере турнир – соревнование стратегий в случайным образом выбираемых парах, разыгрывающий повторяющуюся игру дилеммы заключённого. (Подробности дилеммы заключённого не должны нас занимать; будем считать, что это просто игра в рамках определённого текущего набора стратегий.) Стратегии состояли из инструкций, как следует поступать в ответ на последние ходы оппонента. Стратегии, показавшие себя успешными, воспроизводились и видоизменялись, а неуспешные – удалялись. Линдгрэн допускал, что эти стратегии могут «расширяться» в результате использования сохранённых в более глубоких отсеках памяти данных о непосредственно предшествовавших ходах оппонента и собственных ходах. Так, на нашем языке мы можем говорить о таких стратегиях как о «разведывающих» стратегическое пространство: если они не успешны, они изменяются и адаптируются. Линдгрэн обнаружил, что в начале этого турнира доминируют простые стратегии, такие как «око за око», однако со временем появляются расширенные стратегии, разрабатываемые на основе более простых. Со временем уже на их основе развивались ещё более расширенные стратегии, отражающие преимущества предшествующих, при этом периоды относительной статичности перемежались динамической нестабильностью (рис. 1).

Динамика достаточно проста, чтобы Линдгрэн смог описать её системой стохастических уравнений, однако итоговая картина всё равно получилась не столь полной, и мы действительно нуждаемся в вычислениях, чтобы посмотреть, что происходит на самом деле. То, что возникает в результате вычислений, представляет собой *экосреду (ecology)* – экосреду стратегий, каждая из которых стремится выжить, используя возможности среды, создаваемой ею самой, а также другими стратегиями, которые тоже стараются выжить и использовать соответствующие возможности. Эта экосреда – миниатюра биосферы, в которой новые виды (стратегии) возникают непрерывно, используют среду, созданную существующими видами, и не выживают в случае, если потерпели неудачу. Отметим, что фактически мы говорим об эволюции, однако не как о привнесённой извне, а как о возникшей из естественной тенденции стратегий конкурировать в процессе выживания. Этот момент носит общий характер для данного типа экономической науки. Что образует «решение», так это, как правило, среда, в которой стратегии, или действия, или убеждения конкурируют; среда, которая может окончательно установиться, которая имеет собственные характерные свойства и может быть изучена с качественной точки зрения и с использованием статистики¹⁴.

¹⁴ В известной проблеме бара El Farol (Arthur, 1994) формируется экосреда постоянно меняющихся индивидуальных прогнозов на фоне общего равновесия как состояния-аттрактора. Метафорически это можно выразить как изменение отдельных деревьев при сохранении формы всего леса.

В исследовании Линдгрена исходы различаются в процессе вычисления от одной итерации к другой. Во многих итерациях появляется эволюционно стабильная стратегия, усложнённая стратегия, основывающаяся на памяти о предшествующих действиях за четыре периода. В других партиях (RUNS) система продолжает эволюционировать. В некоторых партиях прослеживается стремительное усложнение стратегий, в других – они появляются позднее.

И всё же здесь наблюдаются константы: такие феномены, как сосуществование стратегий, эксплуатация, спонтанное возникновение мутуализма, внезапные коллапсы, периоды застоя и нестабильных изменений. Более чем что-либо другое картина напоминает палеозоологию.

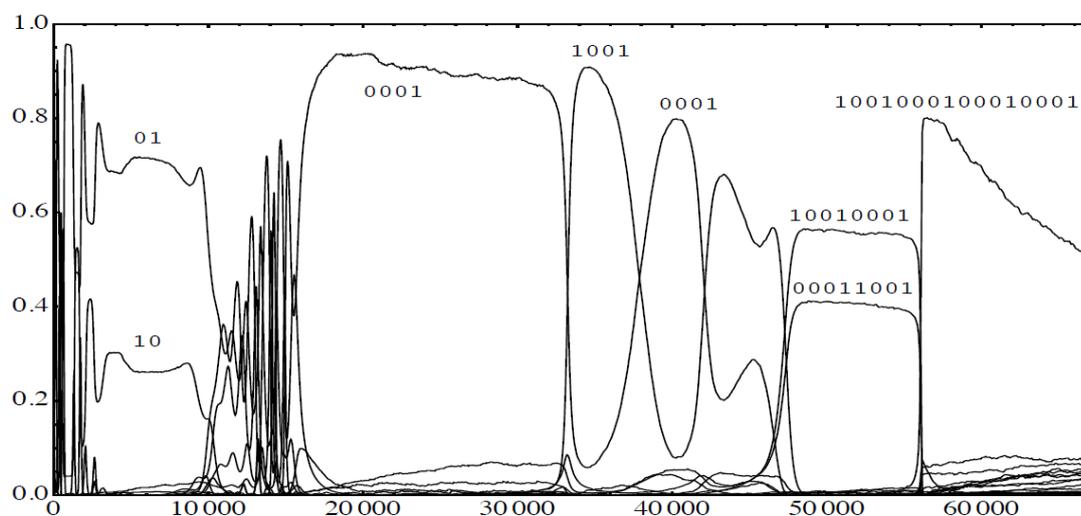


Рис. 1. Стратегии в компьютерном турнире Линдгрена

Примечание: По горизонтальной оси отмечено время, по вертикальной – количество использования конкретной стратегии, кодами маркированы глубины памяти стратегий

Я привёл исследование Линдгрена в качестве примера работы с экономической теорией неравновесия, и читатель может заинтересоваться, каким образом исследование таких основанных на компьютерных вычислениях миров может быть расценено как относящееся к экономической науке, или какое отношение это может иметь к разработке теории. Мой ответ заключается в том, что теория не состоит из математики. Математика является техникой, инструментом, хотя и сложным. Теория – это нечто иное. Теория лежит в плоскости обнаружения, понимания и объяснения феноменов, происходящих в мире. Математика способствует этому – притом в огромной степени – но и вычисление само по себе также способствует этому. В действительности, существует разница. Работа с уравнениями позволяет нам следовать аргументации шаг за шагом и выявляет условия, которым должно соответствовать решение, в то время как вычисление таких возможностей не предоставляет¹⁵. Однако вычисление – более чем компенсируя – позволяет нам видеть феномены, которые математика равновесия не позволяет увидеть. Вычисление позволяет просчитать результаты при различных условиях, исследуя, когда структуры возникают, а когда – нет, выявляя основополагающие механизмы, упрощая снова и снова для того, чтобы добраться до самой сути явления. Другими словами, вычисление помогает мышлению, поддерживая использование в экономической науке прежде применявшихся в ней инструментов – алгебры, калькулирования, статистики, топологии, стохастических процессов, – использованию каждого из которых в своё время сопротивлялись. Компьютер – это «разведочная лаборатория» для экономической науки, а будучи умело используем, – еще и мощный генератор теории¹⁶.

Всё вышеизложенное подталкивает нас двигаться вперёд в использовании неравновесного подхода при изучении экономики. Мы способны представлять экономику в целом, или её отдель-

¹⁵ Отметим, что мы всегда можем переписать любую алгоритмическую модель в форме уравнения (любое вычисление при помощи машины Тьюринга может быть представлено в форме уравнений), так что, строго говоря, анализ, основанный на вычислениях, является столь же математизированным, как и стандартный анализ. См.: (Epstein, 2006).

¹⁶ О роли вычисления при теоретизировании в области математики, физики, биологии и науках о Земле см.: (Robertson, 2003). См. также: (Bailey, 2010; Chaitin, 2006).

ные интересующие нас фрагменты, как постоянно меняющийся результат стратегий агентов, их прогнозов, поведения. И мы можем проводить исследования этих секторов, а также классических проблем в рамках экономики – перераспределения доходов между поколениями, оценки активов, международной торговли, финансовых трансакций, банкинга – посредством конструирования моделей, в которых ответное реагирование определяется не только в равновесных условиях, но во всех обстоятельствах. Иногда наши модели будут предметом математического анализа, иногда – только вычислительного, иногда – и того, и другого. Что мы можем стремиться выяснить, так это не просто условия установления равновесия, но понимание того, как формируются результаты, как они развиваются, как возникают и развиваются любые динамические феномены.

