

АНАЛИЗ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И МЕТОДОВ САМОПОДОБИЯ © 2021

Д.Ю. Жмурко, кандидат экономических наук, доцент,
преподаватель кафедры информатики и математики

Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации, Краснодар (Россия)

Ключевые слова: фазово-фрактальный анализ; самоподобие; самоаффинность; редукция; теория временных циклов Дж. Хёрста; межрыночный анализ; масштаб времени; подбор масштаба реального времени.

Аннотация: В настоящий момент исследователи рыночных и экономических показателей (циклов) практически не используют (в силу крайне скептического отношения) для своих вычислений математические методики нахождения фрактальных закономерностей (самоподобий), определяющих движение тренда изучаемых показателей (или некоторое состояние исследуемого сектора экономики АПК). Данные инструменты показали свою эффективность при прогнозировании макроэкономических временных рядов показателей деятельности некоторых региональных участников сахарного подкомплекса АПК. Отдельные элементы таких закономерностей хорошо себя зарекомендовали при построении индикаторов опережающего развития. Их относят к классу экспресс-методов идентификации тренда. По эффективности и временным затратам они значительно превосходят такие математические инструменты, как искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, методы нечеткой логики и т. д. В работе реализуется поиск устойчивых ценовых паттернов в истории котировок, схожих с текущими значениями. Идея состоит в том, что любой «ценовой рисунок» уже имел место в прошлом: если его верно определить, то можно с высокой точностью спрогнозировать поведение какого угодно сегмента агропромышленного рынка, и не только. Рассмотрены методы прогнозирования, относящиеся к классу фазово-фрактального анализа и методов самоподобия. При этом особое внимание уделяется адаптации таких методов при прогнозировании показателей региональных участников сахарного подкомплекса АПК. В практической части применялись элементы фазового (циклического) анализа для подавления ложных сигналов (всплесков). Это позволило в значительной степени снизить информационный шум в одномерных спектрах. Результаты прикладных расчетов и практической реализации подтвердили возможность применения инструмента при прогнозировании показателей экономической деятельности крупных отраслевых предприятий сахарного подкомплекса. Полученные результаты по описанным моделям позволяют осуществлять многовариантные расчеты по одинаковым показателям. Результаты применения фазово-фрактального анализа и методов самоподобия в задачах прогнозирования продемонстрировали возможность их решения и подтвердили свою практическую значимость.

ВВЕДЕНИЕ

Теория релевантных данных предполагает, что следует использовать только такие данные, которые соответствуют конкретным показателям, например текущим агроэкономическим условиям. Это правило, скорее всего, приведет исследователя к расхождению с общеизвестными статистическими правилами. Чтобы избежать этого, рассмотрим два понятия: самоаффинность и редукцию.

Термин «аффинный» введен Л. Эйлером. Теория самоаффинности сложнее и запутаннее, чем в случае самоподобия. Самоаффинность – это преобразование, сжимающее графики в двух разных отношениях: в отношении r_t по времени и в каком-либо другом отношении r_p по величине. Самоаффинное преобразование лежит в основе теоретической и практической части фазово-фрактального анализа. Самоаффинность – это «самоблизость», или схожесть. Отсюда следует важное замечание: рынки (или любые секторы экономики) обладают долгосрочной памятью и способны вновь и вновь воспроизводить себя во времени посредством самоаффинных структур [1].

Однако существуют фрактальные объекты, которые не являются самоподобными. Дело в том, что схожесть основывается на равном масштабном преобразовании во всех направлениях, т. е. полной масштабной инвариантности. У многих объектов для получения подобия необходимо применить неодинаковое масштабное увеличе-

ние разных направлений. Такие объекты и называют самоаффинными. В качестве примера самоаффинного фрактального объекта (рис. 1) рассмотрим условный профиль цены на сахар в России (1999–2017 гг.) [2].

Как видно из рис. 1, фрагментам профиля, выделенным окружностями, для получения подобия требуется неодинаковое масштабное увеличение. Соответственно, необходимо количественно оценить и степень самоаффинности объекта.

В образовании самоподобия линейных фракталов обязательно участвует вращение, а также изменение длины отрезка. Такой способ построения фрактальной функции неприменим для ценовых данных, однако решить эту задачу можно посредством редукции (частный случай аффинности), которая уже не является подобием, а представляет собой более общее линейное преобразование. Такие преобразования называют термином «аффинные». Образование самоаффинности исключает вращение, однако ее операции распадаются на перенос и редукцию (это замена предмета его конструктивной схемой, скелетом; сведение сложного к чему-то более простому), для которой существует гораздо меньше ограничений, чем в случае самоподобия. Таким образом, при вращении создается замкнутая область, в рамках которой и происходит деление модели на множество подобных ей¹, другим следствием становится

¹ Фракталы и автоколебания в геоморфосистемах // TechnologySide. URL: <http://www.technologyside.ru/tsids-595-1.html>.

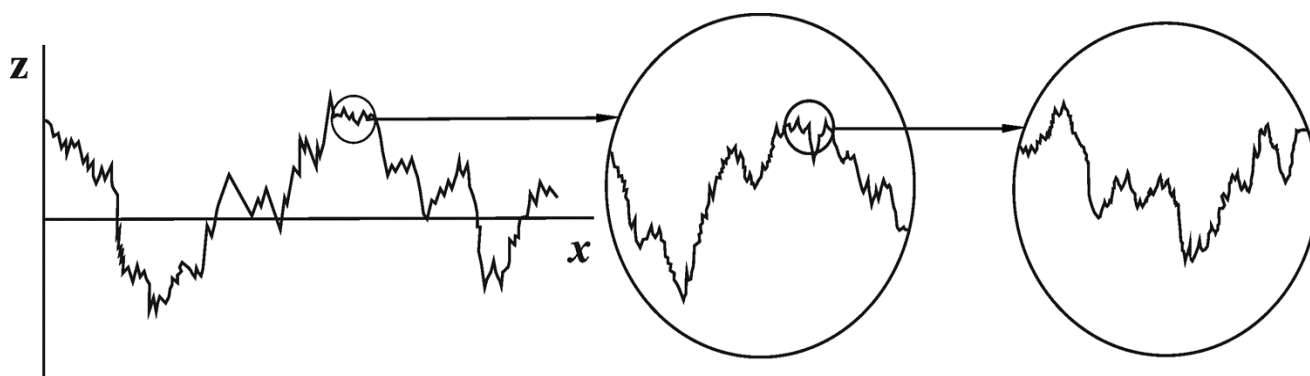


Рис. 1. Пример самоаффинного профиля фрактальной «шероховатости»

неограниченное количество комбинаций поведения изучаемой модели в пространстве [3; 4].

