Второе пришествие квантов

Максим БУЕВ,
доктор философии (PhD, Оксфордский университет), профессор, проректор по корпоративным проектам РЭШ

В 1990-х годах на Уолл-стрит произошла тихая революция. Она не сопровождалась ни громкими заявлениями политиков, ни массовыми протестами, ни сперва даже заметными изменениями в регуляторной архитектуре. Зато она сопровождалась появлением в торговых залах людей, которые вчера занимались квантовой механикой, астрофизикой или теорией вероятностей, а сегодня — ценообразованием финансовых инструментов. Если угодно, это была одна из тех редких ситуаций, когда изменение кадрового состава индустрии оказалось важнее любых формальных реформ.

Физики, математики, специалисты по численным методам — те самые *rocket scientists* — массово пришли в финансы. Бывший управляющий директор банка *Goldman Sachs* Эмануэль Дерман, один из самых известных представителей этого поколения, в своих воспоминаниях фактически описал целую эпоху: люди, привыкшие искать законы природы, вдруг обнаружили, что Уолл-стрит предлагает им не менее сложные и интересные задачи. И однозначно более денежные.

Особенностью этих задач была их нелинейность. При поиске их решений классическая интуиция трейдера не помогала, а иногда и вовсе не работала. Нельзя было бесконечно полагаться на чувство рынка, на память о похожих ситуациях или на опыт старшего коллеги, который «всё это уже видел». Нужно было считать, причем считать воспроизводимо, системно, в масштабах всего рынка и под давлением времени.

Люди, привыкшие искать законы природы, вдруг обнаружили, что Уолл-стрит предлагает им не менее сложные и интересные задачи

ДЕРМАН И ЕМУ ПОДОБНЫЕ И НАЧАЛИ СЧИТАТЬ

Стохастические дифференциальные уравнения, разностные схемы, методы Монте-Карло, программирование на C++ — весь этот инструментарий неожиданно оказался очень востребованным. Финансовые рынки начали быстро усложняться. Появились структурированные продукты, CDS, CDO, экзотические опционы 1-го поколения, 2-го, 3-го... Каждый такой шаг был попыткой разложить риск на составляющие, перераспределить его между участниками рынка и затем собрать обратно в виде продукта, который можно продать клиенту или использовать для хеджирования.

Если совсем упростить, индустрия научилась делать с риском примерно то же самое, что инженер делает с нагрузкой в конструкции: разбивать ее на элементы, смотреть, где возникнет напряжение, как его перераспределить и что произойдет, если одна из балок не выдержит. Бывших физиков-математиков по аналогии стали называть финансовыми инженерами, или квантами — от *quantitative analyst* (количественный аналитик).

Шествие квантов по Уолл-стрит и лондонскому Сити, однако, было не всегда триумфальным. Уже в августе 2007 года индустрия получила первое серьезное

предупреждение: тогда произошел так называемый Quant Meltdown, или Quant Quake, когда за несколько дней крупные количественные хеджевые фонды, использовавшие компьютерные модели и похожие факторные стратегии, понесли синхронные и неожиданно большие убытки. Вчерашняя гордость индустрии вдруг показала оборотную сторону: если многие умные люди строят похожие модели на похожих данных и торгуют похожими сигналами, то в стрессовой ситуации рынок начинает вести себя так, будто все одновременно пытаются выйти через одну дверь. Затем последовал кризис 2008 года, окончательно заставивший индустрию задуматься не только о пользе сложных моделей, но и о рисках чрезмерной веры в них.

Кто-то скажет, что именно усложнение финансовых инструментов и модельная самоуверенность привели к катастрофе. Кто-то, наоборот, отметит, что без математического аппарата современный риск-менеджмент вообще не состоялся бы. Обе точки зрения в чем-то справедливы. Но одно очевидно: первое пришествие квантов изменило не только инструменты, но и сам язык финансовой индустрии. После него рынок уже не мог вернуться в состояние, где сложный риск описывается набором красивых прилагательных.

С тех пор прошло уже более 30 лет. И складывается ощущение, что история повторяется. С одной важной оговоркой: на этот раз задача существенно сложнее.

Сегодня финансовая индустрия столкнулась с проблемой, которая плохо укладывается в привычные рамки риск-менеджмента. Речь идет о климатических рисках. Еще в 2015 году, выступая в лондонском банке Lloyd's, канадский экономист, тогда глава Банка Англии, Марк Карни говорил о связи изменения климата и финансовой стабильности. С тех пор индустрия свела эту мысль к короткой формуле: климатический риск — это финансовый риск.