Феномены, и как они возникают

Так какие же динамические феномены возникают в условиях неравновесия? И как они, а также неравновесие, связаны со сложностью? Я рассмотрю эти два вопроса по порядку. Чтобы понять, какие паттерны или структуры могут возникать в экономике в условиях неравновесия, мы можем начать с того, что обратим внимание на разницу, которую «фильтр» равновесного подхода накладывает на паттерны, которые мы наблюдаем. Для того чтобы проиллюстрировать идею, рассмотрим простую модель процесса, протекающего несколько в стороне от экономики, а именно – модель дорожных пробок.

В рамках стандартной модели признаётся, что при приближении впереди едущих машин водители снижают скорость, а при увеличении дистанции – повышают. Дана высокая плотность движения, характеризующаяся N количеством машин на милю, что подразумевает определённую среднюю дистанцию между автомобилями, и автомобили будут замедлять скорость или ускоряться до соответствующей степени. Естественно, установится равновесная скорость, и, если бы мы ограничились в своём поиске решения равновесным решением, – то это всё, что мы бы увидели. Однако на практике при высокой плотности наблюдается феномен неравновесности. Некоторые автомобили могут замедлять скорость – их водители могут потерять концентрацию или отвлекаться, в результате чего находящиеся сзади автомобили начнут также замедлять скорость. Это сразу же сделает поток ещё более плотным, что вызовет дальнейшее замедление автомобилей, едущих сзади. Компрессия распространится на задние ряды машин, поток машин вызовет затор, и возникнет дорожная пробка. Со временем пробка рассосётся. Однако обратите внимание на три обстоятельства. Во-первых, возникновение явления протекает спонтанно; и каждый такой пример уникален с точки зрения времени возникновения, масштабов распространения и времени исчезновения. Поэтому суть явлений нелегко понять посредством решений для замкнутых систем, а лучше всего изучать посредством вероятностных или статистических методов. Во-вторых, феномен является *временным*, возникая или случаясь в определённых временных рамках, и не может появиться, если мы настаиваем на равновесном подходе¹⁷. И третье, – явление имеет место не на микроуровне (уровень отдельного автомобиля) и не на макроуровне (весь поток машин на дороге в целом), а на промежуточном – *мезоуровне*.

А что же насчёт экономики в целом? Если мы желаем отказаться рассматривать феномены сквозь призму равновесия, какие феномены мы можем там обнаружить, и как они будут функционировать? Я укажу три из них.

Первый – *самоусиливающиеся изменения цен на активы*, или, в просторечии, – «мыльные пузыри» и крахи. Чтобы посмотреть, как генерируются эти изменения, рассмотрим пример Института Санта Фе с искусственным фондовым рынком (*Palmer et al., 1994; Arthur et al., 1997*). В данной компьютерной модели «инвестором» выступает искусственный разум – компьютерные программы, которые в силу причин, обозначенных ранее, не могут просто выдвигать предположения или дедуктивным путём выводить заданную модель «рациональных» прогнозов, а должны индивидуально обнаруживать ожидания (прогнозные модели), которые хорошо работают. Инвесторы случайным образом генерируют (или обнаруживают опытным путём) собственные прогнозные методы, опро-

¹⁷ Конечно, мы можем смоделировать стационарный стохастический процесс, включающий пробки, и искусственно назвать его «равновесным». Некоторые неоклассические модели так и строятся (см., например, *Angeles and La'O, 2011*). Казалось бы, это сводит на нет моё заявление о том, что стандартная теория не имеет дела с неравновесием. Однако более пристальный взгляд открывает нам, что такое неравновесное поведение всегда «обёрнуто» состоянием общего равновесия, и, как правило, рассматривается в рамках какого-то стохастического процесса, который остаётся стационарным (и, следовательно, «равновесным»). Такие модели «растягивают» неоклассическую парадигму за счёт того, что изображаются как «равновесные», будучи в сущности неравновесными процессами, так что в рамках приводимой здесь аргументации я также включаю данные модели.

буют на практике самые многообещающие из них, отбрасывают те, которые не работают, и периодически генерируют новые, чтобы заменить существующие. Цены на акции формируются на основе заявок инвесторов на покупку и продажу в конечном итоге – на основе прогнозов агентов. Наш рынок становится экосредой прогнозных методов, которые либо показывают свою эффективность, позволяя преуспеть, либо отсеиваются; то есть рынок становится экосредой, непрерывно изменяющейся в данном процессе¹⁸. Таким образом, мы наблюдаем несколько феноменов, главный из которых – спонтанное возникновение «мыльных пузырей» и крахов.

Чтобы понять, как последние возникают, мы можем представить на основе нашего эксперимента упрощённую версию этого механизма. Предположим, некоторые из наших инвесторов «обнаруживают» такой класс торговых прогнозов, который, в сущности, говорит: «Если цена выросла на протяжении k последних периодов, можно ожидать, что в следующем периоде она повысится на $x\%$ ». Предположим также, что некие инвесторы (может быть, даже прежние инвесторы) «обнаруживают» прогноз следующего типа: «Если текущая цена более чем в y раз превышает величину базовой прибыли (или дивидендов), следует ожидать её падения на $z\%$ ». Первый из приведённых прогнозов ведёт к поведению, вызывающему возникновение пузыря: если цена поднимается на некоторое время, инвесторы будут скупать акции, подтверждая таким образом прогноз, что может привести к дальнейшему росту. В конечном счёте это толкает цену вверх, до значения, достаточного для того, чтобы запустить прогноз второго типа. Владеющие этими акциями инвесторы продают их, цена падает, что отменяет повышательный прогноз, мотивируя других инвесторов также продавать, а в результате следует обвал котировок. Масштабы и продолжительность таких сбоев различны, они происходят во времени случайным образом, так что не могут быть предсказаны. Что может быть предсказано, так это то, что этот феномен будет иметь место и будет характеризоваться определённым распределением вероятностей с точки зрения размеров и масштаба.

Вторым временным феноменом является *кластеризованная волатильность*. Она подразумевает появление случайных периодов низкой активности, за которыми следуют периоды высокой активности. В случае с нашим искусственным рынком – это периоды низкой и высокой ценовой волатильности. Низкая волатильность преобладает тогда, когда прогнозы агентов работают достаточно хорошо и в одном направлении; таким образом, низки стимулы как изменять эти прогнозы, так и отказываться от тех результатов, которые они приносят. Высокая волатильность возникает тогда, когда некоторые агенты или группы агентов «обнаруживают» лучшие способы прогноза. Это привносит возмущение в общую картину, так что другие инвесторы должны менять свои методы прогнозирования для того, чтобы заново адаптироваться, вызывая дальнейшее возмущение и необходимость адаптироваться в очередной раз. (Эта модель поведения отчётливо прослеживается в исследовании Линдгрена, рис. 1.) Результатом является период интенсивной перестройки, или волатильности. Такие случайные периоды низкой волатильности, перемежающиеся периодами высокой волатильности, обнаруживаются в данных реального финансового рынка; соответствующая модель получила название GARCH-поведения.

Третий феномен, который имеет больше отношения к параметру пространства, чем времени, мы можем назвать *внезапной перколяцией*. Когда где-то в пределах сети происходят изменения, которые могут распространяться далее, если сеть является слабосвязанной, то изменения рано или поздно будут сведены на нет ввиду отсутствия развития связей. Если сеть является полностью связанной, изменения распространятся и будут продолжать распространяться. В случае сети банков, отдельный частный банк может обнаружить, что он владеет проблемными активами. Соответственно, он будет вынужден повышать свою ликвидность и призовет к этому своих контрагентов из числа прочих банков. Последние, в свою очередь, вынуждены будут повышать свою ликвидность и призывать к этому своих контрагентов, и так изменения распространятся каскадом по сети (Haldane, 2009). Подобные события могут обусловить серьёзные проблемы. Они затухают в слабосвязанной сети, но распространяются – или проникают (*percolate*) – в течение длительных периодов по мере того, как степень связи растёт, пройдя определённую точку (Watts, 2002)¹⁹.

¹⁸ Ср.: наблюдение Сороса (Soros, 1987), что «фондовые рынки являются местом, где тестируются различные предположения».

¹⁹ Литература в области изучения сетей обширна: см., например, (Albert et al., 2002; Allen and Gale, 2000; May et al., 2008; Newman et al., 2006). Сети могут быть взаимно стабилизирующими (например, банки, предоставляющие услуги страхования другим банкам), равно как и взаимно дестабилизирующими (как в случае с убытками, которые каскадом распространяются на все финансовые институты). А топология сети определяет скорость распространения изменений равно как и то, повышается ли стабильность сети с ростом её связности или нет (Scheffer et al., 2012).