Дополнительным примером стали работы Б. Мандельброта, который решил эту проблему, используя диагональную самоаффинность. Это значит, что сама модель строится с помощью матрицы (интерполированного генератора), у которой есть только диагональные элементы, принимающие значения, не равные между собой. Таким образом, некоторый хронологический ряд данных обладает диагональной самоаффинностью при условии, что ее редуцированная форма полностью или частично идентична статистической, менее протяженной во времени. Б. Мандельброт считает самоаффинные кривые эскизами финансовой реальности [5].

Часто при отлаживании методик новых экспериментов приходится тратить много времени на исправления кода программы, управляющей фазами. Безусловно, это очень сложно, но малейшие ошибки в фазовой части программ могут привести к совершенно неожиданным и непонятным результатам. По этой причине тестировать новые методики следует на таких экспериментальных данных, для которых заранее известен (ожидаем) результат. И желательно, чтобы этот результат можно было получить быстро [6].

На практике при подавлении информационных шумов применяют методы теории фазовых циклов. Они широко используются в импульсных системах прогнозирования для подавления информационного шума (артефактов) в исследуемых временных рядах [7].

Цель исследования – разработка комплекса методик фазово-фрактального анализа, в основе которого находятся методы самоподобия (фрактальной геометрии) как универсального экспресс-способа решения задач, направленного на повышение точности при прогнозировании показателей деятельности крупных организаций сахарной отрасли агропромышленного комплекса.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Концептуальная идея, реализуемая в настоящем исследовании, состоит в том, что все стадии формирования изучаемой величины повторяются, образуя так называемый фрактал. «Характер волн может повторяться, однако размерность спрогнозировать очень сложно» [8, с. 239].

В основе фазово-фрактального анализа были использованы следующие методы: самоподобие по Дж. Хёрсту [9–11], самоподобие по искусственному таймфрейму², самоподобие на основе корреляции (similarity) [5], межрыночный анализ (intermarket analysis) [12; 13], самоподобие по поворотным точкам (zigzag similarity) [14–16].

В практической части применялись элементы фазового (циклического) анализа для подавления ложных сигналов (всплесков). Это позволило в значительной степени снизить информационный шум в одномерных спектрах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Самоподобие по Дж. Хёрсту

Практическая часть фазово-фрактального анализа состоит из сочетания двух режимов: метода моделирования в условиях масштаба времени и подбора масштаба реального времени. Моделирование в условиях масштаба времени основано на методах технического анализа – расширенных уровней Фибоначчи и каналов движения величины. Масштаб реального времени строится на переносе методом редукции одной фрактальной области на другую, которая и является зоной прогнозирования.

Начальной точкой фрактального отсчета является предыдущий минимальный экстремум цикла С. Кузнецца. Обязательным условием построения фрактальной разметки является соотношение с номинальной моделью Дж. Хёрста [9–11]. В экономике циклами С. Кузнецца принято называть среднесрочные циклы деловой активности, длящиеся от 15 до 25 лет. Цикл С. Кузнецца аналогичен метонову циклу (цикл Метона, метоновский цикл, лунный цикл) – 19-летний календарный цикл, показывающий соотношение лунного месяца и солнечного года. Цикл назван по имени греческого астронома и математика Метона (Meton), независимо открывшего его в 432 г. до н. э., хотя он был известен в Древнем Китае (с 2260 г. до н. э.) и Древнем Вавилоне.

² Метод фрактальности рынка. Пирамиды // Биржевой трейдер. URL: <http://bt-futures.ru/1-2/strategii-ot-bt/metod-fraktalnosti-rynka/>.

Опорные значения для фрактальной разметки цены на сахар на Чикагской товарной бирже (1902–2018 гг.):

Номинальное значение	Выявленное значение
54 года.....	50,4
18 лет.....	16,9
9 лет.....	8,3
54 месяца.....	49,2 (4,1 года)
18 месяцев.....	16,1 (490 сут.)

В качестве примера рассмотрим два рисунка. На рис. 2 показана реализация фазово-фрактального анализа с применением фазовой разметки по номинальной модели теории временных циклов Дж. Хёрста. Этот и последующие графики построены с помощью программного обеспечения Timing Solution Advance.

На рис. 3 представлен другой вид фазово-фрактальной разметки (осциллограмма строится по теории временных циклов Дж. Хёрста [17; 18], по которой находят идентичную точку в прошлых (исторических) значениях изучаемой величины).

Алгоритм фильтрации данных, показанный на рис. 3, позволяет выявить циклы из исторических значений. После их объединяют в некоторое графическое представление с последующим прогнозным поведением. Данный метод оценивает временные циклы для дальнейшего пропорционального и динамического наложения на проекционную линию.

Самоподобие по искусственному таймфрейму

Идея принадлежит американскому эксперту в области прогнозирования движения величин на фондовых рынках Л. Вильямсу (Larry Williams). В России этот метод называется фрактальной упаковкой.

Метод состоит из двух этапов. На первом с помощью спектрального анализа определяется самая сильная частота (цикл), имеющая лучшую корреляцию среди других частот. В качестве примера (рис. 4) рассмотрим динамический ряд цены на сахар на Чикагской товарной бирже (1902–2018 гг.). Выявленная частота составила 263 дня.

Далее происходит «зашивание» этого устойчивого цикла в виде искусственного таймфрейма – в нашем случае это 263 дня, т. е. функция цены рассматривается не как 1 торговый день, а как набор из 263. На втором этапе получают обычное самоподобие на основе корреляции. На рис. 4 показан пример самоподобия по Л. Вильямсу.

Существуют и другие виды классического самоподобия, но они отличны от представленных отсутствием элементов фазового (циклического) анализа.

Самоподобие на основе корреляции (similarity)

Ключевой характеристикой необычных геометрических конструкций, названных в 1975 г. Мандельбротом фракталами [5], выступает самоподобие, т. е. способность целой вещи совпадать по форме с собственными частями.

