

ГЛАВА 9

Долгая память. От Нила до рынка

В 1906 году молодой англичанин по имени Гарольд Эдвин Херст прибыл в Каир. Он предполагал пробыть в городе недолго. Но задержался на 62 года, успев за это время разгадать одну из величайших тайн фараонов и, сам того не ведая, предложить ключ к механизму работы финансовых рынков [57].

Херста интересовали разливы Нила. Воды великой реки, писал греческий путешественник и историк Геродот приблизительно в 450 году до н.э., начинают подниматься во время летнего солнцестояния, достигают максимального уровня в течение следующих ста дней и несут по течению ил, делающий почву столь плодородной, что в результате этого “местное население получает урожаи, вкладывая меньше труда, чем где-либо в мире”. Но чем вызваны эти благодатные разливы? Как говорится в древнейших легендах, Нил вытекает, словно молоко, из полных грудей богини Хапи. Жрецы же считали, что земной Нил образуется из водопада на Небесном Ниле. Была и такая версия: северные ветры, дующие с Средиземного моря, вздымают воды реки. Еще говорили о таянии снегов где-то далеко на юге, но Геродот такое объяснение не поддержал; очевидно, рассуждал он, что ни о каком снеге не может быть и речи на юге, где от палящего солнца люди приобрели черный цвет кожи. “Объяснить мне, что вызывает разливы Нила, не смогли ни жрецы, ни кто-нибудь другой”, — писал Геродот [58].

Египтян, однако, больше интересовала не *причина* разливов Нила, а *колебания масштабов* этих разливов в разные годы. Иногда вода поднималась очень высоко, иногда — низко. От этого зависело, будет ли год урожайным, ждет египтян процветание или бедность. Вспомним библейскую историю о семи урожайных годах и семи неурожайных, которые предсказал Иосиф, сын Иакова, истолковав сны фараона. Во времена Херста, когда земли Египта перешли под британское правление, решение тайны разливов Нила не потеряло своего значения. Численность населения в долине Нила быстро росла, манчестерские ткацкие фабрики нуждались в египетском хлопке, а выстроенные на реке дамбы не справлялись с регулированием столь обширного и драгоценного природного ресурса. Херсту, доросшему до должности главного ученого в министерстве общественных работ, поручили разработать проект так называемого “хранилища столетия”, в котором предполагалось накапливать воду на случай сильной засухи. Задача пугала своей грандиозностью. Херст заметил: “Ученые провели много исследований для прогнозирования разливов Нила, но ничего практически полезного так и не предложили. Мы никогда не можем сказать, каким будет разлив в следующем году” [59].

И все же он нашел формулу для разливов; за этот труд Херста стали почтительно называть Абу-Нилом, т.е. Отцом Нилом. Более того, ученый обнаружил, что его формула применима к широкому кругу других явлений: формированию илистых отложений на дне крымского озера, годовой структуре дождей в Нью-Йорке, росту годовых колец деревьев на вершине Пайкс Пик в Скалистых горах. И это еще не все. В 1960-х годах я, изучая научное наследие Херста, обнаружил ту же “нильскую структуру” во многих других сферах; самой необычной оказались колебания котировок акций. Нильская структура представляет важнейшую часть фрактальной геометрии. Другие ученые, в последние годы развивавшие мои исследования, нашли нильскую структуру в колебаниях цены нефти-сырца на международных рынках, золотых фиксингов в Лондоне и нерегулируемого рынка электроэнергии в США. Она стала вторым важным звеном в моей теории о том, как работают финансовые рынки, — необходимым дополнением к первому звену о законах самоповторения в масштабе и “толстых хвостах”, о которых говорилось

в предыдущей главе. В одной из последующих глав я добавлю третье звено и представлю читателю завершенную рыночную модель.

Хорошие ученые часто осторожны в своих высказываниях в официальных научных изданиях. Самым знаменитым таким сдержанным высказыванием в науке остается сформулированное в одном предложении замечание Уотсона и Крика в их первоначальном отчете о структуре ДНК, опубликованном в журнале *Nature* в 1953 году. Ученые писали: “От нашего внимания не ускользнуло, что вслед за постулированной парной структурой напрашивается мысль о возможном механизме копирования генетического материала”. Столь же осторожно Херст впервые сообщил о своем “нильском” открытии на заполненных научной информацией страницах *Transactions of the American Society of Civil Engineers* (“Протоколы американского общества инженеров-строителей”) за 1951 год. “Мне думается, что общая теория, — осторожно предположил ученый, — может найти и другое применение, не только в конструировании накопительных резервуаров для воды”.

Абу-Нил

Г. Э. Херст являл собой образец чиновника Британской империи. Родился он в 1880 году в семье небогатого деревенского строителя, чья семья жила близ Лестера почти три века. Из школы, где изучал химию и плотничное дело, ушел в 15-летнем возрасте и после вечернего училища стал в 20 лет стипендиатом Оксфорда. Ко всеобщему удивлению — о чем он впоследствии рассказывал мне, — получил степень с отличием первого класса по физике, несмотря на недостаток математической подготовки. Но лишь в Египте он нашел свое будущее.

В начале XX века Британской империи наконец-то удалось подавить мятеж фундаменталиста Махди в Судане, расположенном вверх по течению Нила. Наступил период относительного мира, роста и строительства дамб. Большая часть Нила оставалась в бесспорной собственности Британской империи: от озера Виктория до озера Альберта, до места слияния Белого Нила и Голубого Нила в Хартуме, в болотистых, покрытых илом или испещренных крутыми обрывами бассейнах в Судане и на юге Египта, вплоть до широкой Дельты на Средиземном море. Даже для такой обширной империи, как Британская, нильские расстояния были огромны. Река протянулась без

малого на 6700 км. Ее широкий бассейн покрывал 10% всей сухопутной территории африканского континента. У Нила обильные воды. Средний за столетие годовой расход (дебит) составлял 92,4 млрд. кубических метров. Как заметил Херст, даже одной восьмой части этого объема было бы достаточно, чтобы покрыть все английское графство Йоркшир слоем воды толщиной два с половиной фута (75 см).