Об этом теперь заявляют регуляторы, центральные банки, управляющие активами, консультанты и все, кому по должности положено говорить о будущем финансовой системы. Однако за этой удобной формулой скрывается серьезная методологическая проблема: мы до конца не понимаем, как именно этот риск возникает, трансформируется и распространяется внутри финансовой системы.

В классических финансовых моделях мы имеем дело с процессами, которые — пусть и с серьезными оговорками — можно считать стационарными. Волатильность можно оценить на исторических данных. Корреляции — тоже. Они нестабильны, но не совершенно хаотичны. Даже в самых сложных моделях сохраняется надежда, что прошлое дает хотя бы какую-то информацию о будущем. На этом, собственно, стоит значительная часть прикладного риск-менеджмента.

С климатом всё иначе. Здесь меняются не только отдельные параметры, но и сами распределения: хвосты становятся тяжелее, экстремальные события происходят чаще, а связи между температурой, осадками, ветром и влажностью перестают быть достаточно устойчивыми для привычной калибровки моделей. Доклад Банка международных расчетов о «зеленых лебедях», опубликованный в 2020 году, описывает эту проблему через сложную нелинейную динамику, глубокую, или радикальную, неопределенность, возможность цепных реакций и системный характер климатических рисков. В переводе с языка международных организаций на язык практики это означает простую вещь: инструменты, которые раньше позволяли риск-менеджеру чувствовать себя относительно уверенно, начинают давать сбой именно там, где от них требуется наибольшая надежность.

Климатический риск к тому же неоднороден. Принято выделять два его компонента: переходный и физический. Переходный риск связан с политикой, регулированием и технологическими изменениями. Например, введение углеродного налога может резко изменить экономику металлургии, энергетики или транспорта. Это неприятно, сложно, политически чувствительно, но в каком-то смысле знакомо: финансовая индустрия умеет моделировать шоки регулирования, изменения налогов и технологические сдвиги.

ФИЗИЧЕСКИЙ РИСК — ДРУГАЯ ИСТОРИЯ

Чтобы понять масштаб проблемы, полезно разложить его на несколько уровней. Первый уровень — это сама погода. Нужно понимать, как ведут себя температуры, осадки, ветровые нагрузки, частота экстремальных событий. Причем речь идет не о средних значениях, а о распределениях. Более того, ключевую роль играют совместные распределения: как связаны между собой различные климатические факторы, как они усиливают друг друга и как эта взаимосвязь меняется со временем.

Это уже не финансовая математика. Это климатология, физика атмосферы, статистика экстремальных событий и работа с геопространственными данными. Финансисту здесь приходится признать неприятную вещь: привычного набора *Bloomberg, Excel* и исторических рядов цен недостаточно. Нужно понимать, что именно моделирует климатическая модель, какие у нее горизонт, пространственное разрешение, сценарные допущения и ограничения.

Второй уровень — переход от погодных факторов к физическому ущербу. Допустим, мы понимаем, как распределены экстремальные значения температуры, осадков или ветровых нагрузок. Следующий вопрос: что это означает для физического мира?

Как ведет себя бетон при длительном воздействии высоких температур? Что происходит с металлическими конструкциями при частых температурных циклах? Как деревянные здания реагируют на влажность? При каком уровне ветра начинает разрушаться кровля? Сколько дней подтопления достаточно, чтобы склад перестал быть пригодным для эксплуатации? На эти вопросы не ответит трейдер, даже очень талантливый. И квант из 1990-х тоже. Здесь нужны нефинансовые инженеры, специалисты по материалам, архитекторы, градостроители.

Именно они строят так называемые *damage functions* — функции ущерба, которые переводят физическое воздействие в разрушение. Эти функции, как правило, нелинейны. До определенного момента система кажется устойчивой: здание стоит, дорога работает, склад обслуживает клиентов. Затем достигается порог, после которого ущерб растет резко. В этом смысле *damage function* напоминает опцион: долго ничего не происходит, а затем малое изменение базового фактора порождает непропорционально большой результат.

Только базовым активом здесь выступают не цена акции и не кредитный спред, а прочность материала, высота дамбы, качество дренажной системы или устойчивость электросети.

Третий уровень — переход от физического ущерба к финансовым последствиям. У банка есть заемщик. У заемщика есть актив, расположенный в конкретной точке: завод, торговый центр, портовый терминал, элеватор, склад, жилой комплекс. Этот актив

может быть залогом, источником выручки или частью производственной цепочки. Если происходит экстремальное событие, стоимость актива падает. Иногда незначительно, иногда резко и необратимо.