Этот последний пример подводит нас к свойству общего характера. В целом в сложных системах феномен не возникает прежде чем некоторый основополагающий параметр модели, отражающий интенсивность приспособливания или степень связи, не пройдёт некоторую точку и не достигнет некоторого критического уровня. Тогда совокупное поведение совершает *фазовый переход*. В случае с нашим искусственным фондовым рынком, при низких темпах «разведывания» инвесторами новых прогнозов, поведение рынка свернётся до состояния равновесия, формируемого рациональными ожиданиями (агенты делают идентичные прогнозы, которые являются источником изменения цен, в среднем оправдывая эти прогнозы): воцаряется простое поведение. Однако если наши инвесторы «разведывают» более быстрыми, более реалистичными темпами, у рынка развивается «многоаспектная психология» различающихся убеждений агентов, образующих основу прогнозирования, и появляется временный феномен: преобладает сложное поведение. Если же темпы «разведывания» настроены на более высокий уровень, то индивиды не могут успешно приспособливать своё поведение к стремительно изменяющемуся поведению других людей, и будет преобладать хаотическое поведение. Другие исследования (например, *Hommes, 2009; Kopel, 2009; LeBaronet al., 1999*) выявили похожие переходы режима от равновесия к сложности и хаосу или от равновесия к сложности и множественному равновесию (*Galla and Farmer, 2012*). Подобные переходы, я полагаю, будут общими для неравновесных моделей.

Теперь мы можем приступить к рассмотрению того, как подобные феномены, или порядок, или, если угодно, структуры связаны со сложностью. Теория сложности, как я уже говорил, это изучение последствий взаимодействий; она изучает паттерны, или структуры, или феномены, возникающие из взаимодействий между элементами – частицами, клетками, диполями, агентами, фирмами. Очевидно, что в нашем примере сети имеет место взаимодействие, однако на нашем фондовом рынке взаимодействие является менее явным. Если один из наших инвесторов покупает или продаёт, это оказывает влияние на цену, пусть незначительное, и другие могут реагировать на это изменение. Во всех трёх вышеприведённых примерах изменения могут распространиться в пределах систем.

Теория сложности изучает, как происходят такие изменения. Другими словами, теория сложности изучает распространение изменений через взаимосвязанное поведение. Когда банк попадает в стрессовую ситуацию, он может передать соответствующее изменение связанным с ним соседям, которые могут транслировать его своим соседям, а последние, в свою очередь, передадут *своим*. Событие, возникшее в одной точке, вызовет каскад событий: часто этот каскад, или лавина, распространяется только с тем, чтобы повлиять лишь на один-два других элемента, иногда он затрагивает большее количество элементов, и совсем редко – их множество. Математическая теория таких процессов, которая составляет очень большую часть теории сложности, показывает, что распространение событий, вызывающих появление последующих событий, демонстрирует такие характерные свойства, как степенные зависимости (обусловливаемые множеством частых незначительных распространений и несколькими редкими значимыми распространениями), «тяжёлые хвосты» распределения вероятностей (длительные, хотя более редкие распространения, имеют место чаще, чем предсказывает закон нормального распределения)²⁰, и длинная корреляция (события могут распространяться и распространяются на большие расстояния и длительные временные промежутки). Эти свойства обнаруживаются во всех видах систем – физической, химической, биологической, геологической, в которых распространяются события, так что неудивительно, что они присутствуют в наших примерах из области экономики, где распространение играет главную роль²¹. Фактические экономические данные также убедительно их демонстрируют (*Brock et al. 1992; LeBaron et al., 1999*).

Можно увидеть и кое-что ещё. Если степень взаимодействия в такой системе изменяется «извне» (скажем, вероятность событий, вызывающих последующие события, повышается, или добавляется больше связей), то число последствий для системы будет расти – переходя от незначительного их количества (либо их отсутствия) к их множеству, а затем – к бесчисленному множеству последствий. Система пройдёт через фазовый переход. Все эти свойства являются отличительными признаками сложности.

²⁰ Их вероятности пропорциональны $\exp(-|распространение-длина|)$, а не $\exp(-распространение-длина)$ обширных нормальных отклонений.

²¹ Причина, по которой эти свойства не фигурируют в стандартной экономической теории, заключается в том, что последняя предполагает, что агенты реагируют на *заданную* равновесную цену, а не на ту, которая колеблется в результате поведения других агентов; таким образом, случайные изменения, которые совершают индивидуальные агенты, являются независимыми и могут быть суммированы. Следовательно, их результатом являются нормальные распределения.

Теперь мы можем сказать, почему неравновесие связано со сложностью. Неравновесие в экономике принуждает нас изучать распространение изменений, вызываемых им; а сложность тесно связана с изучением такого распространения. Отсюда следует, что такой взгляд на экономику относится как раз к компетенции теории сложности²².

И ещё один комментарий. Проиллюстрированные мною феномены возникают и исчезают как раз в различные исторические времена или в определённом пространстве, так что мы не увидим их, если будем настаивать на подходе с точки зрения равновесия. И они являются локализованными: возникают в одной части сети или фондового рынка, возможно для того, чтобы распространяться оттуда. Как правило, они действуют во всех масштабах – сетевые события могут включать лишь незначительное число отдельных «узловых» точек или могут быть ощутимы по всей экономике. Однако обычно они имеют место на промежуточном уровне между микро- и макро-, так что мы справедливо можем называть их *мезофеноменами*²³. Они являются свойствами *мезоэкономики*.

Всё же на это можно возразить, что такие феномены мало на что влияют. Основу образует, в конечном счёте, стандартное равновесное решение, которое по-прежнему обладает валидностью первого порядка. Это, конечно, справедливо в случае с нашей моделью фондового рынка; никакая капитализация эмитента, на протяжении долгого периода времени, не будет равна стократной прибыли эмитента²⁴. Но – и это важное «но» – интересные вещи происходят на рынках в связи с тем, что на них возникают феномены, имеющие временный характер, и эти феномены происходят при отклонении от равновесного состояния. Это, в конце концов, – те процессы, результат которых имеет финансовый характер. Мы могли бы подобным образом сказать, что в океане под действием силы тяжести, которую нельзя отрицать, приблизительно равновесный уровень моря обладает валидностью первого порядка. Это – безусловная истина. Но, как и в случае с рынками, интересные вещи происходят в океане не на уровне равновесия моря, которое редко осуществимо, они происходят на поверхности, там, где каждое имеющееся нарушение равновесия вызывает дальнейшее нарушение равновесия. Это как раз тот уровень моря, на котором находятся лодки.

В данном разделе я использовал в качестве иллюстрации три довольно хорошо известных феномена. Были отмечены и другие феномены, и, несомненно, остаётся множество тех, которые предстоит обнаружить. Что именно к ним относится, каковы их характеристики, как они могут взаимодействовать, – всё эти вопросы важны для будущих исследований. Однако наиболее важный вопрос, на который, согласно нашей аргументации, необходимо обратить внимание, – новый в экономике уровень – мезоуровень, на котором события могут вызывать другие события любого масштаба. В экономике есть промежуточный мезоуровень, и именно на этом уровне явления наступают, продолжают какое-то время, а затем прекращаются.

Позитивная обратная связь

Я хотел бы указать ещё на один момент относительно механизмов, рассмотренных нами. Они возникают из самоусиливающегося характера поведения в процессе взаимодействий. Агенты покупают акции, или незначительно возмущают рынок, или распространяют некоторые изменения, и это вызывает дальнейшее вовлечение в процесс купли, или дальнейшее возмущение, или дальнейшее распространение изменений. Или, как мы видели ранее, агенты демонстрируют неопределённость в выборе, и это порождает дальнейшую неопределённость; или привносят некую новую технологию, и она влечёт за собой дальнейшие новые технологии. Такая положительная обратная связь нарушает статус-кво, порождая неравновесие. А также обуславливает возникновение новых структур. Незначительный затор в дорожном потоке вызывает дальнейший затор и соответствующую структурную форму, в данном случае – дорожную пробку. Именно здесь начинается упомянутое мною броуновское движение; оно приносит возмущение, становясь очагом для незначительных перемещений элементов в пространстве; положительная обратная связь усиливает эти движения, и они «закрепляются», чтобы в конечном итоге через некоторое время прекратиться.