В данном виде самоподобия анализируются исторические данные и находятся периоды, которые больше всего похожи на периоды текущей ситуации (величины) на рынке. Так, на рис. 5 видно, насколько график величины за 1915 г. сходен с графиком текущего состояния рынка производства сахара в 2016 г.

На рис. 5 скомбинированы два графика. Кривая 1 – это текущий график (количество произведенного сахара в мире), кривая 2 – тот же график с лагом 101, $R^2=0,956$ (т. е. исторически 1915 г. соответствует текущему 2016 г.). Наложение производится с 1966 г. и охватывает

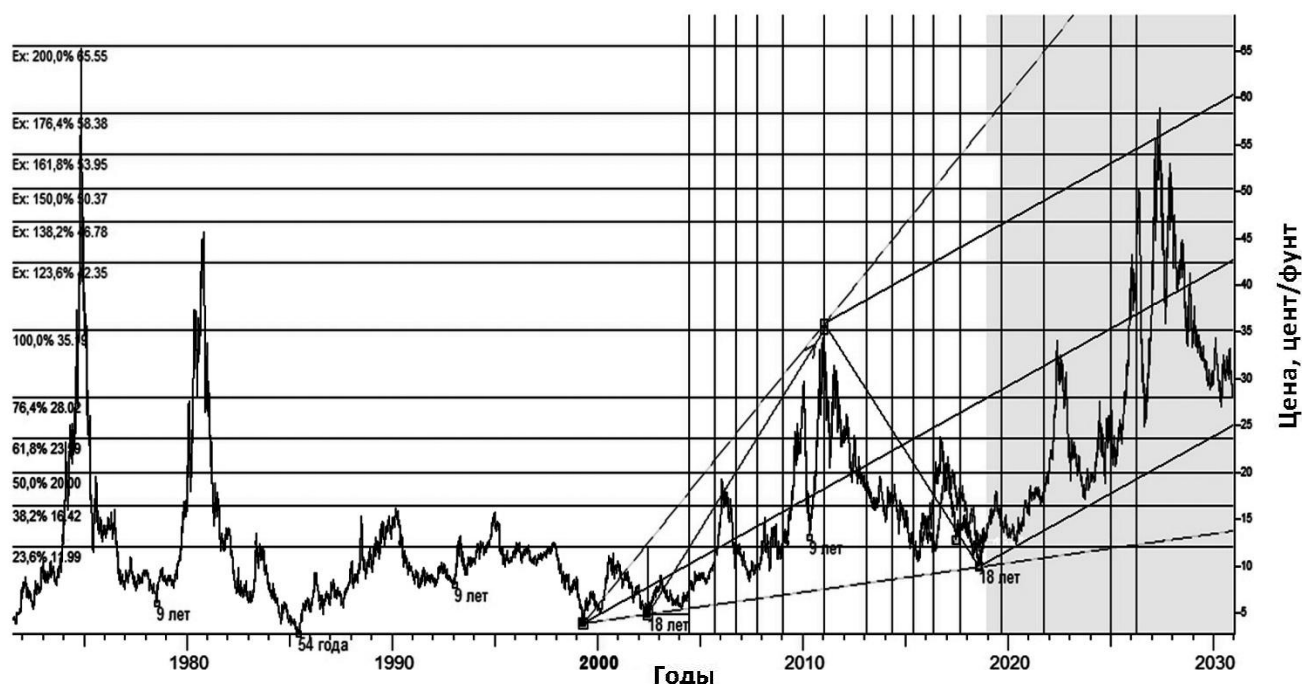


Рис. 2. Оценочный прогноз (с 2018 по 2031 г.) мировых цен на сахар с помощью фрактального анализа