После завершения строительства первой крупной плотины в Асуане в 1902 году британская наука и промышленность энергично принялись эксплуатировать экономический потенциал Нила, расширять площади орошаемых земель и даже контролировать разливы. По прибытии в Каир Херст получил свое первое задание, довольно эксцентричное: передавать из обсерватории в городскую крепость официальное время, чтобы ровно в полдень раздавался пушечный выстрел. Но благодаря солидной научной подготовке он вскоре был подключен к великому имперскому проекту картографирования и замеров реки. Херст отправился в экспедицию; передвигаться приходилось на небольшом речном суденышке, пешком вместе с носильщиками, на велосипеде, машине, а позднее и аэроплане. Английские инженеры и их египетские помощники измеряли скорость течения реки, определяя ее по скорости вращения погруженных в воду роторных счетчиков; с помощью свинцовых отвесов, фортепьянных струн и тригонометрии измеряли глубину реки. Строили новые мраморные указатели высоты подъема воды. В Судане, как сообщал Херст, «верхний слой почвы часто представляет собой серую глину, которую местные жители называют «хлопковой почвой». В засушливый сезон она ссыхается и трескается, а после дождя набухает и поднимается». Чтобы установить здесь указатели, приходилось ввинчивать сваи в лежащую под верхним слоем почвы постоянную подпочву. Измеряли уносимые водами Нила песок, глину и ил и отмечали, что концентрация примесей достигает максимума в конце августа, незадолго до верхней точки разлива, и уменьшается зимой (при этом вода почти полностью очищается). Экспедиция со своими измерителями скорости даже обследовала обширные болота в Судане, растянувшиеся вдоль реки на 700 км — область, которую обычно избегали все завоеватели еще со времен центурионов Нерона. И там, где всего на несколько поколений раньше исследователи Морган Стэнли, Спик и Бертон ступали с большим трудом и трепетом, новое

поколение прагматичных британских топографов, вооруженное теодоли-
тами, геодезическими уровнями и логарифмическими линейками, совер-
шило полноценную экспедицию и картографировало неисследованные
речные притоки в масштабе 1:50 000.

Главная цель команды заключалась в том, чтобы найти методы регули-
рования реки. Инженеры-гидравлики во времена Херста хорошо знали по-
стоянные сезонные (летние и зимние) колебания уровня воды. Но характер
колебаний год от года был им совершенно неясен. Дебит (расход воды) Нила
непредсказуемо менялся в очень широких пределах, от 151 млрд. кубоме-
тров в дождливые 1878–1879 годы до 42 млрд. в засушливые 1913–1914 го-
ды. Более того, спустя всего два года после названного засушливого перио-
да наступил следующий. “Сбивались” в группу и дождливые года. Тем не
менее, заметил Херст, это происходило “без видимой периодичности”. Как
же можно контролировать непредсказуемый процесс?

Очевидным решением казалась высокая плотина — достаточно высокая,
чтобы накапливать воду в течение нескольких дождливых лет и спускать ее
в русло реки, когда наступает засушливый период. Но насколько высокой
должна быть такая плотина? В XIX веке при строительстве плотин, как и в
финансах сегодня, люди предпочитали простой с точки зрения математи-
ческого аппарата путь. Инженеры предполагали, что колебания масштаба
разливов от года к году статистически независимы, подобно подбрасыва-
нию монет в опытах Башелье. Конечно, подбрасывая монету, можно порой
получить период, когда выпадает только орел или только решка; будь это
не так, в игре никто и никогда не побеждал бы. Для подбрасывания монеты
существует простая формула: размах между лучшим результатом Гарри в
один момент игры и его худшим результатом в другой момент изменяется
пропорционально квадратному корню из величины изменения количества
бросков. Например, монету подбрасывали 100 раз, и лучший результат
Гарри составил восемь, а худший — три. Размах между лучшим и худшим
результатами равен 11 (т.е. $8 + 3$). Теперь увеличиваем количество бросков
в 100 раз, до 10 000. Согласно формуле, размах между результатами должен
вырасти в 10 раз ($\sqrt{100} = 10$), т.е. до 110. В частности, возможен такой вари-
ант: лучший результат Гарри +67, а худший –43. Следуя примеру Гарри,
инженер-гидравлик может выполнить простые расчеты. Допустим, он

хочет заменить отслужившую 25 лет плотину более высокой, которая сможет 100 лет сдерживать разливы. Срок службы новой плотины вчетверо больше, чем старой. Значит, если полагаться на общепринятый математический аппарат, новая плотина должна быть вдвое ($\sqrt{4} = 2$) выше старой. Просто и понятно.

А также неверно. В действительности плотина должна быть еще выше, заключил Херст. Он обнаружил, что размах между самым высоким разливом Нила и самым низким растет быстрее, чем следует из правила монеты. Реальные подъемы воды были более высокими, а спады в засуху — более тяжелыми. Но проблема заключалась не в отдельных разливах; если рассматривать их по одному, то данные о колебаниях уровня воды в течение одного года достаточно хорошо описываются кривой Гаусса. Очевидно, картину меняли именно *периоды погоды* — когда подряд следовало несколько дождливых или засушливых лет. Стало ясно: значение имеет не только масштаб разливов, но и их последовательность.

Херст, изучая документы о разливах, разработал для описания этого природного явления собственную формулу. Начал с рассмотрения Нила, а затем заглянул намного дальше, абстрагируясь от первоначальной задачи. Он собрал данные по дебиту озера Гурон и реки Траки возле озера Тахо. Проанализировал ежегодные колебания уровня воды шведского озера Даль-Эльвен, величину осадков от Аделаиды (Австралия) до Вашингтона (округ Колумбия, США), толщину донных отложений в озерах России, Норвегии и Канады, колебания температуры воздуха от Сент-Луиса до Хельсинки, структуру годовых колец корабельных сосен и секвой и даже количество пятен на Солнце. Он “перелопатил” все, какие нашел, надежные и собранные за длительное время данные, имеющие хоть какое-нибудь отношение к климату; в общей сложности изучил 51 различное природное явление и проанализировал 5915 годовых измерений. И почти во всех случаях, когда Херст строил график зависимости размаха между наибольшим и наименьшим значениями от количества лет, он убеждался, что размах расширяется очень быстро — так же быстро, как разливается Нил. Весь окружающий мир, обнаружил пытливый англичанин, подчиняется одной аккуратной формуле: размах расширяется пропорционально не корню квадратному из количества бросков, как при подбрасывании монеты, а пропорционально

возведенному в степень $3/4$ (0,73, если точно) количеству наблюдений (рис. 9.1). Странное некруглое число, но оно, утверждал Херст, относится к фундаментальным фактам природы [60].