В действительности положительная обратная связь является свойством, в большой степени характеризующим сложные системы, или, скажу точнее, таковым свойством сложных систем является одновременное наличие положительной и отрицательной обратной связи. Система, демонстрирующая только отрицательную обратную связь (в экономике это убывающая отдача), быстро сходится

²² Таким образом, эту разновидность экономической теории справедливо называть теорией экономической сложности.

²³ О более ранних использованиях терминов с приставкой «мезо» в экономике см.: (Dopfer, 2007; Elsner and Heinrich, 2009).

²⁴ Однако это неверно в целом: многие экономические ситуации не имеют сил, ведущих к какому-либо из равновесных аттракторов.

к равновесию и демонстрирует «застой». Если система демонстрирует только положительную обратную связь, то она выходит из-под контроля, при этом её поведение становится подобным взрыву. Смешение же обоих видов обратной связи даёт «интересное», или «сложное», поведение. При положительной обратной связи взаимодействия дополняют друг друга и порождают структуру, на которую со временем будут влиять противоположные силы, и такая структура исчезнет. Так структуры появляются и исчезают, некоторые продолжают существовать, а некоторые порождают новые структуры. Система «живёт».

Это наблюдение является вкладом в более ранние исследования в области экономики по положительной обратной связи или возрастающей отдаче. При этом, если фирма (или продукт, технология, географический регион) опережает другие, возможно, в результате незначительных случайных событий, в условиях возрастающей отдачи она получит дальнейшее преимущество и будет развиваться далее; возрастающая отдача может и в последующем продолжать доминировать в своём влиянии на результат (Arthur, 1989; 1994). Если N фирм конкурирует, то существует и N возможных результатов конкуренции, но N не должно быть малым числом. В конце 1800-х годов раскладки клавиатур пишущей машинки «соревновались» за использование, и только одна из них – та, которой мы пользуемся сегодня, стала стандартом. Однако простой расчёт показывает, что существовало более 10 возможных результатов этой конкуренции. А это, по любым меркам, немалая величина.

Процессы возникновения возрастающей отдачи в настоящее время хорошо известны. Что бы я добавил, так это то, что положительная обратная связь представлена в экономике в более широких масштабах, чем мы прежде считали: она обнаруживается не только в случае с фирмами или продуктами, но и с малыми и крупными механизмами, в поведении, связанном с принятием решений, рыночном, финансовом поведении и сетевой динамике. Она действует на всех уровнях, дестабилизируя экономику, даже в макромасштабе (теория Кейнса может быть рассмотрена как сфера позитивной обратной связи, временами замыкающаяся на одном из двух возможных состояний: полной занятости или безработицы). Положительная обратная связь обуславливает набор характерных свойств: множество состояний-аттракторов, непредсказуемость, эффект блокировки, возможную неэффективность и зависимость от предшествующего пути развития. Их аналогами в физике являются множественные метастабильные состояния, непредсказуемость, синхронизация фаз или мод, высокая энергия основных состояний и неэргодичность. Опять же, эти свойства мы связываем с формальной сложностью.

Экономика в процессе формирования

Я хотел бы обратиться сейчас к совершенно иной теме – теме, основ которой мы коснулись в затронутом нами ранее вопросе возмущения, привносимого технологиями. До сих пор мы рассматривали только *данные* элементы, составляющие экономику, реагирующие на паттерны, порождаемые ими, и формирующие неизменно новые паттерны. И всё же это не отражает в полной мере одной фундаментальной характеристики экономики. Экономика постоянно создаёт и воссоздаёт саму себя, и происходит это посредством создания *новых* элементов – новых технологий и институтов, которые производят новые структуры по мере эволюционного развития экономики. Как именно это происходит? Как экономика формирует саму себя и изменяется структурно? Шумпетер (Schumpeter, 1908) охарактеризовал этот вопрос как «наиболее важное из всех явлений, которые мы стремимся объяснить». Помочь здесь призвана теория сложности, тесно связанная с процессами создания и воссоздания структуры.

Давайте начнём с того наблюдения, что если мы хотим посмотреть, как экономика конструирует саму себя и изменяется, мы должны обратиться к технологии и к тому, как *она* конструирует саму себя и изменяется с течением времени. Технология является не единственным агентом изменений в экономике, но, безусловно, – основным (Solow, 1957). При рассмотрении экономических изменений принято отождествлять технологические и производственные функции, рассматривать экономику как их вместилище. По мере появления новых промышленных технологий производственные функции изменяются, растёт выпуск, а труд и прочие ресурсы высвобождаются; это обеспечивает появление новых средств, которые можно инвестировать в дальнейшее развитие технологий. Экономика плавно перемещается от одного равновесного состояния к другому, демонстрируя эндогенный рост. Эта стройная картина хорошо сочетается с экономикой равновесия. Однако основная движущая сила – технология – оказывается отодвинута на задний план, а на передний план выходят цены и количества. Технологии при этом рассматриваются как бесформенные, они просто каким-то образом возникают, поодиночке и случайно, в отсутствие представлений о структуре процесса их влияния на экономику, изменения её характера с течением времени.

Подход с точки зрения теории сложности поместил бы технологии на передний план, а цены и количества – на задний план²⁵. Он признал бы существование структурного процесса возникновения технологий и их внедрения в экономику (*Arthur, 2009*), сосредоточиваясь при этом непосредственно на составе (наборе) технологий, существующих в любой данный момент времени, и задаваясь вопросом, как этот набор развивается эволюционно: как его составляющие рождаются, как они создают и воссоздают взаимоподдерживающие комплексы, и как со временем это изменяет структуру экономики.

Для начала мы можем определить индивидуальные технологии как средства достижения целей людей. В таком случае к технологиям можно отнести промышленные процессы, оборудование, медицинские процедуры, алгоритмы и бизнес-процессы, а также организации, законы и институты – ведь это тоже средства достижения целей. Важным моментом относительно технологий является то, что они конструируются, сочетаются, объединяются всегда из частей, фрагментов, а также их составляющих. Последние, в свою очередь, также служат средствами достижения целей, так что новые технологии формируются на основе сочетания существующих технологий²⁶. Лазерный принтер был сконструирован на основе лазера, цифрового процессора и ксерографии (процессор направляет высокосфокусированный лазерный луч, чтобы «нарисовать» картинку на копировальном барабане). Теперь у нас есть система, в которой новые элементы (технологии) постоянно формируются на основе существующих элементов, способных породить другие элементы.

Теперь давайте определим экономику как совокупность регулирующих механизмов (*arrangements*) и направлений деятельности, посредством которых общество удовлетворяет свои потребности. Разумеется, механизмы, о которых идёт речь, – технологии в экономике. Такой взгляд на экономику нетрадиционен, но он вполне согласуется с позицией экономистов-классиков, которые исходят из роли средств производства в экономике. Можно сказать, что экономика *происходит* (*emerges*) из своих механизмов, своих технологий: она является выражением своих технологий. Рассматриваемая таким образом, экономика немедленно превращается в экосреду собственных средств производства (своих технологий), и в этой среде используемые технологии должны взаимно поддерживаться и быть экономически совместимы.

Можно добавить ещё одно наблюдение. Технологии рождаются только если существует «спрос» на них. Большей частью этот спрос обеспечивается потребностью в самих технологиях. Автомобиль «требует» или «вызывает появление» новых технологий разведки нефти, нефтяного бурения, переработки нефти, массового производства, продажи бензина и техобслуживания автомобиля, порождая спрос на них. В любой момент времени, таким образом, существует открытая сеть возможностей вовлечения очередных технологий и механизмов.

Теперь у нас есть представление о «базовых настройках». Чтобы привести их в движение, мы можем задаться вопросом, как создаётся набор технологий. Соответствующие этапы отражены в следующем алгоритме формирования экономики.

