

7. Робсон М. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / М. Робсон, Ф. Уллах. Пер. с англ. под ред. Н.Д. Эриашвили. — Москва: ЮНИТИ, 2003. — 221 с.
8. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров: Монография / В.Н. Романов. — СПб: СЗГЗТУ, 2006. — 186 с.
9. Свирков С.А. Основные проблемы гражданско-правового регулирования оборота энергии: Монография / С.А. Свирков. — М.: Статут, 2013. — 479 с.
10. Сердюкова Н.В. Построение расчетной модели измерения электроэнергии для задач автоматизированного ценообразования в информационных биллинговых системах / Н.В. Сердюкова, И.Н. Фомин, Т.Э. Шульга. — Экономика и менеджмент систем управления. №2.2(12). 2014. С. 308–318.
11. Ситников С.Г. Методология построения систем оперативного управления диверсифицированными предприятиями на основе технологий моделирования и упреждающего управления: Дис. ... доктора техн. наук: 05.13.10 /С.Г. Ситников. — Уфа, 2010. — 296 с. — РГБ ОД, 71 11-5/54.
12. Смагина М.Н. Процессы системы менеджмента качества / М.Н. Смагина, Б.И. Герасимов, Л.В.Пархоменко. Под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. Б.И. Герасимова. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006.-100 с.
13. Федеральный закон от 26 марта 2003 г. N 35-ФЗ «Об электроэнергетике», ст.3
14. Фомин И.Н., Шульга Т.Э. Принципы построения организационной и расчётной моделей измерений электроэнергии в информационных системах энергосбытовых организаций / И.Н. Фомин, Т.Э. Шульга — Вестник СГТУ №4 (73), Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2013г., С. 181.-190
15. Хаммер М. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе. / М. Хаммер, Д. Чампи — СПб.: Изд. С.-Петерб. Универс., 1997. — 332 с.
16. Чернов С.С. Эффективное функционирование энергетического предприятия в условиях реформирования электроэнергетики: Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / С.С. Чернов. — Новосибирск, 2004.- 188 с. — РГБ ОД, 61:05-8/1087
17. Шеер А.В. Моделирование бизнес-процессов: Пер. с англ. / А.В. Шеер. — М.: Весть-МетаТехнология, 2000. — 205 с.
18. Шеер А.В. Бизнес-процессы: основные понятия, теории, методы / А.В. Шеер. — Москва: Просветитель, 1999. — 152 с.

## **R/S-АНАЛИЗ ЦЕНОВОГО ФАКТОРА РИСКА ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ОСВОЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЕБРА КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

**Е.В. Шевченко,**

аспирант кафедры кибернетики  
Санкт-Петербургского института управления и права  
sh\_e.v@mail.ru

*В статье выявлены основные факторы риска предприятий по освоению месторождений серебра Крайнего Севера, формируемые рынком. Ценовой фактор риска рассмотрен через призму гипотезы фрактальных рынков. Проведен R/S-анализ цен на серебро.*

**Ключевые слова:** гипотеза фрактальных рынков, R/S-анализ, ценовой фактор риска, месторождения серебра Крайнего Севера

### **УДК 338.5**

В связи с ежегодным приростом спроса и естественным истощением разведанных запасов первичного серебра в России в настоящее время существует объективная необходимость в разведке и введении в эксплуатацию новых месторождений, большая часть которых находится в северных регионах Сибири и Дальнего Востока. Освоение данных месторождений сопряжено с большими капиталовложениями и значительными рисками ввиду тяжёлых климатических условий, слабо развитой инфраструктурой и нестабильной экономической ситуацией в стране и в мире. При этом специфическими факторами неопределённости, формируемыми рынком и характерными для предприятий по освоению месторождений серебра северных регионов, являются изменения цен на серебро, цен на энергоносители, динамика инфляции и курса доллара к рублю. Эти факторы являются значимыми, поскольку серебро торгуется на мировых товарных биржах, и его цена определяется в долларах за унцию исходя из ожиданий различных групп инвесторов — участников рынка; а затраты горных предприятий на оплату труда работников и энергообеспечение в северных условиях достигают 60–70% от общей суммы годовых эксплуатационных затрат. В результате, влияние факторов неопределённости вызывает существенное изменение себестоимости производимого серебра и доходов от его реализации.

Существующие методы оценки и прогнозирования экономического риска горных предприятий, связанного с влиянием

рыночных факторов неопределённости, и, в частности, изменения цен на различные активы, финансовые инструменты, товары и т.д., преимущественно основаны на гипотезе эффективных рынков.