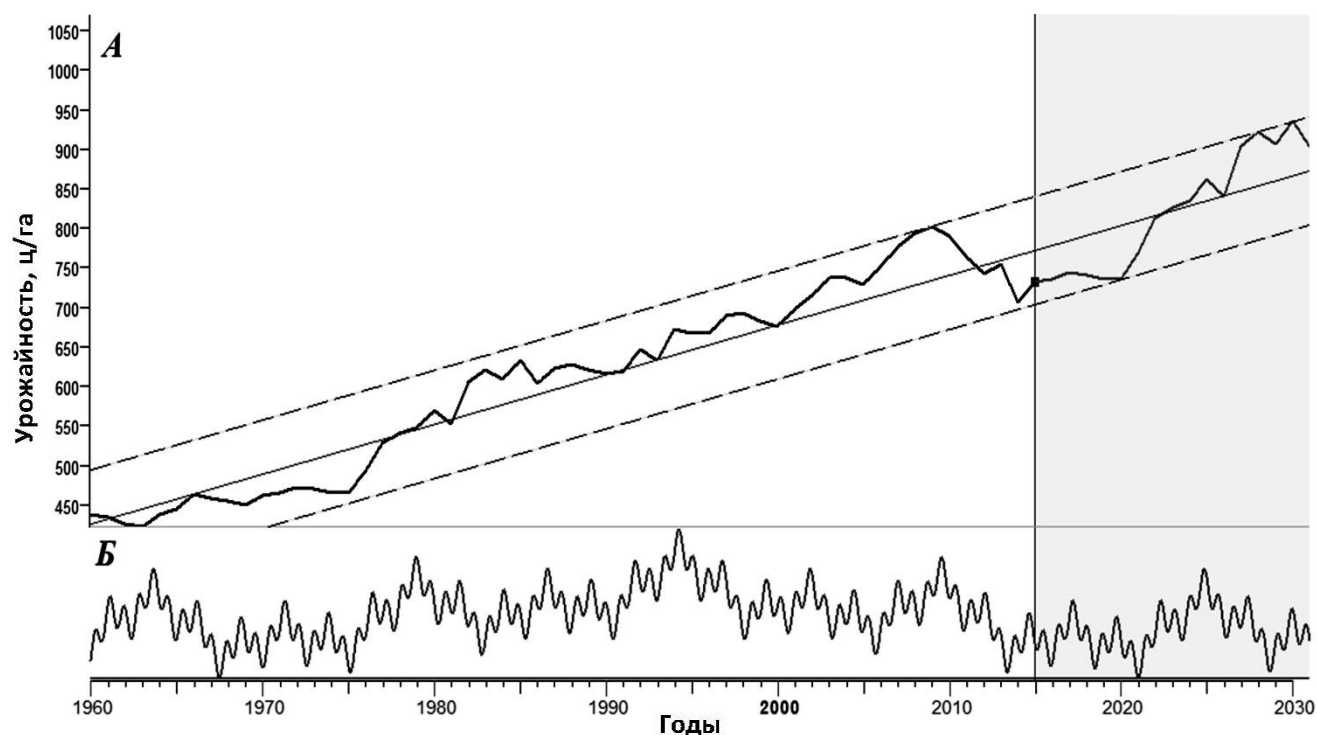


Рис. 3. Урожайность сахарного тростника в Бразилии (1960–2015 гг.) установленная с применением канального движения величины, и оценочный прогноз до 2031 г. (А); осциллограмма, построенная на основе теории временных циклов Дж. Хёрста (Б)

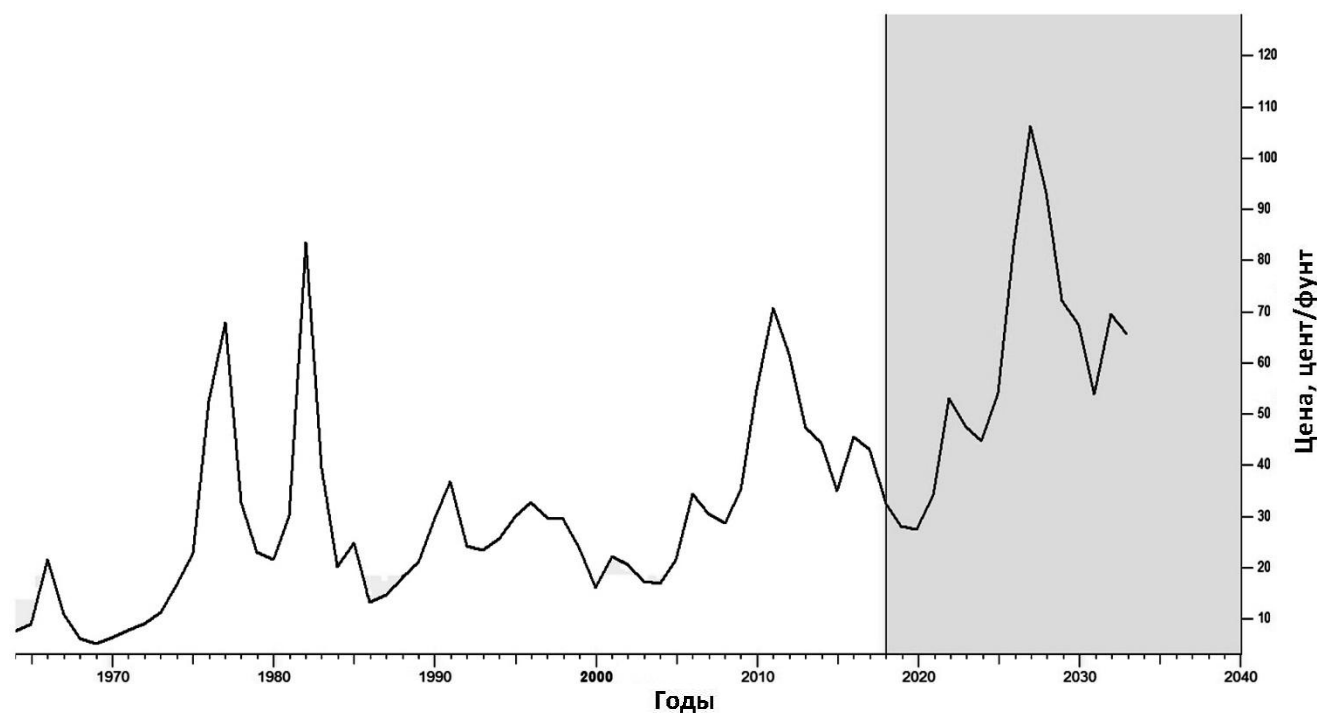


Рис. 4. Цена на сахар на Чикагской товарной бирже (1902–2018 гг.) и кривая самоподобия по Л. Вильямсу