1. Возникает новая технология. Она создаётся на основе определённых существующих технологий и включается в их активный действующий набор как новый элемент.
2. Новый элемент становится пригоден для того, чтобы заменить существующие технологии и компоненты существующих технологий.
3. Новый элемент устанавливает дальнейшие «потребности» или нишевые возможности для поддерживающих технологий и организационных механизмов (условий).
4. Если старые технологии, оказавшиеся замещёнными, исчезают из набора, связанные с ними потребности снижаются. Нишевые возможности, предоставлявшиеся старыми технологиями, исчезают вместе с ними, а элементы, которые, в свою очередь, наполняли их, могут потерять активность.
5. Новый элемент становится годен в качестве потенциального компонента последующих технологий – последующих элементов.
6. Экономика – модель товаров и услуг, производимых и потребляемых – подстраивается под эти этапы. Издержки и цены (и, следовательно, стимулы для новых технологий) изменяются соответствующим образом.

Так, железнодорожный локомотив был сконструирован на основе уже существовавшего парового двигателя, бойлера, коленчатого рычага и железных колёс. Он начал широко использоваться примерно с 1829 года (шаг 1); заменил существовавшие поезда на конной тяге (шаг 2); сформиро-

²⁵ Другие подходы к процессу становления с точки зрения сложности см. в: (*Hildago and Hausmann, 2009; Lane et al., 2009*). По теме структурных изменений см.: (*North, 1981*).

²⁶ Шумпетер (*Schumpeter, 1912*) называет эту комбинацию ключевой движущей силой процесса формирования (или «развития»), как он его называл).

вал потребности в изготовлении железных рельсов и организации железных дорог (шаг 3); обусловил сокращение перевозок по воде и лошадьми (шаг 4); стал ключевым звеном в транспортировке товаров (шаг 5); и со временем вызвал изменения цен и стимулов в масштабе всей экономики (шаг 6). Такие события могут развиваться параллельно: к примеру, новые возможности появляются почти сразу, как только возникает новая технология.

Проиграв этот алгоритм в уме, вы обнаружите много интересного. Он может привести в движение последовательность событий, которые никогда не заканчиваются, поскольку каждое из них может инициировать каскад последующих событий. Новая технология может вызвать появление других технологий, которые будут добавлены на этапах 3 и 5; последующее замещение старых технологий в соответствии с этапом 4, а также дальнейшее приспособливание («настройку») на этапе 6. А эти новые технологии, в свою очередь, могут привести к дополнительным возможностям, дополнительным технологиям, последующим заменам одних технологий другими. Алгоритм может быть прост, однако, будучи однажды запущен, он порождает многообразное, сложное, бесконечно новое поведение.

Такова картина основных механизмов формирования экономики. В то же время существует и второй пласт механизмов, которые составляют последующую структуру. Новые технологии часто вступают в игру группами (Perez, 2002; Arthur, 2009): так было на протяжении десятилетий с семействами технологий – паровых, электрических, химических, цифровых. Они основаны на определённой основной технологии, скажем, на паровом двигателе или на семействах феноменов – химических, электрических, генетических, которые связаны и становятся доступными. И они нестройно формируются на основе одной-двух прежних центральных технологий, впоследствии восполняя существование требуемых субтехнологий. Эти массивы технологий не адаптированы в рамках экономики; скорее они *опробуются* (encountered) в промышленности, в сочетании с бизнес-процессами, которые уже существуют и вызывают новые направления деятельности, новые стимулы, новые доступные процессы и небольшие иррупции в виде маленьких фирм, немногие из которых идут дальше, чтобы стать крупными фирмами.

Экономика – совокупность механизмов и видов деятельности, которые удовлетворяют наши потребности, выстраивается как результат всего этого. В действительности экономика является результатом всего описанного.

Я обрисовал лишь самую суть процессов, посредством которых экономика заново формирует саму себя, и каждый механизм имеет субмеханизмы, которые здесь опущены (см.: Arthur, 2009). Но обратите внимание на общую тему: несколько простых свойств технологии порождают систему изменяющихся элементов (технологий), и каждый новый элемент, созданный на основе предыдущих элементов, вызывает замену, и все они вызывают постоянно меняющуюся совокупность требований – спрос на другие элементы, что в целом направляется и структурируется свойствами и возможностями доминирующих семейств актуальных для своего времени явлений.

Весь этот процесс создаёт сам себя. Новые технологии формируются на основе существующих технологий, так что общность технологий является самопроизводящей, или *аутопоэтической*. Равно как и экономика, будучи формируема на основании своих технологий и опосредуя создание последующих технологий, она таким образом, формирует саму себя. И здесь мы снова оказываемся на территории теории сложности.

Теперь мы можем понять, как экономика изменяется структурно. Как только внедряются новые физические технологии, возникают соответствующие потребности, и появляются новые формы организации и новые институты, а это, в свою очередь, требует очередных новых технологий – очередных методов, организаций и институтов. Возникает структура. В более длительном временном масштабе крупные массивы технологий определяют основообразующий способ, посредством которого осуществляются операции в экономике – итак, у нас есть эпоха пара, эра железных дорог, цифровая эра. Они также представляют характерные или основообразующие вызовы, которые стимулируют появление новых решений; экономика изменяется структурно. Паровой двигатель и первое текстильное оборудование сделали возможным появление экономики, основанной на фабрично-заводской промышленности, в Викторианскую эпоху, а их стремительное распространение вызвало возникновение новых регулирующих механизмов: законов, касающихся обеспечения безопасности детей, норм по улучшению условий труда, а также профсоюзов в их сегодняшней форме²⁷. По мере того как экономика изменяется дальше, изменяется её организация и институты,

²⁷ Политэконом Уильям Табб (Tabb, 1999) определил структурные изменения следующим образом: «Технологические революции и политические перевороты обуславливают экономические возможности, которые затем становятся данностью в течение продолжительных периодов кажущейся стабильности, в течение которых нормативно-правовые режимы, разрабатываемые для условий социальной структуры накопления определённой эпохи, создают

и это вызывает появление новых регулирующих механизмов – новых технологий – и новых изменений. Происходит структурная трансформация экономики. Мы можем вычлениить механизмы, посредством которых экономика возобновляется, однако мы не можем предсказать с точностью, как они вступят в игру. В целом процесс (или, если желаете, вычисление) не является детерминированным, будучи кроме того преимущественно неравновесным.

Заметьте, что обрисованная мной теория является алгоритмической: она выражается совокупностью процессов, запускаемых другими процессами, а не набором уравнений. Читатель может, опять-таки, задаться вопросом, каким образом это может называться теорией? Проведём параллель с биологией. Даже сегодня, 150 лет спустя после выхода книги «Происхождения видов» Дарвина, ещё никому не удалось свести процессы, посредством которых создаются новые виды живых организмов, формируется экология и зарождаются целые эпохи, характеризующиеся доминированием определённых видов, к системе, основанной на уравнениях. Причина состоит в том, что эволюционный процесс основывается на механизмах, которые происходят пошагово, приводят в действие друг друга (запускают друг друга) и непрерывно выявляют новые категории – новые виды. Уравнения хорошо справляются в случае изменений в числах или количествах в пределах *данных* категорий, но не в случае появления самих новых категорий. Вместе с тем надо признать, что главные механизмы эволюции хорошо изучены и образуют единую систему общих положений, согласующихся с наблюдениями явлений реального мира, так что соответствующие представления действительно образуют теорию²⁸. Биология, таким образом, является теоретичной, однако не математизированной областью; она основана на процессах, но не на количествах. Одним словом, она является *процедурной* (*procedural*). То же самое справедливо и в отношении детальной экономической теории формирования и изменения²⁹, которая нацелена на достижение глубокого понимания механизмов, направляющих формирование экономики и необязательно стремящихся свести их к уравнениям. Процедурная теория, описанная мной, не отрицает традиционную теорию, а представляет собой альтернативу, которая делает акцент на самом драйвере изменений – на технологиях.

Как мы можем всё это углублённо изучать? Базовые процессы являются алгоритмическими, так что мы с уверенностью можем конструировать их ключевые механизмы при помощи компьютерного моделирования³⁰. Исследования в этой области находятся ещё в начальной стадии. Цельная картина, которую мы получим в итоге, будет отражать созидательное формирование новых элементов, формирующихся на основе существующих элементов; новых структур, формирующихся на основе существующих структур; самого процесса формирования, происходящего на основе ранее сформированного. Таков в полной мере подход в рамках теории сложности.