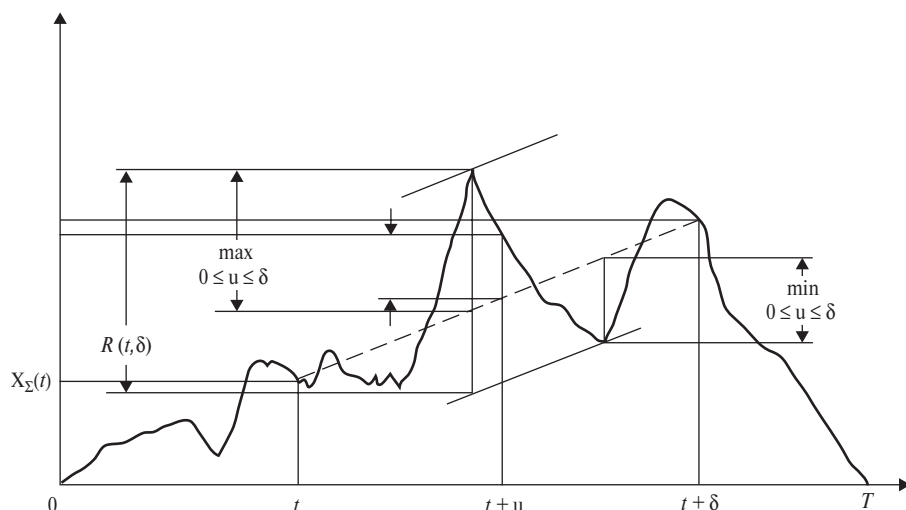


Рис. 9.1. Ширина размаха

Насколько высокой должна быть плотина? Эту проблему пытался решить гидролог Г. Э. Херст, когда изучал Нил. Он нашел новый мощный метод оценки ширины размаха в серии измерений. Херст пытался охарактеризовать полный поток воды возле одного из гидрологических указателей (конкретно — указателя “Рода”) за вычетом исторического среднего значения за много веков. Прислушайся он к общепринятой мудрости экономических статистиков, то начал бы с размаха — разности между максимальным и минимальным значениями. Но Херст нашел лучший способ, который и опубликовал в 1951 и 1955 годах: для временных интервалов различной длительности и с различными начальными моментами он сначала, подгоняя данные, устранял тренд (тенденцию) в каждом интервале, а только затем рассчитывал ширину размаха. Статистики, полагаясь на аналогию с броуновским движением, предположили бы, что ширина лишнего тренда диапазона будет возрастать пропорционально квадратному корню из длительности временного интервала. Но, как в действительности обнаружил Херст, ширина росла быстрее. Такая аномалия, с точки зрения статистиков, не имела смысла, однако Херст упрямо отстаивал обнаруженную им закономерность. Эта история могла бы кануть в прошлое незамеченной, но чистая удача позволяет мне истолковать ее как признак самоповторения в масштабе, или фрактальности. Для выявленного Херстом явления, не нашедшего места в науке того времени, я предложил концепцию долгосрочной зависимости и расширил ее на

финансовые цены. Представленный здесь график можно рассматривать как ценовую диаграмму. Нас интересует интервал от момента времени t до момента времени $t + \delta$ (дельта). Исключенный тренд изображен штриховой линией. Разрыв между наибольшим и наименьшим отклонениями от тренда я в своей работе *Mandelbrot 2002* определил как “мостовой” размах.

Гидрологи восприняли открытие скептически. В 1951–1956 годах Херст (ему тогда было уже за семьдесят) опубликовал три очерка о полученных результатах. Каждый сопровождался шквалом печатных комментариев сторонников и противников. Одни предлагали в поддержку выводов Херста дополнительные данные; другие обвиняли его в статистическом трюкачестве. Ф. Э. Шармен, главный инженер по строительству в компании *Sir William Halcrow & Partners*, саркастически заметил, что нашедший связующую нить между годовыми кольцами деревьев, пятнами на Солнце и слоями грязевых отложений “сделал бы сенсационный шаг на пути к открытию единого универсального закона природы”. Но в данном случае, продолжил с иронией Шармен, “единственное, что объединяет описанные явления, — их анархия”.

Может быть, но формула работает. Например, мы хотим обеспечить бесперебойное водоснабжение Нью-Йорка в течение столетия. Какой емкости резервуары нам нужны для этого? Ответ дает формула Херста. В 1826–1945 годах, писал Херст, средний уровень дождевых осадков в этом городе составлял 1067 мм в год; стандартное отклонение равнялось 160 мм. Чтобы покрывать экстремальные значения уровня осадков (в засушливые или особо дождливые годы) в течение ста лет, емкость резервуаров, согласно формуле Херста, должна быть достаточной для 16,7 стандартного отклонения, т.е. для 2670 мм или 2,5-годовалого запаса. В дальнейшем другие гидрологи на примере других рек подтвердили основные выводы Херста. Собственные расчеты ученого показали, что Нил можно приручить с помощью цепочки взаимозависимых резервуаров среднего размера в верховьях реки, вдали от Египта. Но к тому времени, когда в 1950-х годах было принято решение о начале строительства, новое независимое правительство Гамалия Абделя Насера предпочло приступить к реализации другого, более грандиозного и политически весомого проекта, Асуанской плотины. Правда, и в этом случае расчеты Херста оказались нелишними.

Отец Время

Далеки друг от друга реки Нил и Чарлз; но впервые я услышал о работе Херста в 1963 году, когда преподавал экономику в Гарварде. Тогда мои лишь недавно опубликованные исследования хлопковых цен только начинали будоражить научную общественность. Однажды по окончании лекции на эту тему ко мне подошел неизвестный человек. По сей день жалею, что не запомнил его имя; очень хотелось бы поблагодарить незнакомца за его слова.

— Знаете, — сказал он по поводу моей теории самоповторения цен в масштабе, — ведь вы обнаружили степенной закон. Но я слышал, что такой закон выявил еще какой-то гидролог для разливов Нила. Возможно, это и несерьезно, а может, здесь есть что-то общее. Я подумал, что вас такое совпадение может заинтересовать.

Сначала я сделал поспешный вывод, что совпадение *наверняка* не случайно. Самоповторение в масштабе и степенные законы присутствуют во стольких явлениях, рассуждал я, так почему бы им не быть и в гидрологических циклах? Проверить гипотезу не представляло труда. Сколь ни удивительно встретить в романтическом, увитом плющом университетском городке такое прозаическое заведение, как Гарвардский центр по изучению водных ресурсов, но оно находилось всего в нескольких сотнях метров от моего учебного корпуса. Работавший там один из ведущих гидрологов, профессор Гарольд Э. Томас-мл. сразу же рассказал мне о наблюдениях Херста. А я столь же быстро провел аналогию между законом Херста и моей хлопковой формулой: диапазон между максимальным и минимальным уровнями разливов Нила изменялся пропорционально стандартному отклонению в степени $3/4$, что звучало вариантом схемы колебаний хлопковых цен. Масштабные разливы, подумал я, подобны крупным скачкам цен, а катастрофические засухи соответствуют рыночным кризисам.

Однако великие теории часто заходят в тупик из-за мелких фактов. Все оказалось не так просто, как мне виделось сначала. Изучив работы Херста, я выяснил, что он говорил не о размахе колебаний, а об их точной последовательности. Если рассмотреть собранные им данные в произвольном порядке, то ничего особенного не увидишь; обнаружится банальная, скучная кривая Гаусса. Но меня вся эта история уже задела за живое. Нужно было докопаться до истины. Расследуя хлопковое дело, я обнаружил четкую

корреляцию (связь) между прошлыми и будущими ценами; в свое время я только отметил эту особенность, но детально ею не занимался. Свои исследования я проводил, исходя из предположения о независимости каждого отдельного значения цены от предыдущего, отложив изучение последовательности цен “на потом”. Работы Херста стали для меня сигналом, что это “потом” уже наступило. К тому же они имели дополнительное очарование: его исследование касалось столь же древних, как сами пирамиды, событий.