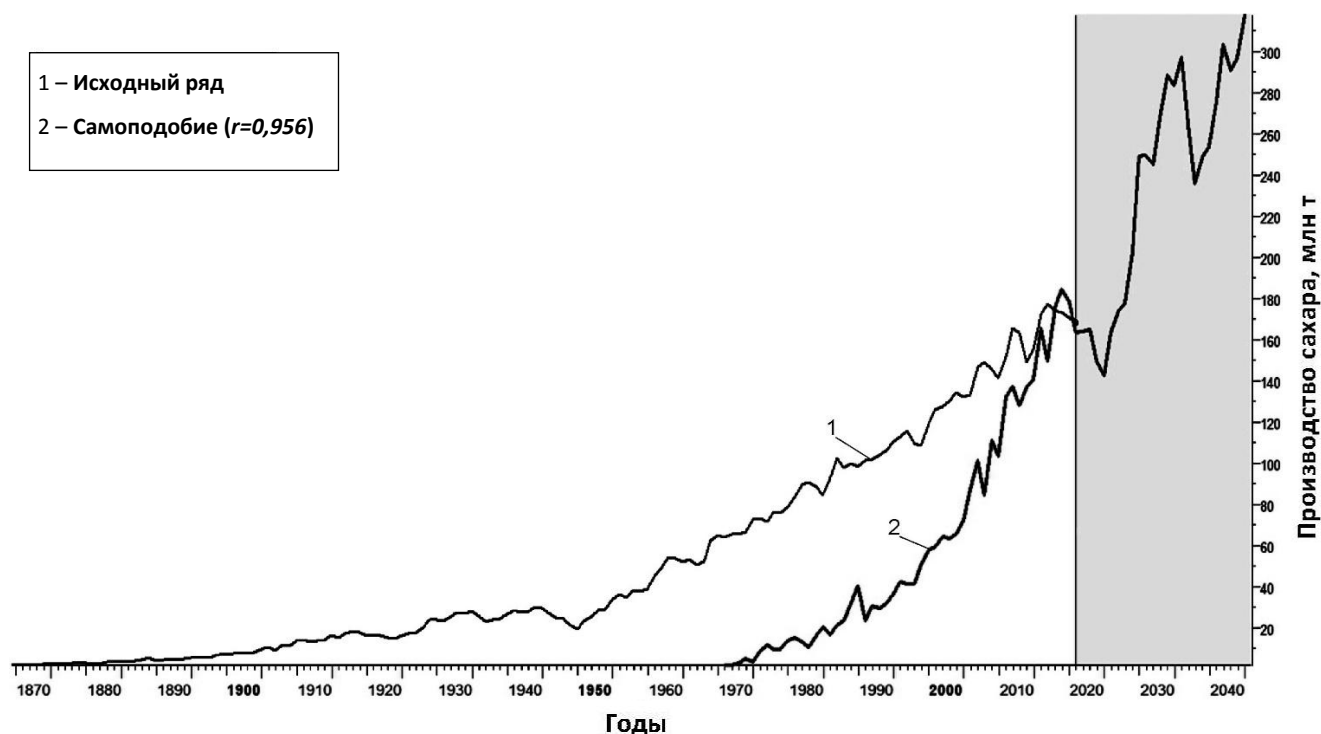


Рис. 5. Мировое производство сахара (1864–2016 гг.) и его корреляционное самоподобие

сорокалетний период. По большому счету не имеет значения, что текущий момент и начало XX в. отделены столетием. Таким образом, можно предположить «существование устойчивых паттернов в поведении изучаемых величин» [19]. Особенность этого инструмента состоит в том, что «при изменении величин в прошлом можно приблизительно предсказать будущие движения показателей» [20].

Необходимо помнить, что эти периоды подобны, но не идентичны.

Каждый выявленный период с похожей исторической величиной не просто некоторый набор данных. Эти явления происходили на фоне определенного социального-экономического контекста – как рынка, так и человеческой истории в целом. Таким образом, зная, что и в какой последовательности происходило, можно будет спрогнозировать будущие события.

Продолжением (расширенной версией) данного метода является межрыночный анализ.

Межрыночный анализ (intermarket analysis)

Этот вид анализа реализует поиск опережающих индикаторов. Для этого необходимо определить тип индикатора – ведущий или отстающий – и приблизительно оценить значение лага для этого индикатора. Известный факт, что экономика (промышленность) следует за фондовым рынком, т. е. в первую очередь меняется он, а отрасль реагирует на эти изменения. Это означает, что «промышленность является отстающим индикатором для фондового рынка или он, в свою очередь, является ведущим индикатором для промышленности» [21, с. 32]. Данный вид анализа сходен с поиском самоподобия (внутренних паттернов), но значения сравниваются с показателями деятельности других от-

раслей, как смежных, так и совсем не связанных между собой сегментов (секторов) производственной, сельскохозяйственной, торговой и других отраслей народного хозяйства.

Коэффициенты корреляции показателей, рассчитанные по результатам межрыночного (межотраслевого) анализа (т. е. показатели, с которыми сравнивается базовая величина):

Производство сахара в Бразилии.....	0,980
Посевные площади в Бразилии.....	0,976
Валовой сбор в Бразилии.....	0,975
Урожайность в Бразилии.....	0,976
Валовой сбор в Индии.....	0,981
Мировое производство тростникового сахара.....	0,986

На рис. 6 показан графический пример межрыночного анализа.

Данный инструмент называется опережающим индикатором. Существует около десяти общеизвестных экономических опережающих индикаторов (таких как индикаторы денежной массы или строительных лицензий), но именно этот индикатор является фундаментальным (базовым) среди них. Наряду с ним существуют индикаторы последующие, которые изменяются только после произошедших в экономике изменений, и индикаторы совпадения, изменяющиеся одновременно с изменениями в экономике [18]. Наибольший интерес вызывают опережающие индикаторы как вспомогательный инструмент прогнозирования конъюнктуры любого рынка или сектора экономики.

Основным критерием проверки выступает корреляция базовой функции с показателями других величин.

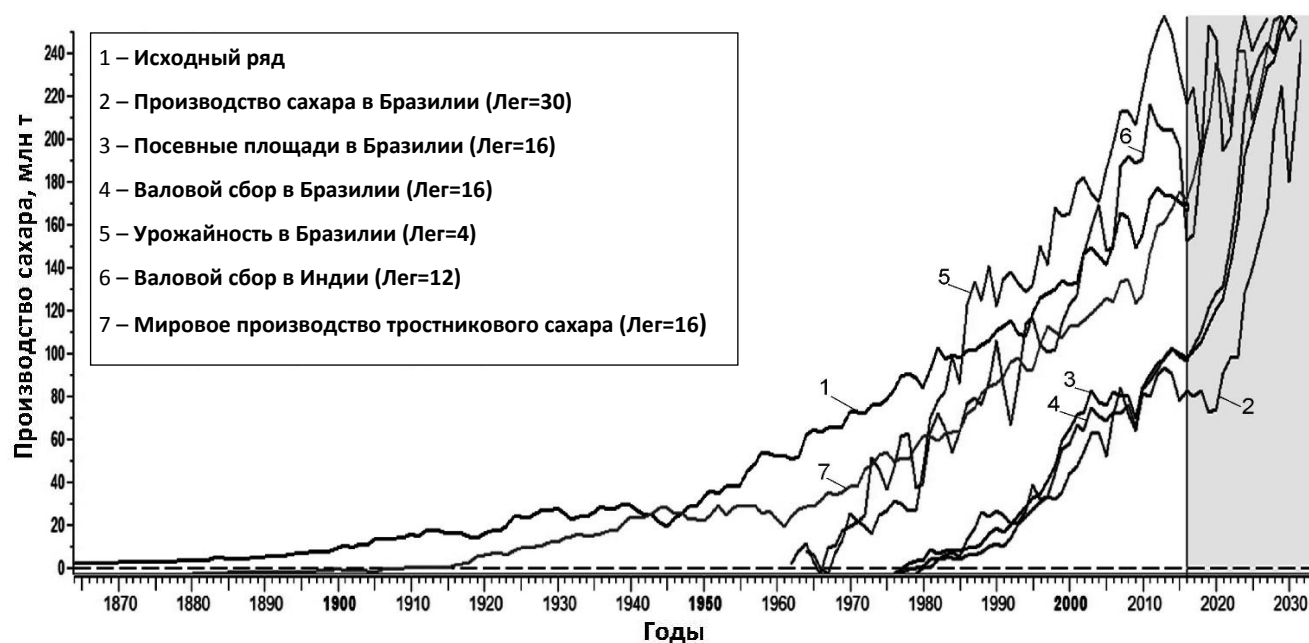


Рис. 6. Кривые, построенные по результатам межрыночного анализа данных мирового производства сахара (1864–2016 гг.)