Для банка это означает ухудшение качества залога. Но этим эффект не ограничивается. Повреждение актива влияет на операционную деятельность клиента: снижается выручка, растут издержки, нарушаются сроки поставок, ухудшается ликвидность. Компания может формально оставаться платежеспособной, но ее запас прочности уменьшается. В терминах кредитного риска это означает рост вероятности дефолта, изменение ожидаемого убытка и, возможно, пересмотр внутреннего рейтинга.

И вот здесь физический риск превращается в кредитный. Не метафорически, а вполне буквально: вода в подвале залогового объекта постепенно добирается до строки PD (*probability of default*) в кредитной модели.

Однако и это только первый порядок эффектов. За ним следуют второй, третий и далее по списку. Повреждение одного объекта может привести к остановке производства. Остановка производства — к разрыву цепочек поставок. Разрыв цепочек — к потерям у контрагентов. Далее — к снижению выпуска в других секторах, изменению цен, ухудшению маржи и синхронным потерям в портфелях, которые на первый взгляд не имели между собой ничего общего.

Можно представить себе простую аналогию: если вынуть один кирпич из стены, ничего может не произойти. Если вынуть второй — тоже. Но если нагрузка перераспределяется неправильно, в какой-то момент трещина идет через всю конструкцию. Экономика устроена похожим образом. Отдельный физический ущерб не всегда опасен сам по себе. Опасно то, что он может оказаться узлом в сети зависимостей.

В итоге задача превращается в многослойную конструкцию: от климатических моделей — через физические процессы — к инженерным оценкам ущерба, затем — к экономическим последствиям и, наконец, — к финансовым метрикам. Причем на каждом этапе добавляется своя неопределенность. Ошибка на одном уровне не исчезает, а передается дальше, иногда усиливаясь.

Неудивительно, что финансовая индустрия снова обращается к другим дисциплинам. Так же, как в 1990-е, она позвала физиков и математиков, сегодня ей нужны климатологи, специалисты по физике атмосферы, инженеры, урбанисты, эксперты по геоданным и, конечно, классические кванты. Возникает новый тип специалиста — гибрид, который должен понимать климатические сценарии, работать с пространственными данными, разбираться в инженерной логике разрушений и при этом переводить всё это на язык финансового риска.

Если первые кванты моделировали цены, то новые будут моделировать реальность, лежащую под этими ценами. Это принципиально более сложная задача. Цена акции — абстракция, пусть и богатая информацией. Наводнение, пожар или разрушение промышленного объекта — вещь куда более материальная. Ее пока еще (несомненно, со временем появится и такая возможность) нельзя закрыть сделкой на экране Bloomberg. Ее нужно понять, измерить, привязать к месту и затем включить в финансовую модель.

Можно ли ожидать, что новые кванты будут столь же успешны, как их предшественники? Возможно. Но характер успеха будет другим. Как любит говорить другой знаменитый квант, плодовитый автор Пол Уилмотт: «*Finance is not physics*». В случае с климатом это утверждение становится еще более актуальным. Мы имеем дело с системой, параметры которой меняются сами по себе, вне зависимости от наших моделей и комитетов.

Тем не менее выбора у индустрии нет. Регуляторы требуют учитывать климатические риски. Банки обязаны интегрировать их в кредитные модели и стресс-тесты. Инвесторы всё чаще вынуждены учитывать их в оценке активов. Страховые компании уже давно знают цену физическим рискам (хотя не всегда умеют или могут их хеджировать), но теперь этот язык придется выучить и банкам, и управляющим компаниям, и эмитентам облигаций (которых те страховщики долго собою прикрывали).

Самое неприятное состоит в том, что обучение будет происходить не в аудитории, а на практике. Как когда-то первые кванты учились на живых рынках, новые кванты будут учиться на живой планете. Разница лишь в том, что ошибка в модели экзотического опциона приводит к убытку в торговой книге, а ошибка в оценке климатического риска может означать недооценку уязвимости целого региона, отрасли или банковского портфеля.

История, таким образом, повторяется, но на новом уровне сложности. В 1990-е годы финансисты научились считать риск. В 2020-е им предстоит научиться понимать его природу. А это, как показывает практика, всегда требует новых людей — и новой скромности перед задачей. Потому что первое поколение квантов пришло на Уолл-стрит, чтобы приручить неопределенность финансовых рынков. Второму поколению предстоит иметь дело с неопределенностью мира, в котором эти рынки существуют.

Как когда-то первые кванты учились на живых рынках, новые кванты будут учиться на живой планете