Как прошлое формирует будущее? Философ сформулировал бы этот вопрос по-другому: наши пути определяет судьба или же мы выбираем их сами? А вот и математическая версия этого непростого вопроса: зависит или нет одно событие от другого? Если событие *B* зависит от события *A*, то наступление события *A* меняет шансы на то, что произойдет событие *B*. Как свидетельствует опыт, шансы баскетболиста попасть в кольцо в третий раз повышаются, если до того он выполнил два успешных броска подряд. Известно, что спортсмены порой показывают целые серии особо ярких достижений, независимо от того, чем это обусловлено — уверенностью в себе или какими-нибудь другими причинами психологического свойства; в какой-то мере успешные броски (удары) взаимозависимы. Но как долго продлится такая “горячая” серия? Прервется ли она после всего одного промаха? Или, чтобы разрушить серию, нужны два, пять промахов? Говоря математическим языком: в течение скольких периодов времени зависимость статистически значима? Посмотрим на проблему с другой стороны. Поставим себя на место зрителя, наблюдающего за баскетбольным матчем с трибун. Сколько промахов должен сделать игрок, чтобы зритель решил: “горячая” серия этого парня уже закончилась? Три? Семь? То, что на первый взгляд выглядит закономерностью (трендом, тенденцией), не окажется таковой при более пристальном рассмотрении. Как, к своему сожалению, знает каждый биржевой чартист (специалист по диаграммам и графикам): самые случайные и независимые события могут внезапно сгруппироваться и образовать новую тенденцию или цикл.

Экономисты подходят к этому явлению упрощенно. Во-первых, как уже говорилось, большинство финансовых моделей построены на предположении (кстати, ложном), что цена в один день не зависит от предыдущей цены, т.е. якобы мы имеем “случайное блуждание” цен. В то же самое время

для некоторых экономических величин — производства, инфляции, безработицы — некоторая форма зависимости считается нормальной, причем экономисты научились оценивать силу и протяженность этой зависимости. Если в апреле инфляция растет, то насколько вероятен ее рост в мае? А двумя месячными периодами позднее, в июне? Или тремя? Для каждого промежутка времени экономисты оценивают силу корреляции, обозначая величиной +1 событие, которое строго повторяет предыдущее, и величиной -1 — прямо противоположное предыдущему. Ноль, среднее между этими двумя значение, обозначает полное отсутствие зависимости, т.е. события происходят совершенно спонтанно и независимо друг от друга. На шкале корреляции между двумя крайними значениями (-1 и +1) может быть бесконечное количество промежуточных. Каждое соответствует определенной краткосрочной зависимости, со своей силой и знаком (положительным или отрицательным). Чаще всего самой сильной оказывается краткосрочная зависимость между смежными периодами, а самой слабой — между далеко расположенными друг от друга периодами. Если построить график зависимостей, от краткосрочных до долгосрочных, то получим быстро убывающую кривую. Скорость убывания разная для разных экономических величин. Например, инфляция “инерционна”: ее кривая убывает достаточно медленно. Однако если она “наберет обороты”, ее трудно остановить, в чем убедились центральные банки многих стран в 1970-х годах. Убывание других экономических величин проходит не плавно; их кривые имеют специфические всплески. В частности, так меняются котировки зерновых акций: всплески наблюдаются через год, поскольку годовой цикл посева и уборки урожая сильно влияет на предложение зерна на рынке. Корреляция такого стандартного макроэкономического показателя, как валовой внутренний продукт страны, постепенно снижается до нулевого значения, но при этом кривая имеет несколько неровностей — часто через несколько лет, затем в период с 15-го по 20-й года, и в период с 40-го по 60-й года. Уже много лет экономисты спорят о причинах этих пиков, так и не находя ясных ответов.

Стоит ли ограничиваться 15 или 50 годами? Работа Херста навела меня на мысль о чем-то более радикальном: о корреляциях, которые убывают со временем, но столь медленно, что, кажется, никогда не исчезнут полностью, как бы далеко назад во времени мы ни возвращались. Возможно ли такое?

Вспомним, что Херста в конечном счете интересовал уровень воды в резервуарах; его формула для диапазона — это в сжатом виде математический аппарат для расчета оптимальной высоты плотины и уровня воды. Допустим, на протяжении нескольких дождливых лет резервуар заполняется. Затем следует череда лет с преимущественно средним уровнем осадков, но резервуар не высыхает, поскольку сказывается эффект предыдущих дождливых лет. Далее идут один за другим ряд засушливых лет, и уровень воды в резервуаре быстро падает. Несмотря на это, в нем остается больше воды, чем было бы в отсутствие последнего дождливого периода; эффект тех лет все еще сказывается. Описанный процесс изображен на рис. 9.2 в виде графика ширины годовых колец одних из старейших деревьев на земле — остистых сосен на вершине Кампито в калифорнийских Белых горах. Кривая начинается, как и большинство подобных диаграмм (их еще называют коррелограммами), с высоких значений корреляции для коротких временных периодов: смежные годовые кольца — отметки роста, разделенные всего одним или двумя годами, — сильно коррелированы. Уже через несколько лет зависимость ослабевает; связь между значениями, разделенными десятилетием или столетием, уже более бессистемна. Тем не менее корреляция ослабевает медленнее, чем ожидалось. В действительности, лишь через 150 лет она становится столь несущественной, что уже невозможно отличить ее от простой случайности с помощью обычных статистических методов. Мне пришлось разработать новые, идею которых подсказали работы Херста. Чем же объясняется связь через столь много лет? Возможно, глобальным потеплением.

Это долгосрочная зависимость. Довольно сложная концепция, поэтому начнем рассматривать ее с примера, который позволит нам понять общую идею. Чистое радиоактивное вещество распадается со временем в геометрической прогрессии. По прошествии периода полураспада остается половина от начального количества; по прошествии двух периодов полураспада остается лишь четверть; затем одна восьмая; а затем практически ничего. Теперь рассмотрим смесь различных радиоактивных веществ с очень короткими, средними, продолжительными и очень продолжительными периодами полураспада. Когда веществ с коротким периодом полураспада уже практически не останется, другие только начнут распадаться; их эффект продолжится. Здесь мы наблюдаем долгосрочную зависимость. Данный пример

вовсе не гипотетический: известно, что на месте ядерного взрыва образуется радиоактивный “гуляш” с большим количеством различных значений периода полураспада. Почти во всех других случаях идея о смеси всего лишь метафора, но она помогла мне использовать концепцию долгосрочной зависимости для объяснения данных, полученных Херстом. Вообще, эта концепция — один из столпов фрактальной геометрии.