Иногда в качестве исключения применяют обратный метод, называющийся инверсией.

На рис. 7 в качестве примера показан исходный ряд цены на сахар на Чикагской товарной бирже, а опережающим индикатором выступает цена сорта нефти марки Brent.

Определенно, между ними есть корреляция ($R^2=77,3\%$). Отрицательный лаг опережающего индикатора – 229 значений (торговых дней), или около 11 месяцев календарного года. Пример графического отображения корреляционных полюсов по сравниваемым величинам приведен на рис. 8.

Вначале происходит изменение в динамике цены на нефть, затем – цены на сахар, поскольку величина, сдвинутая вперед, может рассматриваться как опережающий индикатор с задержкой.

«Метод осуществляет поиск устойчивых паттернов в исторических данных, сходных с текущим временным рядом исследуемой величины, но из другой отрасли экономики» [17, с. 65]. Ключевой идеей является то, что любой «ценовой рисунок» уже имел место в прошлом, и если его правильно определить, то можно спрогнозировать поведение исследуемого ряда. Современные компьютерные технологии позволяют находить опережающие индикаторы повсеместно.

Самоподобие по поворотным точкам (zigzag similarity)

Прогноз, основанный на самоподобии по поворотным точкам, является классическим способом определения тренда. Базовым критерием методики является определение поворотных точек (зигзагов) и поиск аналогичных периодов в прошлых значениях.

В рамках данной работы «под поворотной точкой» понимается момент времени (день, неделя, год и т. д.),

в который индикатор "зигзаг" меняет свое направление» [18]. Для оценки качества прогноза используются критерии в виде корреляции. Сильная корреляция означает, что прогноз по зигзагу лучше соответствует прогнозируемому индикатору, соответственно, модель имеет меньше инверсий и лучшее (более близкое) соответствие поворотных точек.

На рис. 9 представлен графический пример прогноза самоподобия по поворотным точкам.

Поворотными точками в техническом анализе называются графические построения, которые отфильтровывают избыточные колебания цен или индикаторов, не превышающие определенной величины, заданной в процентах или абсолютных числах. Техника построения органических SRL (линий поддержки и сопротивления) завязана на анализе поворотных точек графика, или так называемых зигзагов [15; 16]. Это делается для того, чтобы убрать информационный шум на графике и акцентировать внимание только на достаточно сильных ценовых изменениях (рис. 10).

Маркером 2 обозначена линия, соответствующая этой кривой с лагом в 28 лет (т. е. по последним 1000 поворотным точкам 1983 г. соответствует 2019 г.). Основным параметром здесь выступает зигзаг с 5%-м отклонением (допуском). Это позволяет нивелировать все информационные шумы, которые сопровождают микротренды на графике.

На рис. 11 представлено совмещение двух подходов по самоподобию.

Из рис. 11 видно, что оба инструмента демонстрируют одинаковый тренд в виде роста цены на сахар до 2026 г.

Дополнительными инструментом в методах самоподобия выступают фрактальные скользящие средние.

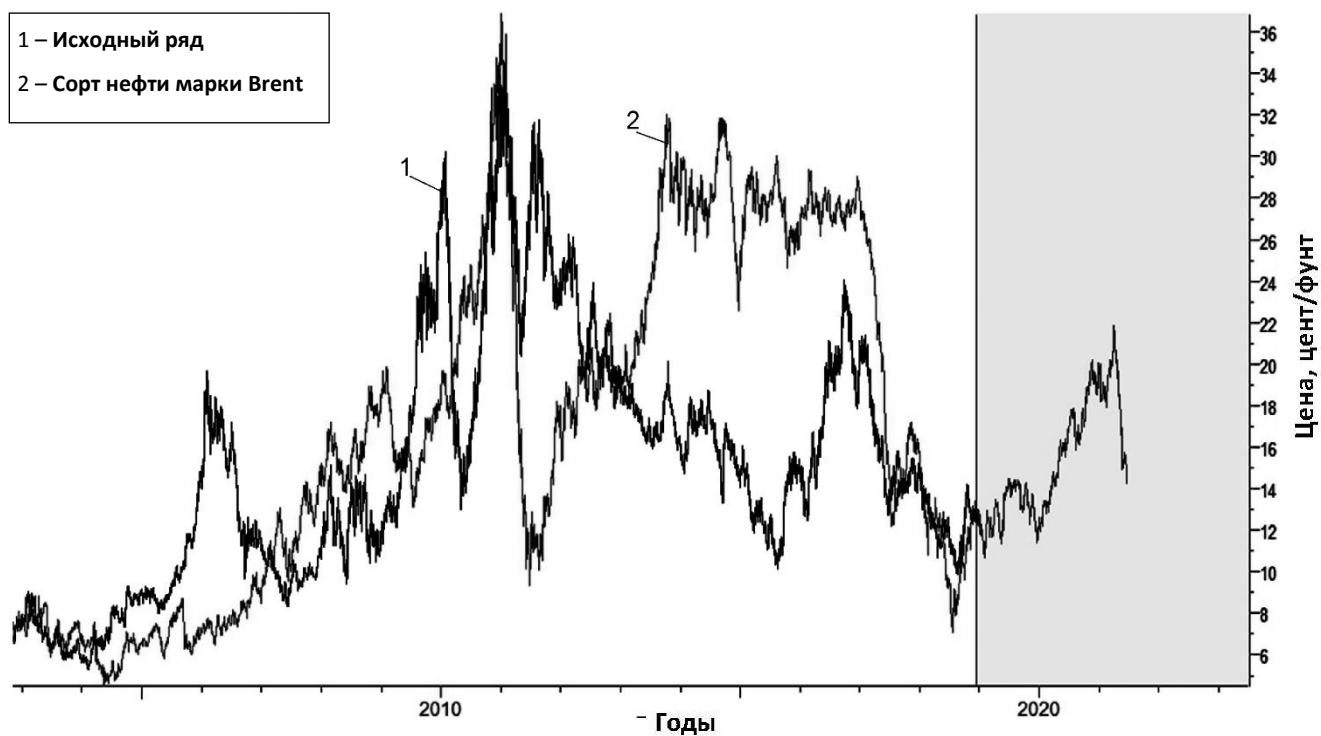


Рис. 7. Пример межрыночного анализа (цена на сахар и сорта нефти)