Дискуссия

К этому моменту должно стать ясно, что у нас есть иная основа для размышления об экономике, такая, которая акцентирует внимание не на физических товарах и услугах, а на процессах изменения и создания. Однако, как читатель мог догадаться, этот взгляд не является чем-то совершенно новым применительно к экономическому мышлению. Он связан с более ранними размышлениями, а именно образом мышления, который я хотел бы сейчас прокомментировать.

В экономике существуют две главные проблемы. Одна касается *размещения* (*allocation*) в пределах экономики: как на различных рынках устанавливаются количества товаров и услуг и их цены. Представлена она великими теориями общего равновесия, международной торговли и аналитическим аппаратом теории игр. Вторая проблема относится к процессу *формирования* (*formation*) в рамках экономики: в первую очередь, как экономика возникает, а затем как она расширяется и

видимость последовательного прогресса. Эти институциональные формы, соответствующие одной стадии развития, становятся бременем, препятствующим развитию новых сил и зарождающихся производственных отношений. Динамика рыночных сил порождает социальные проблемы, которые, по мере того как они становятся всё более серьёзными, необходимо решать посредством идейной борьбы, из которой формируются новые правила, нормы и институты».

²⁸ Похожее наблюдение может быть сделано и в отношении теорий эмбриологического развития, биохимических путей, молекулярной генетики и клеточной биологии. Процесс митоза (деления клеток) не описывается математическим языком, однако серии описывающих его фаз, или этапов, хорошо понятны, пусть и сложны.

²⁹ У читателя может возникнуть соблазн сделать обратный перевод знакомых терминов, таких как капитал, труд, рост и т. д. Это осуществимо, однако я предпочитаю иной способ «представления» или понимания изменений в экономике, подобно тому, как магнитно-резонансная томография даёт иное изображение органов, чем привычный рентген.

³⁰ В 2006 году мы с Вольфгангом Полаком успешно смоделировали на компьютере процесс создания (*creation*) более сложных технологий (цифровых логических схем), возникших в результате случайной комбинации предшествующих комбинаций (более простых схем).

структурно изменяется с течением времени. Эта проблема представлена концепциями инноваций, экономического развития, структурных изменений и роли истории, институтов и правительства в экономике. Проблема размещения очень хорошо изучена и в высшей степени математизирована, проблема формирования изучена в меньшей степени и едва ли подлежит математизации³¹.

Как это произошло? Примерно до 1870 года обе проблемы были одинаково важны для великих экономистов-теоретиков. Смит, Милль и Маркс – все они способствовали созданию рациональной науки, исходя из проблемы размещения, однако в равной мере они делали вклад и в разрешение вопроса формирования, управления и истории. Затем в Викторианскую эпоху произошла маржиналистская революция и возникла теория общего равновесия, опутавшая проблему размещения алгеброй и математическими вычислениями (исходившими из строгих предпосылок рациональности и равновесия). Однако невозможно было таким же способом интерпретировать проблему формирования. В силу природы последней, её невозможно было свести ни к статике, ни к рациональности, и в результате математизация экономикса – взятого в XX веке в качестве «теории» экономики – миновала её. Процессы формирования по-прежнему изучались Маршаллом, Вебленом, Шумпетером, Хайеком и Шекклом, а также многими последующими институционалистами и историками. Однако эти размышления относились в основном к конкретному историческому периоду, к изучению частных случаев, носили частный и интуитивный – словом, литературный – характер, в силу чего считались не подлежащими генерализации. Так что со временем то, что стали называть политической экономией, оказалось отброшено в сторону, и хотя признавалось практичным и полезным, но не всегда значимым.

Теперь экономистам понятно, что математический анализ проблемы размещения далёк от того, чтобы охватить всю экономическую науку и плохо справляется с вопросами формирования, разведывания, адаптации и качественных изменений (*Tabb, 1999*). Теория экономической сложности, напротив, тесно связана с этими вопросами создания и формирования структуры, с изучением механизмов, посредством которых это происходит. В этом смысле теория сложности встречается с политической экономией и возрождает её великую традицию, и им обеим – к моему большому удовольствию – есть что сказать друг другу. Теория экономической сложности позволяет нам исследовать – разведывать – мир формирования теоретически и систематично; политическая экономия позволяет нам исследовать его интуитивно и эмпирически. Такой новый подход поможет обеспечить теоретическую основу политической экономии. Он не вытеснит, да ему и не следует этого делать, исторический анализ частных случаев, а углубит и поможет развить эту важную ветвь мысли. А политическая экономия углубит и поможет развить теорию экономической сложности.

Одна из сильных сторон политической экономии – её ощущение истории, исторического времени, которое имеет реальную важность, непреложную ценность и которое непрерывно создаёт новые структуры. Неоклассическая экономическая теория, напротив, слабо принимает время в расчёт (*Smolin, 2009; 2012*). В состоянии равновесия результат достигается просто, и время, по большому счёту, перестаёт существовать; либо в динамических моделях оно становится параметром, который можно обращать назад или прокручивать вперёд, для того чтобы отметить наличие определённого результата. Это доставляло беспокойство многим мыслителям-экономистам. Как блестяще выразилась Джоан Робинсон (*Robinson, 1980*): «Как только мы признали, что экономика существует во времени, что история движется в одном направлении, от невозвратимого прошлого к неизвестному будущему, концепция равновесия ... стала несостоятельной. Вся традиционная экономическая наука нуждается в том, чтобы её переосмыслили заново».

Конечно, в том что касается переосмысления этого вопроса о времени, теория экономической сложности созвучна политэкономии. В «вычислении», которым является экономика, события с большей и меньшей вероятностью их наступления в определённые неповторяющиеся моменты определяют аттракторы, прекратившие существовать, временные структуры, которые формируются и отмирают, рождающиеся технологии, экономические структуры и институты, которые возникают в итоге, технологии и структуры, которые, в свою очередь, строятся на их основе; в действительности будущая форма экономики – это альтернативный будущий путь. Экономика на всех уровнях и во все времена является зависимой от предшествующего пути развития. История вновь становится важной. И время появляется вновь.

Естественно возникает вопрос, имеет ли этот подход политическое применение? Конечно, теория сложности учит нас, что рынки, предоставленные сами себе, демонстрируют тенденцию к раздуванию пузырей, подвержены краху, порождают множество локальных состояний-аттракторов,

³¹ См. превосходную дискуссию об этих двух ветвях экономической науки: (*Tabb, 1999*). См. также (*Bronk, 2009*).

репродуцируют события через финансовые сети и порождают цепочку технологических решений и вызовов, что открывает дверь для различного рода ограничительной политики, подталкивающей в направлении желаемого результата и рассудительно способствующей созданию благоприятных условий для инноваций. Коландер и Куперс (*Colander and Kupers, 2012*) лаконично назвали это становлением правильных метаусловий.

Это, конечно, справедливо. Но я полагаю, что мы можем сформулировать и более сильное утверждение. Провалы экономической науки в практическом мире происходят в основном из-за того, что экономика рассматривается в равновесном состоянии. Если мы обратимся к экономическим кризисам последних 25 лет – фиаско, последовавшим после того, как в России в 1990-годах рынки отпустили в свободное плавание; масштабным играм на энергетическом рынке Калифорнии после снятия ограничений в 2000 году; краху банков Исландии в 2008 году; продолжающемуся кризису Еврозоны; обвалу на Уолл-стрит в 2008 году – всё это было вызвано в немалой степени эксплуатацией системы несколькими игроками, занявшими удачную позицию, или рынками, вырвавшимися из-под контроля (*Arthur, 2010a*). Мышление в рамках равновесного подхода не может «распознать» такую эксплуатацию заблаговременно, в силу скрытой причины: по определению, равновесие является состоянием, в котором ни у одного из агентов нет никаких стимулов отклоняться от своей нынешней линии поведения, поэтому эксплуататорское поведение возникнуть не может. Нелегко, следуя такому подходу, распознать и экстремальное поведение рынка: отклонения быстро корректируются противодействующими силами. В соответствии со своими базовыми допущениями, экономическая теория равновесия просто не может претендовать на роль приоритетного инструмента ни для выявления эксплуатации в отдельных секторах экономики, ни для предвидения её системных поломок.