Согласно гипотезе эффективных рынков и современной теории рынка капитала, вся информация, поступающая на рынок, мгновенно отражается в текущих ценах, вызывая их изменения. Сами цены и их изменения (приращения) подчиняются закону случайного блуждания. Этот постулат приводит к двум следствиям. Во-первых, приращение цены случайно и не зависит от своего предыдущего значения, а во-вторых, подчиняется одному и тому же закону распределения с постоянными параметрами во времени, которое, согласно центральной предельной теореме, является нормальным. Поэтому при прогнозировании риска, связанного с волатильностью цены рассматриваемого актива, финансового инструмента или товара может быть учтён только стохастический компонент (момент случайности).

Гипотеза эффективных рынков подразумевает, что рыночная цена всегда справедлива, и все инвесторы сталкиваются с одинаковыми рисками независимо от горизонта инвестирования. Однако в этом предположении есть некоторое противоречие. Если цена в текущий момент времени определяется соотношением интересов инвесторов с различными инвестиционными горизонтами, то и поступающую на рынок информацию, они оценивают в соответствии с её значимостью для

своего горизонта инвестирования. Следовательно, при взаимодействии друг с другом инвесторы руководствуются собственными представлениями о «справедливой цене». Поэтому рынок не является абсолютно однородным и однозначным для всех его участников. Различие в оценках информации разными группами инвесторов формирует ликвидность рынка [3]. При достаточной ликвидности рынок можно считать устойчивым, при её недостатке инвесторы совершают сделки по той цене, по которой могут вне зависимости от того, является ли она «справедливой». Данное предположение лежит в основе гипотезы фрактальных рынков.

Фрактал в терминах геометрии это фигура, составленная из нескольких подобных друг другу частей. Фрактальность применительно к рынку подразумевает самоподобие его статистической структуры, выражающееся в том, что инвесторы имеют общие риски с учётом их инвестиционного горизонта. Это приводит к тому, что частотное распределение прибыли по тому или иному активу, согласно [3], выглядит одинаково для разных инвестиционных горизонтов. Кроме того, исследования [1–4] также показывают, что рынок не является случайным блужданием. Существует предел движения доходности того или иного актива в определённом направлении (восходящем или нисходящем), прежде чем она (доходность) будет нейтрализована обратным движением. То есть рынок обладает локальной случайностью и глобальным детерминизмом одновременно.

Рассмотрим график распределения логарифмической доходности серебра, определённой по биржевым ценам этого драгоценного металла [6], в сравнении с нормальным распределением. Согласно представленному графику на рис.1, рассматриваемый временной ряд распределения доходности серебра существенно отличается от временного ряда, распределённого по нормальному закону, поскольку кривая распределения доходности серебра имеет более острый пик в среднем значении и более «толстые хвосты», чем кривая нормального распределения.

Очевидно, что для его анализа нужно либо вводить определённые корректировки, чтобы приблизить к нормальному и применить стандартные методы гауссовой статистики, либо использовать непараметрические методы, не основанные на предположениях о конкретном виде распределения. Одним из таких методов является предложенный Х.Е. Хёрстом в 1951 г. R/S-анализ, позволяющий различить случайный и фрактальный временной ряд.

Математически R/S-анализ сводится к определению коэффициента Хёрста (H), который может принимать значения от нуля до единицы. При  $0,5 < H \leq 1$  временной ряд считается персистентным (трендоустойчивым), то есть его текущие значения влияют на его будущие значения. Если  $0 \leq H < 0,5$ , то временной ряд является

возвратным к среднему, т.е. его значения колеблются вокруг некоторого среднего. Согласно [5], такой ряд изменяет направление чаще, чем ряд случайных независимых величин. При  $H = 0,5$  временной ряд образован независимым процессом и подчиняется закону случайного блуждания. Уравнение для расчёта коэффициента Хёрста можно представить в следующем виде [3]:

$$\log(R/S)_n = \log(c) + H \log(n) \quad (1)$$

где  $(R/S)$  — нормированный размах временного ряда, рассчитанный как отношение размаха ряда R к его стандартному отклонению S,

n — приращение времени,

c — константа,

H — коэффициент Хёрста, характеризующий изменение масштаба ряда во времени. По результатам R/S-анализа определяется, может ли временной ряд проявлять долгосрочные тенденции.

Для проверки значимости полученного коэффициента H используются статистика Фишера и t-критерий Стьюдента, значения ожидаемого показателя Хёрста  $E(H)$  и  $V_n$ -статистика. Критерий  $E_0$  рассматривает справедливость нулевой гипотезы  $H_0$  о том, что статистическая структура рынка является независимой, характеризуется случайным блужданием и плотностью вероятности, распределённой по нормальному закону.  $E_0$  является средним ожидаемым значением показателя Хёрста для временного ряда, образованного n случайными величинами. Табличное значение  $E(R/S)$  для различного числа наблюдений можно найти в работе [3].