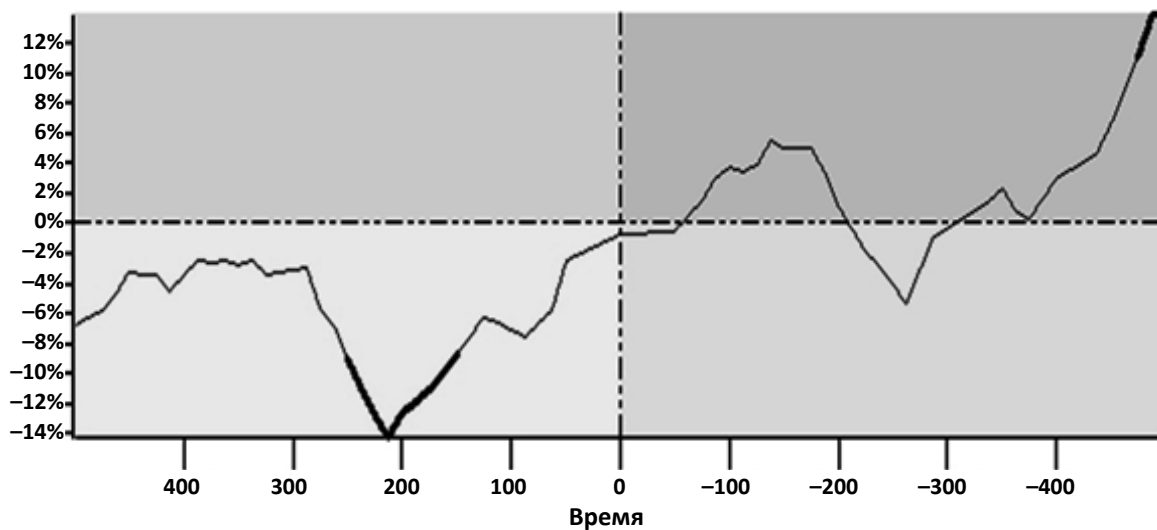


Рис. 8. График межрыночного опережения



Рис. 9. Временные ряды урожайности сахарной свеклы на Кубани (1932–2016 гг.)

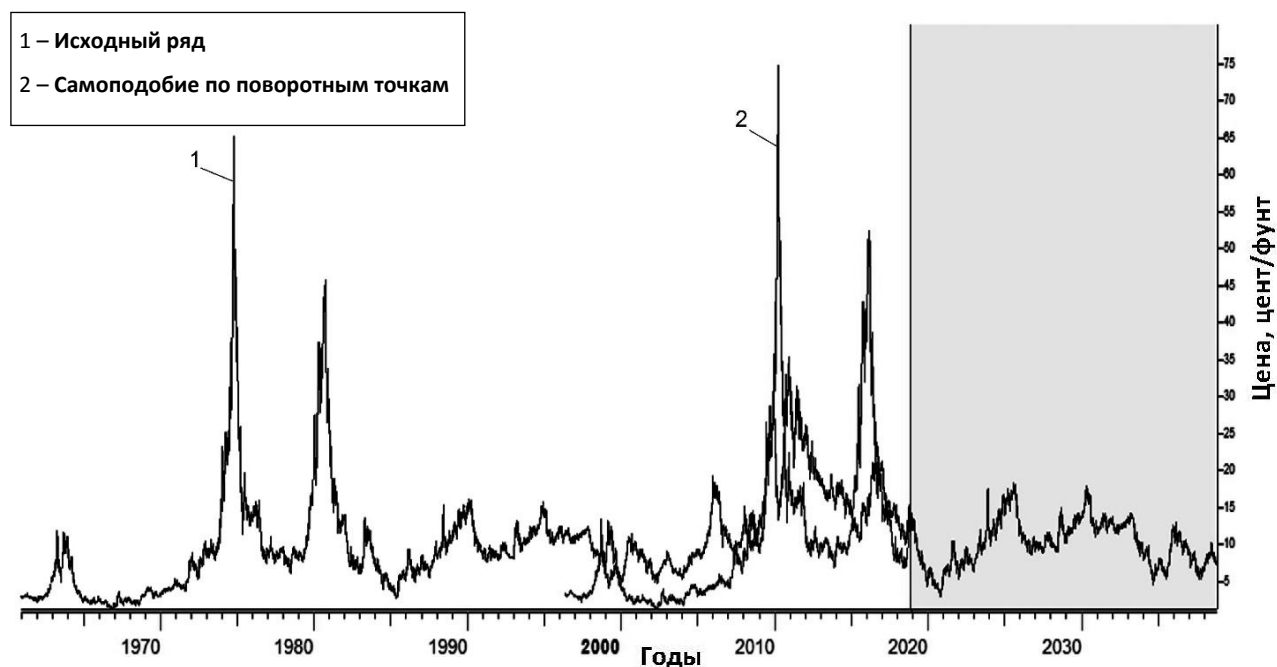


Рис. 10. Цена на сахар на Чикагской товарной бирже (1902–2019 гг.)
и график самоподобия по поворотным точкам