Теория экономической сложности, напротив, учит нас, что экономика постоянно открыта для ответа, и что каждая её часть открыта для нового поведения – получения выигрыша либо резкого изменения в структуре. Применение теории сложности в экономике подразумевает тщательный контроль на местах, подобно тому, как власти вводят строительные нормы в сейсмоопасных регионах. Но не менее важно то, что этот подход приблизит нас к более реалистичному пониманию. Экономика не является совокупностью действий индивидов, лишённых мотивации изменять поведение и коллективно обуславливать приближение оптимальности; экономика представляет собой сеть стимулов, которые всегда вызывают возникновение дальнейшего поведения, развитие новых стратегий, обеспечивают «коллективно-разумные» результаты на этом пути, и постоянно побуждают систему изменяться.

Заключение

Теория экономической сложности не является дополнением к стандартной экономической теории (см. *Фонтана, 2010*), равно как и не сводится к добавлению агент-ориентированного поведения к стандартным моделям. Это иной способ экономического мышления, при котором экономика рассматривается не как система, находящаяся в состоянии равновесия, а как система, находящаяся в движении, постоянно «вычисляющая» саму себя и постоянно заново себя конструирующая. Там, где экономическая теория равновесия делает акцент на существовании порядка, предопределённости, дедукции и статике, теория экономической сложности фокусируется на роли случайных событий, отсутствии предопределённости, создании смыслов и открытости к переменам. Существует и другой способ сказать об этом. До настоящего времени экономическая наука основывалась больше на существительных, чем на глаголах. Она запечатлевала изменения, происходящие во времени с экономической функцией, как изменения в уровнях фиксированных сущностей, обозначаемых существительными – занятости, производства, потребления, цен. Теперь происходит смещение к тому, чтобы рассматривать эти изменения как серии отглагольных действий – прогнозировать, ответно реагировать, внедрять инновации, замещать, которые выступают причиной, вызывают последующие действия.

Такой сдвиг выявляет важную промежуточную прослойку в экономике – *мезоуровень*, переопределяя то, что представляет собой решение в области экономической науки. Решение уже не предполагает обязательного наличия набора математических условий, но выявляет паттерны, множество возникающих феноменов, множество изменений, которые могут вызвать дальнейшие изменения, множество существующих элементов, создающих новые элементы. Теория, в свою очередь, направлена не на открытие безусловно и бесконечно генерализуемых теорем, а на глубокое понимание механизмов, создающих эти паттерны и позволяющих изменениям распространяться.

Эти изменения в экономической теории во многом являются частью более масштабных изменений в самой науке. Все науки приобретают процедурный характер, становясь более алгоритмическими, более «тюринговскими»; и в меньшей степени – основывающимися на уравнениях, непрерывности и ньютоновской механике, чем раньше. Происходит это благодаря как развитию биологии в качестве строгой науки, так и в результате расцвета вычислительной и компьютерной науки. Даже математика движется в этом направлении. Грегори Хайтин (*Chaitin, 2012*) отмечает, что математика переходит из области непрерывных функций, дифференциальных уравнений и статических результатов в область дискретных функций, комбинаторной логики и алгоритмического мышления. «Компьютер», – говорит он, «это не просто чрезвычайно полезная технология, это – революционно новый вид математики с глубокими философскими последствиями. Он открывает целый новый мир». Наука и математика освобождаются от своих непреложных истин, становясь открытыми процедурному мышлению, и нет никаких оснований ожидать, что в экономической науке будет иначе.

Теория экономической сложности не является частным случаем неоклассической теории. Напротив, экономическая теория равновесия представляет собой особый случай экономической теории неравновесия и, следовательно, теории экономической сложности. Можно сказать, что теория экономической сложности – это экономическая теория в её более общем виде. Равновесный подход, конечно, будет оставаться полезным при первом приближении, в частности при изучении ситуаций в экономике, которые являются чётко определёнными, поддаются рационализации и достаточно статичны. Однако этот подход больше не может претендовать на центральное место в экономической теории. Уверенно движется в этом направлении³² экономическая теория, которая может рассматривать взаимодействия в более широком контексте, распознавать неравновесные феномены, изучать новизну, процессы формирования и изменения.

Теория экономической сложности все ещё находится на начальной стадии развития, и многие экономисты стремятся расширить её границы. Это подход, который показывает нам экономику, постоянно саму себя изобретающую, создающую возможности для использования возможностей, постоянно открытую для ответа. Не та экономика, которая мертва, статична, неподвластна времени и совершенна, а та, которая жива и органична, постоянно меняется и кипит беспорядочной энергией.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- ACM Ubiquity Symposium* (2010). What is Computation?
- Angeletos G.-M. and La'O J. (2011). Decentralization, Communication, and the Origins of Fluctuations // *NBER Working Paper* no. 17060. Cambridge, Ma.: NBER.
- Albert R., Jeong H. and Barabasi A-L. (2000). Attack and Error Tolerance of Complex Networks // *Nature*, vol. 406, pp. 379–382.
- Allen F. and Gale D. (2000). Financial Contagion // *Journal of Political Economy*, vol. 108, no. 1, pp. 1–33.
- Arrow K., Anderson P. and Pines D. (1988). The Economy as an Evolving Complex System. Reading, MA, Addison-Wesley.
- Arthur W.B. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events // *Economic Journal*, vol. 99, pp. 116–131.
- Arthur W.B. (1994). Bounded Rationality and Inductive Behavior (the El Farol problem) // *American Economic Review Papers and Proceedings*, vol. 84, pp. 406–411.
- Arthur W.B. (1994). Increasing Returns and Path Dependence in the Economy. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Arthur W.B., Durlauf S. and Lane D. (eds.) (1997). The Economy as an Evolving Complex System II. Reading, MA, Addison-Wesley.
- Arthur W.B., Holland J.H., LeBaron B., Palmer R. and Tayler P. (1997). Asset Pricing under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market / In: Arthur W.B., Durlauf S. and Lane D., *op. cit.*
- Arthur W.B. (1999). Complexity and the Economy // *Science*, vol. 284, pp. 107–109.
- Arthur W.B. (2006). Out-of-equilibrium Economics and Agent-based Modeling / In: *Tesfatsion L. and Judd K., op. cit.* below.
- Arthur W.B. and Polak W. (2006). The Evolution of Technology in a Simple Computer Model // *Complexity*, vol. 11, no. 5.
- Arthur W.B. (2009). The Nature of Technology: What it Is and How it Evolves. New York: Free Press.

³² См.: (*Holt et al., 2010; Davis, 2007*).