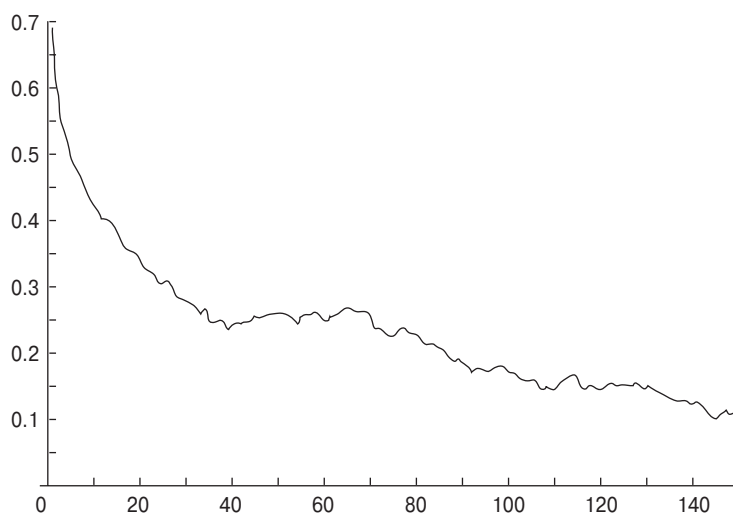


Рис. 9.2. Долгая память деревьев

Начнем с какого-нибудь события — скажем, с холодного года, когда рост деревьев замедляется. В следующем году соответствующее годовое кольцо будет таким же, как первое, или шире? А через десять лет? Через сто? Этот график, взятый из *Baillie 1996*, называется коррелограммой. На нем показано, как зависимость между значениями ширины годовых колец деревьев, растущих на горе Кампито в Калифорнии, изменяется со временем. Мы видим длительное и медленное убывание — более медленное, чем ожидалось.

Обратимся к миру финансов. В 1982 году *IBM*, на то время крупнейшая в мире компьютерная компания, решила, что некоторые выскочки в *Apple* угрожают перспективам нового товара *IBM*, названного персональным компьютером. *IBM* действовала не характерным для нее образом — быстро. Отказавшись от идеи задействовать собственные крупные заводы по производству полупроводников и подразделения по разработке программного обеспечения, компания поручила изготавливать микропроцессоры некой

малоуспешной фирме под названием *Intel*, а писать программы для ПК — какому-то ничем не прославившемуся, но толковому малому по имени Билл Гейтс. Конец этой истории ныне общеизвестен: *Intel* и *Microsoft* очень быстро выросли, превзойдя самые смелые ожидания, тогда как *IBM* утратила свои рыночные позиции и уменьшилась в размере. Тем не менее судьбы этих трех компаний до сих пор тесно переплетены. Котировки их акций зависят друг от друга, поскольку успехи или неудачи одной компании отражаются на деятельности и рыночном рейтинге других. Событие более чем 30-летней давности — когда *IBM* выступила для двух новых промышленных гигантов в роли повивальной бабки — и сегодня эхом отражается на котировках акций *IBM*. В результате мы видим долгосрочную зависимость, со “сроком давности” более 30 лет. Можно привести пример еще более длительной зависимости: расформирование в 1911 году по решению суда треста *Standard Oil Trust* Джона Д. Рокфеллера и по сегодня сказывается на оставшихся после треста “наследниках” — компаниях *ExxonMobil*, *ConocoPhillips*, *Chevron Texaco* и *BP Amoco*.

Никто не может быть независим от мира. Ни одно действие не остается без последствий. Один из догматов теории хаоса гласит, что в динамических системах результат любого процесса чувствителен к его исходной точке; известное клише гласит: бабочка, взмахнувшая крылом на Амазонке, может вызвать торнадо в Техасе. Я не утверждаю, что рынки хаотичны, хотя моя фрактальная геометрия — один из основных математических инструментов “хаосологии”. Но несомненно другое: мировая экономика — это безмерно сложная машина. Ко всей сложности физического мира погоды, урожаяев, рудных залежей и заводов прибавляется психологическая сложность людей, действующих в соответствии со своими скоротечными ожиданиями того, что может или не может произойти. Люди, по сути, подвижны чистыми иллюзиями. Компании и котировки акций, торговые потоки и валютные курсы, урожай зерновых и товарные фьючерсы — все они взаимосвязаны в большей или меньшей степени, и мы только начинаем понимать природу этих связей. В таком мире влияние давно минувших событий на современность вполне согласуется со здравым смыслом.

В 1960-х годах некоторые старожилы Уолл-стрит, еще помнившие биржевой крах 1929 года и Великую депрессию, предупреждали меня: “Когда

мы уйдем на покой, что-то будет безвозвратно потеряно. Это что-то — память о 1929-м”. Ветераны говорили, что благодаря своей коллективной памяти они действуют осторожнее. Их поколение совместно выполняло функцию внутреннего тормоза, сдерживавшего самые необузданные формы биржевой спекуляции, служило своеобразным страховым полисом против “финансовых эксцессов” и обычно следующих за ними катастроф. Их память обеспечивала практическую форму долгосрочной зависимости на финансовых рынках. Стоит ли удивляться, что в 1987 году, когда многие из этих людей уже не работали, а их мудрость была забыта, рынок пережил свою первую катастрофу за последние без малого 60 лет? Или тому, что два десятилетия спустя мы стали свидетелями самого активного за несколько поколений “рынка быков” и наименее активного “рынка медведей”? В то же самое время стандартная финансовая теория утверждает, что при моделировании рынков значение имеют только сегодняшняя информация и ожидания завтрашней.

Случайное блуждание

Неплохая идея — долгая память. Но какая от нее практическая польза?

Вернемся к исходному броуновскому движению отдельных частиц в воде. Насколько молекула удалится от своей стартовой позиции через две наносекунды или через два часа? Согласно упоминавшемуся ранее правилу квадратного корня, броуновская частица, движущаяся сто секунд, пройдет приблизительно вдесятеро большее расстояние, чем частица, время движения которой составляет одну секунду. Для стандартных финансовых моделей колебания цен это очень удобное правило. Оно показывает, насколько за заданный период может подняться или упасть цена актива и насколько сильны будут ее колебания в этом широком диапазоне. Броуновское движение — лучший друг банковского экономиста. Если босс попросит его спрогнозировать, каким будет обменный курс доллара и фунта стерлингов через год, экономист прибегнет к ловкому ходу. Исходя из сегодняшнего курса 1,65 долл. за 1 фунт, он назовет не точную цифру, например 1,7 долл., а туманный броуновский диапазон: “Фунт будет стоить 1,55–1,75 долл., и мы можем достаточно уверенно полагать, что курс будет расти в этих пределах, если экономика США не избавится от своих нынешних проблем, если

инфляция в Великобритании будет расти умеренными темпами, если...” Делая такие осторожные предсказания, он сохраняет свое место работы, а также возможность и в следующем году предложить начальству очередной “глубокий” прогноз.