$V_n$ -статистика позволяет графически оценить персистентность анализируемого временного ряда. При этом рост показателя  $V_n$  с возрастанием n означает, что данный ряд характеризуется коэффициентом Хёрста, большим 0,5. Если  $V_n$  стабилизируется, временной ряд образован процессом случайного блуждания, и  $H=0,5$ .

Алгоритм проведения R/S-анализа и расчёта коэффициента Хёрста для временного ряда биржевых цен на серебро следующий.

Рассмотрим данные о десятидневных ценах на серебро (долл./унция) за период 2000–2013 гг. и сформируем временной ряд длиной в 502 наблюдения. Затем преобразуем его в ряд  $r = n - 1$ , состоящий из логарифмических прибылей

$$\log \frac{n_i}{n_i - 1}$$

Вычислим AR(1)-разности ряда r путём регрессии  $r_t$  как зависимой переменной против  $r_{t-1}$ , как независимой. Использование AR(1)-разностей позволяет свести к минимуму линейную зависимость между данными и выявить истинный процесс Хёрста

[3]. Сформируем ряд  $k = r-1$ , состоящий из AR(1) — разностей. Полученный временной ряд k разделён на m смежных подпериодов равной длины. Для этого найдём наименьший целый делитель для полученного количества членов ряда k. Для каждого из подпериодов рассчитаем: среднее, накопленное отклонение от среднего, стандартное отклонение и размах вариации. Далее для каждого подпериода найдём значение отношения размаха вариации к стандартному отклонению  $R_j/S_j$ , где j — номер подпериода.

Вычислим среднее значение показателя  $(R/S)_m$  для m-подпериодов. Шаги 1–4 повторим до  $m = k/2$ . При этом используем все возможные целые значения m. В результате получим выборку, в которой количество элементов  $(R/S)_m$  соответствует количеству делителей ряда.

Определим коэффициент Хёрста по формуле (1) после выполнения линейной регрессии. При этом  $\log(R/S)$  является зависимой переменной,  $\log(m)$  — независимой.

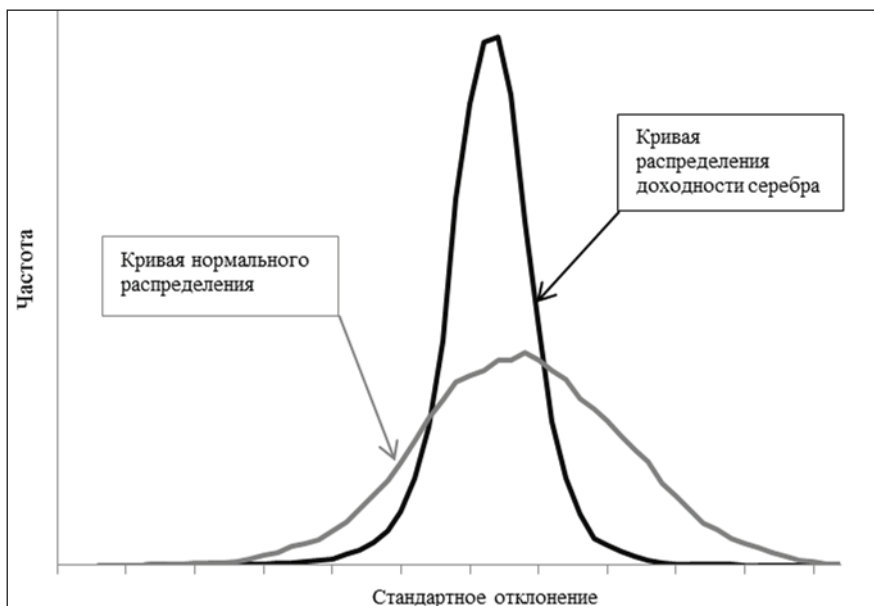
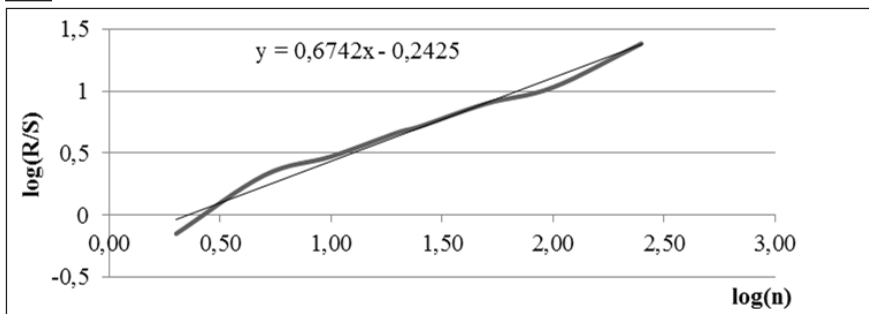
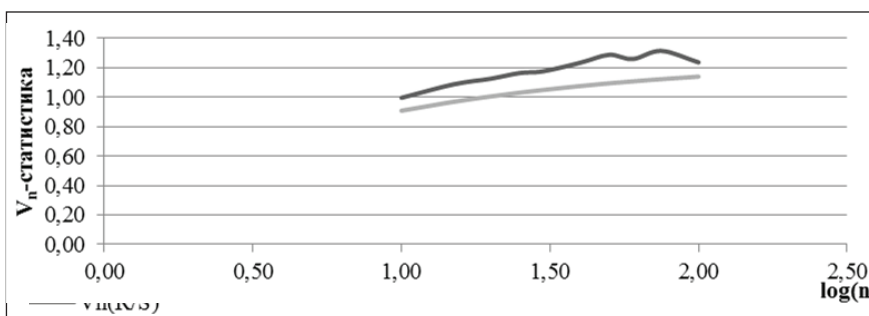