- Arthur W.B. (2010a). Exploitive Behavior in Policy Systems. Mss., IBM Almaden.
- Arthur W.B. (2010b). Complexity, the Santa Fe Approach, and Nonequilibrium Economics // *Hist. Econ. Ideas*, vol. 18, no. 2, pp. 149–166.
- Axtell R. (2007). What Economic Agents Do: How Cognition and Interaction Lead to Emergence and Complexity // *Rev. Austrian Econ.*, vol. 20, pp. 105–122.
- Bailey J. (2010). *Emerge: The Data-Rich Mathematical Infinitesimals of Life*. MAPematics.
- Beinhocker E. (2006). *The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics*, Cambridge, Ma.: Harvard Business School Press.
- Beinhocker E. (2011). Evolution as Computation: Integrating Self-Organization with Generalized Darwinism // *J. Inst. Econ.*, vol. 7, no. 3, pp. 393–423.
- Blaug M. (2003). The Formalist Revolution of the 1950s // *J. History of Economic Thought*, vol. 25, no. 2, pp. 145–156.
- Blume L. and Durlauf S. (2006). *The Economy as an Evolving Complex System III*. NY: Oxford U. Press.
- Brock W.A., Lakonishok J. and LeBaron B. (1992). Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns // *Journal of Finance*, vol. 47, pp. 1731–1764.
- Bronk R. (2009). *The Romantic Economist: Imagination in Economics*. UK, Cambridge: Cambridge U. Press.
- Bronk R. (2013). Epistemological Difficulties with Neoclassical Economics // *Rev. Austrian Economics*, forthcoming.
- Cassidy J. (2009). *How Markets Fail: the Logic of Economic Calamities*. NY: Farrar, Straus and Giroux.
- Chaitin G. (2006). *Meta Math! The Quest for Omega*. NY: Vintage Books.
- Chaitin G. (2012). *Proving Darwin: Making Biology Mathematical*. NY: Pantheon Books.
- Colander D. and Kupers R. (2012). *Laissez-Faire Activism: The Complexity Frame for Policy*. Princeton.
- Colander D. (ed.) (2000). *The Complexity Vision and the Teaching of Economics*, UK, Cheltenham: E. Elgar.
- Colander D., Goldberg M., Haas A., Juselius K., Lux T., Föllmer H., Kirman A. and Sloth B. (2009). The Financial Crisis and the Systemic Failure of the Economics Profession // *Critical Rev.*, vol. 21, no. 2.
- Davis J. (2008). The Turn in Recent Economics and Return of Orthodoxy // *Cambridge J. Econ.*, vol. 32, pp. 349–366.
- Dopfer K. (2007). The Pillars of Schumpeter's Economics: Micro, Meso, Macro / In: *Hanusch H. and Pyka A. (eds.) Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*. UK, Cheltenham: E. Elgar.
- Elsner W. and Heinrich T. (2009). A Simple Theory of «Meso»: on the Co-evolution of Institutions and Platform Size // *Journal of Socio-Economics*, vol. 38, pp. 843–858.
- Epstein J. (2006a). *Generative Social Science*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Epstein J. (2006b). Remarks on the Foundations of Agent-based Generative Social Science / In: *Tesfatsion and Judd, op. cit.* (below).
- Farmer J.D. and Geanakoplos J. (2008). The Virtues and Vices of Equilibrium and the Future of Financial Economics // *Complexity*, vol. 14, no. 8, pp. 11–38.
- Farmer J.D. (2012). Economics Needs to Treat the Economy as a Complex System. Mss.
- Fontana M. (2010). Can Neoclassical Economics handle Complexity? The Fallacy of the Oil Spot Dynamic // *J. Economic Behavior & Organization*, vol. 76, pp. 584–596.
- Fontana M. (2010). The Santa Fe Perspective on Economics // *Hist. Econ. Ideas*, vol. 18, no. 2, pp. 167–196.
- Galla T. and Farmer J.D. (2012). Complex Dynamics in Learning Complicated Games. Mss.
- Haldane A.G. (2009). Rethinking the Financial Network // *Speech at Financial Student Assoc.*, Amsterdam. Bank of England.
- Harris D.J. (2003). Joan Robinson on «History versus Equilibrium» // *J. Robinson Centennial Conference*, Burlington, Vt.
- Hildago C.A. and Hausmann R. (2009). The Building Blocks of Economic Complexity // *Proc. Nat. Acad. Sci.*, vol. 106, no. 26, pp. 10570–10575.
- Holland J., Holyoak K., Nisbett R. and Thagard P. (1986). *Induction*. Cambridge, Ma.: MIT Press.
- Holt R., Rosser J. and Colander D. (2010). *The Complexity Era in Economics*. Middlebury College.
- Hommes C.H. (2009). Bounded Rationality and Learning in Complex Markets / In: *Rosser J.B., op. cit.* below.
- Judd K. (2006). Computationally Intensive Analyses in Economics / In: *Tesfatsion and Judd, op. cit.* below.

- Keynes J.M. (1937). The General Theory of Employment // *Quarterly Journal of Economics*, vol. 51, pp. 209–233.
- Kirman A. (2011). *Complex Economics*. NY: Routledge.
- Kirman A. (2010). The Economic Crisis is a Crisis for Economic Theory // *CESifo Economic Studies*, vol. 56, no. 4, pp. 498–535.
- Kopel M. (2009). Oligopoly Dynamics / In: *Rosser, J.B., op. cit.* below.
- Koppl R. and Luther W. (2010). BRACE for a new Interventionist Economics. Fairleigh Dickinson U.
- Krugman P. (2009). How did Economists Get it so Wrong? // *NY Times*, September 6.
- Lane D., Pumain D., Leeuw S., van der and West G. (eds.) (2009). *Complexity Perspectives in Innovation and Social Change*. Berlin: Springer.
- LeBaron B., Arthur W.B., and Palmer R. (1999). Time Series Properties of an Artificial Stock Market // *Journal of Econ. Dynamics and Control*, vol. 23, pp. 1487–1516.
- Lindgren K. (1991). Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics / In: *Langton C., Taylor C., Farmer J.D. and Rasmussen S. (eds.) Artificial Life II*. Reading, MA, Addison-Wesley.
- Louça F. (2010). Bounded Heresies. Early Intuitions of Complexity in Economics // *Hist. Econ. Ideas*, vol. 18, no. 2, pp. 77–113.
- May R., Levin S. and Sugihara G. (2008). Complex Systems: Ecology for Bankers // *Nature*, vol. 451, pp. 893–895.
- Miller J. and Page S. (2007). *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton, NJ: Princeton U. Press.
- Mirowski P. (2002). *Machine Dreams: Economics Becomes a Cyborg Science*. UK: Cambridge U. Press.
- Newman M., Barabasi A-L. and Watts D. (eds.) (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton.
- North D. (1981). *Structure and Change in Economic Theory*. NY: Norton.
- Palmer R.G., Arthur W.B., Holland J., LeBaron B. and Tayler P. (1994). Artificial Economic Life: A Simple Model of a Stock market // *Physica D*, vol. 75, pp. 264–274.
- Perez C. (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital*. UK, Cheltenham: E. Elgar.
- Reisman D. (2004). *Schumpeter's Market: Enterprise and Evolution*. UK, Cheltenham: E. Elgar.
- Robinson J. (1980). Time in Economic Theory // *Kyklos*, vol. 33, no. 2, pp. 219–29.
- Robinson J. (1973). What has Become of the Keynesian Revolution? / In: *Robinson J. (ed.) After Keynes*. Oxford: Basil Blackwell.
- Robertson D.S. (2003). *Phase Change: the Computer Revolution in Science and Mathematics*. NY: Oxford.
- Rosser J.B. (1999). On the Complexities of Complex Economic Dynamics // *J. Econ Perspectives*, vol. 13, no. 4.
- Rosser J.B. (ed.) (2009). *Handbook of Research on Complexity*. UK, Cheltenham: E. Elgar.
- Samuelson P.A. (1983). *Foundations of Economic Analysis*. Cambridge, MA, Harvard (originally 1947).
- Sargent T.J. (1993). *Bounded Rationality in Macroeconomics*. Oxford: Clarendon Press.
- Scheffer M., Carpenter S., Lenton T., Bascompte J., Brock W., Dakos V., Koppel J., van de, Leemput I., van de, Levin S., Nes E., van, Pascual M. and Vandermeer J. (2012). Anticipating Critical Transitions // *Science*, vol. 338, 19 Oct.
- Schumpeter J.A. (1908). *Das Wesen und der Hauptinhalt der theoretischen Nationalökonomie*. Leipzig: Dunker & Humbolt.
- Schumpeter J.A. (1961). *The Theory of Economic Development (1912)*. London: Oxford Univ. Press.
- Schumpeter J.A. (1954). *History of Economic Analysis*. London: Allen and Unwin.
- Shackle G.L.S. (1955). *Uncertainty in Economics*. UK: Cambridge, Cambridge U. Press.
- Shackle G.L.S. (1992). *Epistemics and Economics*. Transaction Publishers.
- Simpson D. (2002). *Rethinking Economic Behaviour*. NY: St. Martin's Press.
- Smolin L. (2009). Time and Symmetry in Models of Economic Markets (<http://arxiv.org/abs/0902.4274>).
- Smolin L. (2013). *Time Reborn*. NY: Houghton Mifflin Harcourt.
- Solow R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function // *Rev. Economics and Statistics*, vol. 39, pp. 312–320.
- Soros G. (1987). *The Alchemy of Finance*. NY: Simon & Schuster.
- Tabb W. (1999). *Reconstructing Political Economy*. NY: Routledge.

Tesfatsion L. and Judd K.L. (eds.) (2006). Handbook of Computational Economics: Vol. 2. Agent-based Computational Economics. NY: North-Holland Elsevier.

Tesfatsion L. (2006). Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory / In: Tesfatsion and Judd, op. cit., 2006.

Turing A.M. (1936). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem // Proc. London Math. Society, Series 2, vol. 42, pp. 230–265.

Waldrop M. (1992). Complexity. NY: Simon & Schuster.

Watts D. (2002). A Simple Model of Global Cascades on Random Networks // PNAS, vol. 9, pp. 5766–5771.

Wolfram S. (2002). A New Kind of Science. Champaign, IL.: Wolfram Media.