Но что произойдет, если обменный курс выйдет за пределы, предсказанные по закону “квадратный корень из времени”? Нашему экономисту не поздоровится. И это вполне вероятная ситуация, если для обменного курса прослеживается долгосрочная зависимость. Движение курса в одном направлении продолжится и на следующий день, и несколькими днями позже. Дневные скачки курса сохранятся, но в долгосрочной перспективе он будет удаляться от исходной точки все дальше и дальше. Теперь, когда мы допустили существование долгосрочной зависимости, курс уже не меняется по чистой, слепой случайности. Появляется закономерность, как и в случае разливов Нила.

Я обозначил эту закономерность латинской буквой H , в честь Херста, но также из уважения к работавшему над этим еще раньше математику Людвигу Отто Хелдеру. (Странно, но он занимался этой темой просто из любопытства.) Формула начинается, как знакомый нам броуновский случай: пройденное расстояние пропорционально прошедшему времени, возведенному в некоторую степень. Однако теперь эта степень не $1/2$ (т.е. не квадратный корень). Она может быть любым дробным числом от нуля до единицы, и при каждом получаем совершенно другую последовательность цен. Если H больше броуновской степени $0,5$ — скажем, $0,9$, — то цена намного удалится от своего исходного значения; ее движение “инерционно”, подобно мулу, желающему идти своим путем, независимо от команд погонщика. Конечно, в конце концов она изменит свое направление на противоположное, и в целом приращения цены образуют колоколообразную кривую Гаусса. На каждое движение в прямом направлении придется свое движение в противоположном, но все же однонаправленные движения группируются вместе, как разливы Нила. Теперь рассмотрим противоположный случай: H меньше броуновской степени $0,5$ — скажем, $0,1$; цена или частица блуждает меньше. За каждым шагом, как правило, следует шаг в противоположном направлении, затем опять в прямом и вновь в обратном; частые колебания происходят в узком диапазоне. Если вновь прибегнуть к

аналогии с погонщиком, то он теперь оседлал испуганную лошадь, которая предпочитает держаться надежной тропы, а не мчаться галопом в темное поле в сторону (влево или вправо) от знакомого пути, повинуюсь командам человека.

Следующие диаграммы иллюстрируют сказанное (рис. 9.3). На них показаны не положения точки при броуновском движении, а изменения или шаги вверх либо вниз при переходе от одного мгновения времени к следующему.

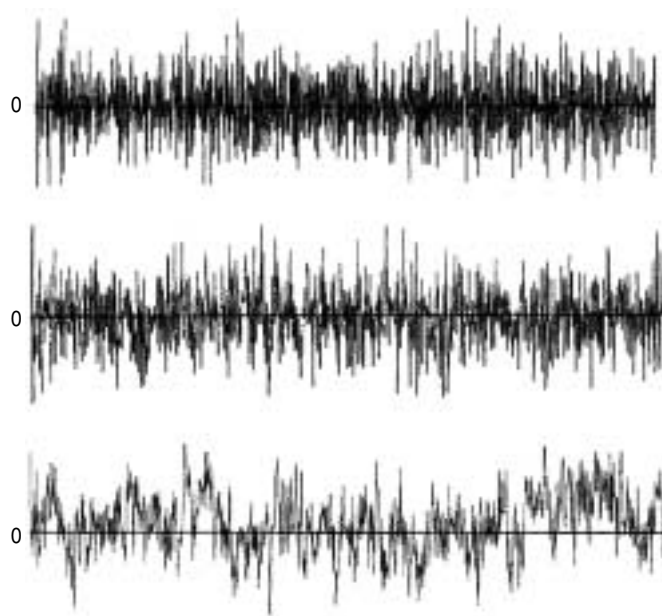


Рис. 9.3. Выявление трендов

Стандартные финансовые модели основаны на предположении, что каждое изменение цены независимо от предыдущего. Но если такое предположение ошибочно? Эти диаграммы, построенные на графическом планшете Calcomp, можно назвать антиквариатом в мире компьютерной графики. Тем не менее они представляют три модели ценовых приращений. Средняя диаграмма показывает стандартную финансовую модель, построенную на предположении независимости каждого изменения цены от предыдущего. В данном случае параметр H , характеризующий зависимость, равен 0,5. Нижняя диаграмма соответствует случаю, когда цены подчиняются общей тенденции продолжать движение в начальном направлении; другими словами, получаются длинные периоды положительных (или же отрицательных) изменений цены. Здесь $H = 0,9$. Верхняя диаграмма иллюстрирует противоположное явление: движение в одном направлении сразу же, как правило, сменяется движением в обратном ($H = 0,1$).

Нижняя диаграмма иллюстрирует “инерционный” случай, когда степень H велика и результирующие ценовые тренды широки. Средняя соответствует классическому броуновскому случаю. Верхняя — это “антиинерционный” случай, когда степень H мала и колебания интенсивны, но совершаются в ограниченных пределах. Ввиду того, что H принимает дробные значения, я назвал сумму этих взаимозависимых приращений “дробным броуновским движением”.

Характерная особенность большинства процессов с долгой памятью — это нарастание и спад *видимых* закономерностей, их возникновение и исчезновение. Они могут “испариться” в любой момент. Подлинная инерционность отсутствует, а поэтому нельзя говорить о предсказуемости таких процессов. Вновь взглянем на инерционные диаграммы дробного броуновского движения, т.е. верхнюю и нижнюю. Можно выделить интервалы, в рамках которых преимущественное видимое направление движения — вверх или вниз, что определяется чистой случайностью. Если попытаться сыграть на таком тренде, то в течение какого-то времени действительно можно выигрывать, но с равным успехом можно и проиграть, если ошибиться в выборе момента времени. Диаграммы могут служить как подсказкой, так и дезинформацией. Мозг выделяет то, что он воспринимает как существующую в исходных данных закономерность, а противоречивую информацию игнорирует. Человек по своей природе хочет видеть в мире порядок и иерархию. Если он их не находит, то просто придумывает.

Непростой путь параметра H

Новым идеям часто приходится пробивать себе дорогу. В 1964 и 1965 годах я написал три статьи о своей работе над теориями зависимости и скейлинга (самоповторения в масштабе). К моему разочарованию, на них мало кто обратил внимание. Они противоречили общепринятым взглядам, и потому солидные журналы моим статьям были не рады. Некоторые мои друзья предположили, что дело в стиле, а не в содержании. Они убеждали меня в том, что журналы больше всего ценят простое и ясное математическое изложение. Я прислушался к советам и предложил сотрудничество молодому математику Джону Ван Нессу, тогда работавшему в Университете Вашингтона

в Сиэтле, в надежде с его помощью написать более ортодоксальную статью. Однако и наше совместное творение отвергли “из-за отсутствия новизны” (видимо, в этом мне следует винить себя самого, поскольку именно я настаивал на обширном цитировании любого математика и экономиста прошлых лет, подошедшего к нашим идеям ближе чем на милю). Наконец, спустя два долгих года после того, как мы написали совместную статью, случайная встреча на каком-то официальном обеде с одним главным редактором дала мне шанс напечататься в 1968 году, правда, в неожиданном издании — журнале *SIAM Review* Общества промышленной и прикладной математики (*Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM)*). Если бы время, которое современный ученый вынужден тратить на то, чтобы пробить себе дорогу, он направлял на исследования, то какие бы научные чудеса мы уже совершили!