Рис. 1. График распределения доходности серебра по ценам за период 2000–2013гг. в сравнении с нормальным распределением



**Рис. 2. R/S-анализ цен на серебро за 2000–2013 г. Эмпирическое уравнение регрессии.**



**Рис. 3. Vn-статистика по серебру за 2000–2013 г.**

На рис. 2 приведены результаты проведенного анализа и расчёта коэффициента Хёрста.

Согласно эмпирическому уравнению регрессии, коэффициент Хёрста равен 0,67. Полученное значение, большее 0,5, что говорит о том, что динамика биржевых цен на серебро демонстрирует явления персистентности Хёрста.

Для проверки значимости полученного уравнения регрессии рассчитаем критерии Фишера и Стьюдента (табл. 1)

Таблица 1.

**Проверка значимости коэффициентов эмпирического уравнения регрессии**

Статистический критерий	Полученное значение	Критическое (табличное) значение, P = 0,05
t-критерий Стьюдента $t_a$	2,88	2,365
t-критерий Стьюдента $t_b$	17,24	2,365
f-критерий Фишера	244,14	5,59

Как следует из табл. 1, найденные значения критерия Стьюдента превышают его критическое значение для выбранного уровня значимости, что свидетельствует о том, что статистическая значимость коэффициентов эмпирического уравнения регрессии подтверждается. Рассчитанный критерий Фишера также превышает своё критическое значение, следовательно, найденная оценка уравнения регрессии является статистически надёжной.

Для 500 наблюдений ожидаемое значение показателя Хёрста составляет  $E(H) = 0,58$ . Соотношение между расчётным и ожидаемым показателем Хёрста определяется формулой (2), где  $T$  – количество наблюдений, и является значимым, если составляет не менее двух стандартных отклонений [3].

$$(H - E(H)) / (1/\sqrt{T}) \geq 2 \quad (2)$$

По итогам R/S-анализа в рассматриваемом примере расчётный коэффициент Хёрста превышает своё ожидаемое значение на 2,25 стандартных отклонения, что является значимым результатом.

На графике  $V_n$  – статистики (рис. 3)

также видно очевидное отклонение расчётных значений нормированного размаха ряда от его ожидаемых значений, а также возрастание ряда по мере увеличения количества наблюдений, что свидетельствует о персистентности ряда.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что распределение доходности серебра не является нормальным, имеет острый пик и «толстые хвосты». Прошлые значения цен на серебро влияют на их будущие значения, то есть рынок серебра может проявлять долгосрочные тенденции, однако корреляция между уровнями цен ослабевает с течением времени. Следовательно, волатильность цен на серебро определяется локальной случайностью и глобальным детерминизмом рынка. Полученное представление о поведении рынка серебра способствует формированию направления совершенствования существующих подходов к оценке экономического риска предприятий по освоению месторождений серебра Крайнего Севера с учётом рыночных факторов неопределённости с целью повышения объективности, достоверности и эффективности оценок.

**Литература:**

1. Лукашин И.Ю. Российский фондовый рынок в период кризиса 2008–2009 гг. // Прикладная эконометрика. — 2010. — №3 (19).
2. Мандельброт Б., Хадсон Р.Л. Непослушные рынки. Фрактальная революция в финансах. — М.: Вильямс, 2006.
3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике. — М.: Интернет-трейдинг, 2004. — 304 с.
4. Серёда А.Ю. Оценка показателя VaR на основе моделей изменяющейся вариации в задачах портфельного инвестирования. Дис. ... канд. экон. наук. — Воронеж, 2008.
5. Теплов С.Е. Исследование и разработка модели спекулятивной торговли и применение гипотезы фрактального рынка капиталов. Дис. ... канд. экон. наук. — М., 2007 г.
6. Historical charts. Silver // <http://www.kitco.com/charts/historicalsilver.html>