Между тем я решил продемонстрировать свои теории на практике. Я начал моделировать систему накопления воды, как в свое время Херст. Пытался сделать это в сотрудничестве с одним гарвардским гидрологом, но его компьютерная программа выдала нам полную чепуху. (В этом он обвинил меня; не всегда научное сотрудничество проходит гладко.) Затем вновь вмешался случай. Осенью 1967 года компания *IBM* приняла к себе на работу бывшего правительственного гидролога и члена гарвардской докторантуры по имени Джеймс Р. Уоллис. *IBM* стремилась, во-первых, идти в ногу со временем и потому хотела создать себе имидж равнодушной к проблемам экологии компании и, во-вторых, сделать экологию, включая систему рек, еще одним рынком для своей компьютерной продукции. С Уоллисом мы работали. Когда подошло время опубликовать наши результаты, мы не стали полагаться на волю случая, а отправились напрямик к главному редактору ведущего гидрологического журнала *Water Resources Research* (*Исследования водных ресурсов*). Чтобы убедить его опубликовать нашу статью, я подготовил искусные диаграммы моей гидрологической модели, рассчитанные на компьютере, но построенные на мучительно медленном графическом планшете Calcomp. В 1968 году эта машина была передовым краем техники, однако ее “графический продукт” получился слишком бледным, поэтому для публикации в журнале пришлось все диаграммы вручную перевести “жирными” линиями на кальку и лишь затем сфотографировать.

Упомянутый главный редактор журнала, седовласый и сдержанный д-р Уолтер Лэнгбейн, был также высокопоставленным чиновником Геологического управления США. Убедить его казалось нам непростой задачей. Мы встретились с ним и несколькими его коллегами-чиновниками на одной конференции Геофизического союза в Балтиморе. В гостиничном номере мы одну за другой разворачивали перед ним наши распечатки, предложив ему игру: отличит ли он диаграммы, построенные по реальным гидрологическим данным, от фиктивных? А среди фиктивных отличит ли он основанные на моих расчетах дробного броуновского движения от построенных с помощью общепринятых гидрологических моделей? Последние по практическим причинам идентичны тем, которыми оперирует “современная” теория финансов. Д-р Лэнгбейн перерыл ворох бумаг, разбросанный на его кровати, и сразу же нашел несколько подделок, в том числе основанную на одном его собственном исследовании. Это его позабавило, и он рассмеялся. Я понимал, признался он нам, что использовал грубую модель, но не представлял, насколько грубую. После еще нескольких попыток найти подделки д-р Лэнгбейн сдался, поскольку не мог отличить наши модели от реальных данных. Мы показали ему ключ, написанный на обороте каждой иллюстрации, после чего он с большим интересом выслушал наш рассказ о работе моделей и тут же согласился опубликовать статью даже без обычной процедуры научного рецензирования. Такие решительные редакторы — соль земли, но, к сожалению, в научном издательском деле они встречаются редко. Гораздо чаще сталкиваешься с избегающими риска бюрократами, накрепко вцепившимися в свое редакторское кресло [61].

В экономике новые идеи всегда принимались с трудом; непонимание сохранилось и по сей день. Конечно, экономисты тоже говорили о зависимости. В 1965 году Ирма Адельман, в то время адъюнкт-профессор в Университете Джона Хопкинса, написала статью “Длительные циклы — факт или артефакт?” В следующем году Клайв У. Дж. Грэнджер, молодой математик из Ноттингемского университета в Англии (в 2003 году получивший Нобелевскую премию), перешел от вопроса к утверждению. Грэнджер писал, что “типичная” экономическая переменная имеет очень долгосрочные зависимости. Долгосрочные — да, но прав ли был я, когда говорил о бесконечной памяти? *Vade retro, Satanas!* Изъиди, Сатана! Однако со временем

экономисты начали находить доказательства — в ценах на золото, на нефтяных рынках, в обменных курсах. Но они также обнаружили много рынков, не соответствующих этой теории. Мои собственные исследования показывали, что цена на хлопок и пшеницу и курс британских правительственных облигаций вели себя независимо. При тщательном анализе фактов выяснилась странная вещь: уровень зависимости разный для разных финансовых активов. Этот уровень, кажется, выражается предложенным мною показателем H размаха “случайного блуждания”. Может ли H стать новым финансовым критерием, как индекс Доу-Джонса, бета или другие числа, столь любимые на Уолл-стрит?

Я вновь принялся за работу, на этот раз с Мурадом С. Такку, докторским диссертантом (Ph.D.) из Колумбийского университета, у которого я был научным руководителем. Этот молодой статистик также работал у меня ассистентом по исследованиям; он переписал компьютерную программу для проверки фрактальности и оценки H . Повторюсь, что все это происходило во времена дорогих компьютеров и сложных языков программирования. Машинное время для работы на самом большом “железе” IBM нам предоставили в долгий рождественский уик-энд. Компьютер пожирал горы данных о ценах, которые мы ему скармливали, и выдавал через Calcomp стопки диаграмм. Это исследование подтвердило удивительно сложный диапазон для H . Так, процентные ставки по кредитам, выданным банками брокерам (“онкольные кредиты” на жаргоне Уолл-стрит), сильно зависимы: для них $H = 0,7$, т.е. тренды роста или снижения продолжительны и инерционны, возможно, просто потому, что следуют за общими тенденциями в экономике. Цены на пшеницу и облигации Великобритании имеют $H = 0,5$, что говорит о их независимости, как предполагается в стандартной финансовой теории и в моей модели 1963 года для хлопка.

По правде говоря, здесь еще не все ясно. И теорий слишком много. В некоторых говорится, что высокий показатель H присущ очень рискованной “импульсивной” игре на бирже, когда эмоциональное массовое поведение (“инстинкт толпы”) может легче увлечь инвесторов. И напротив, H , близкое к 0,5, означает случайный, арбитражный фондовый рынок, который лучше согласуется с классической броуновской моделью работы рынков.

Например, Эдгар Э. Питерс, старший инвестиционный менеджер бостонской компании по управлению фондами *PanAgora Asset Management*, сообщил, что обнаружил высокие H для ценных бумаг компаний *Apple* (0,75), *Xerox* (0,73) и *IBM* (0,72). Акции с более устойчивой котировкой имели и меньшее значение H : *Anheuser-Busch* – 0,64, *Texas State Utilities* – 0,54. На валютном рынке некоторые экономисты обнаружили, что валюты, тесно привязанные к доллару США, такие как канадский доллар, имеют почти броуновское H , т.е. 0,5. Другие, например малазийский ринггит, больше походили на акции высокотехнологичных компаний с высоким H . Однако к таким исследованиям следует относиться осторожно. Достоверность данных, тщательность анализа и даже фундаментальные исследовательские методы весьма разнятся в разных исследованиях. Так, в 1991 году экономист Массачусетского технологического института Эндрю У. Лоу опубликовал веское опровержение моих сообщений об H . Он писал, что в моих статистических тестах легко спутать долгосрочную память с эффектами краткосрочной. Правда, вскоре другие экономисты заявили, что его собственные исследования, в свою очередь, могут быть ошибочными [62]. Отсюда урок: никогда не спеши и *никогда не публикуй* результаты, полученные с помощью только одного исследовательского инструмента.

Кроме того, вся эта сфера довольно сложна, и одного простого теста для ее исследования недостаточно. Долгосрочная зависимость, полностью описываемая одним только H , – это особый случай дробного броуновского движения, показанного на рис. 9.3. Также возможно существование множества разных показателей степенной функции. Например, для обменного курса доллара и немецкой марки один из показателей говорит о независимости изменений цены, тогда как другие свидетельствуют о зависимости, и именно это верно. Столь сложная ситуация ничем не похожа на простую “современную” финансовую модель, построенную по принципу простой и понятной игры в “орла и решку”.

Все здание современной финансовой теории покоится, как говорилось выше, на нескольких упрощающих предположениях. Одно из них о том, что *homo economicus* (“человек экономический”) рационален и эгоистичен. Это предположение ошибочно, как мы уже знаем из истории с иррациональными, движимыми психологией толпы лопнувшими “пузырями” 1990-х годов.

Следующее предположение: колебания цен образуют кривую Гаусса. И это тоже ложно, что подтверждается обширными исследованиями, которые с 1960-х годов проводили я и многие другие ученые. Не выдерживает критики и предположение о том, что колебания цен, как говорят статистики, распределены независимо и однозначно, подобно результатам подбрасывания монеты, когда каждый бросок никак не зависит от предыдущего. Доказательств краткосрочной зависимости уже накоплено более чем достаточно. А теперь появляются принимаемые все более широким кругом ученых, но все еще небесспорные свидетельства существования долгосрочной зависимости.

Некоторых экономистов при обсуждении долгосрочной памяти беспокоит, что эта концепция подрывает гипотезу эффективного рынка. (Вспомним ее основные положения: цены полностью отражают всю относящуюся к делу информацию; “случайное блуждание” — лучшее метафорическое описание таких рынков; выиграть на таком непредсказуемом рынке невозможно.) На это можно возразить: гипотеза эффективного рынка — всего лишь гипотеза. Не одна прекрасная теория была повержена под градом реальных фактов.

Долгосрочная зависимость в иллюстрациях

Вновь обратимся к карикатурам. Как показано в предыдущих главах, фрактальная геометрия позволяет синтезировать сложные структуры из начального простого элемента. Мы начинали с приблизительной диаграммы броуновского движения, а затем получили непрерывный ценовой график с “толстым хвостом”. Такой же процесс можно использовать для иллюстрации темы настоящего раздела, посвященного долгосрочной зависимости.

На рис. 9.4 фрактальный инициатор — это, как и прежде, восходящая прямая линия тренда, а генератор — простой ломаный фрагмент из трех отрезков: восходящий, нисходящий, опять восходящий. В случае броуновского движения мы выбирали ширину интервала, равную корню квадратному из его длины (т.е. ширина равна длине в степени $1/2$). Назовем показатель степени H . Это не совпадение. Как описывалось выше в этой главе, броуновское движение не имеет зависимости, т.е. прошлые и будущие изменения не влияют на другие приращения, а показатель степени H , описывающий это

движение, равен точно $1/2$. Что произойдет, если мы изменим показатель степени генератора этой фрактальной диаграммы?

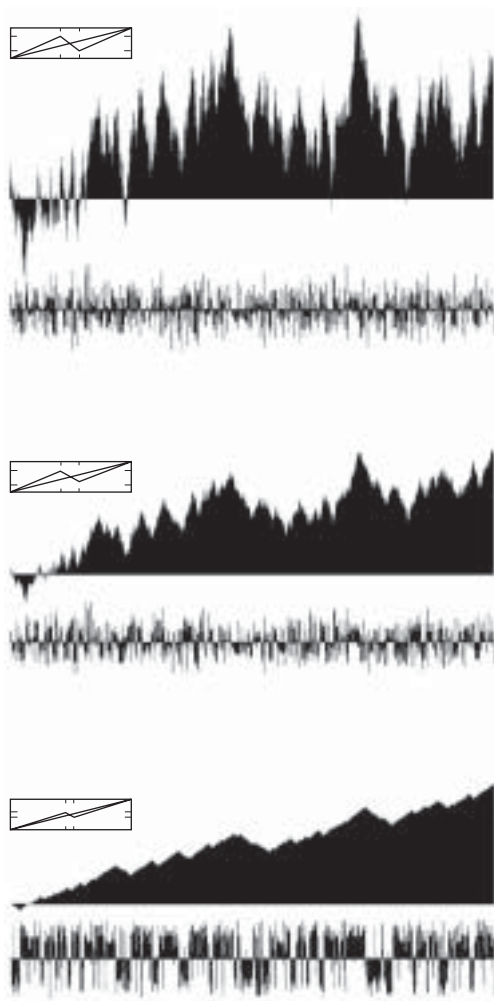


Рис. 9.4. Карикатура долгосрочной зависимости

Концепцию долгосрочной зависимости можно проиллюстрировать с помощью фрактальных карикатур, подобных тем, какие мы уже использовали в этой книге. На среднем блоке изображений представлена стандартная модель независимых изменений цены: показатель зависимости H равен $0,5$. Рядом изображен фрактальный генератор; крайне “рваная” зазубренная диаграмма в черном цвете — это завершенная рандомизированная (случайная) конструкция; под ней диаграмма “ценовых” изменений. Нижний блок изображений соответствует H , большему $0,5$. Это инерционный тренд, что хорошо видно на диаграмме разностей (под

диаграммой в черном цвете): она содержит участки положительных значений, следующих один за другим в течение некоторого времени, после чего начинаются участки, состоящие, в свою очередь, из нескольких отрицательных значений подряд. Верхний блок изображений показывает, что происходит при H , меньшем 0,5. “Антиинерционность” — прямая противоположность инерционности — продемонстрирована диаграммой в черном цвете, соответствующей бурным колебаниям.