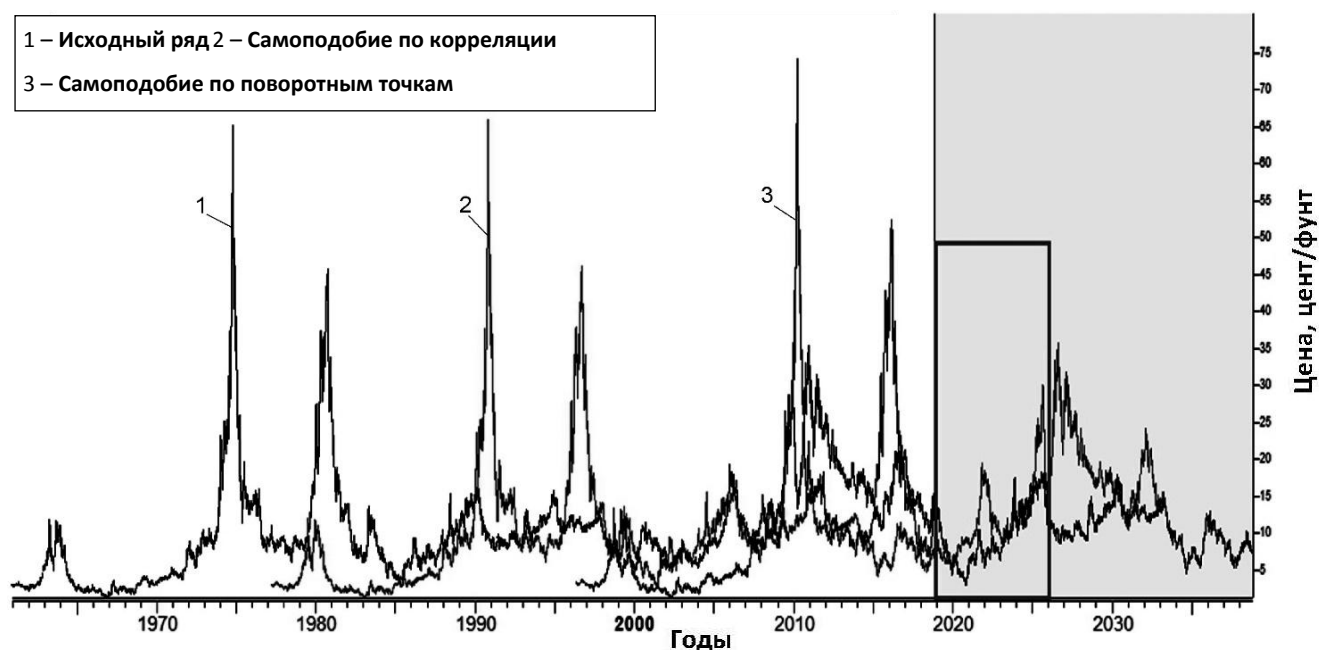


Рис. 11. Сравнительные индикаторы самоподобия на базе цены на сахар на Чикагской товарной бирже (1902–2019 гг.)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Предпринята успешная попытка решения задачи прогнозирования сложных отраслевых систем с помощью комплекса методик фазово-фрактального анализа, основой которого стали методы самоподобия (фрактальной геометрии).

В процессе исследования были получены следующие научные результаты.

1. Установлено, что редукция или уплотнение данных часто оказываются необходимыми, так как для выполнения прогнозирования может быть собрано как слишком много исходных данных, так и слишком мало. Некоторые данные могут не иметь прямого отношения к рассматриваемой задаче, а будут лишь снижать точность прогнозирования. Другие данные могут соответствовать проблеме, но только в рамках конкретного исторического периода. Например, при прогнозировании объемов продаж сахара целесообразным будет использовать данные о его продажах с середины XX в. – с момента бурного роста мирового производства сахара и производительности труда в отрасли.

2. Опробован совершенно новый, уникальный подход к решению задач прогнозирования с использованием средств фазово-фрактального анализа. Он показал качественно высокие результаты и возможность его применения в других отраслях экономики АПК.

3. Наряду с фазово-фрактальным анализом был адаптирован к прогнозированию метод Л. Вильямса, экспериментально подтвердивший свою эффективность и дополнивший фазово-фрактальный анализ, который также показал приемлемые результаты.

4. Адаптирован межрыночный (межотраслевой) анализ, который представляет собой ключевую модель фрактальных (самоподобных) видов анализа, реализующую поиск самоподобий и опережающих индикаторов, а также выявление устойчивых паттернов в изу-

чаемых показателях, повторяющихся в них и формально не связанных между собой.

5. В качестве эксперимента была разработана и адаптирована модель, основанная на анализе поворотных точек. Методика позволила получить прогноз по этим точкам, определить движение тренда и дополнительно оценить качество прогноза в сравнении с другими методами.

6. Исследование подтвердило, что изучаемые величины распределены по мультифракталу неравномерно, но самоподобно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелухин О.И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения. М.: Горячая Линия-Телеком, 2016. 576 с.
2. Кириченко Л., Радивилова Т. Фрактальный анализ реальных данных // International Journal "Information Content and Processing". 2018. Vol. 5. № 2. P. 142–199.
3. Александровская Ю.П. Использование фрактальных методов для анализа финансовых рядов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 18. С. 257–261.
4. Гладков С.О. Теоретические свойства физических фракталов и их приложение к практическим задачам. М.: МАИ, 2017. 196 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 655 с.
6. Абаимов С.Г. Статистическая физика сложных систем. От фракталов до скейлинг-поведения. М.: URSS, 2019. 400 с.
7. Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И. Парадигма фрактальных структур // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. С. 183–192.

8. Протасов В.Ю. Синусоида и фрактал: Элементы теории обработки сигналов и теории всплесков. М.: МЦНМО, 2020. 120 с.
9. Makletsov S.V., Opokina N.A., Shafigullin I.K. Application of fractal analysis method for studying stock market // *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2020. Vol. 11. № 1. P. 1–8.
10. Paluch M., Jackowska-Strumillo L. Hybrid Models Combining Technical and Fractal Analysis with ANN for Short-Term Prediction of Close Values on the Warsaw Stock Exchange // *Applied sciences (Switzerland)*. 2018. Vol. 8. № 12. Article number 2473.
11. Пректер Р., Фрост А. Волновой принцип Эллиотта. Ключ к пониманию рынка. 9-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2019. 268 с.
12. Деменок С.Л. Просто фрактал. СПб.: Страта, 2019. 274 с.
13. Семенко А.Ф. Иерархии циклов. М.: ВегаПринт, 2015. 450 с.
14. Джанахмедов А. Синергетика и фракталы в экологии. Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. 312 с.
15. Chen Q., Liu G., Ma X., Li X., He Z. Fractal generator for efficient production of random planar patterns and symbols in digital mapping // *Computers & Geosciences*. 2017. Vol. 105. P. 91–102.
16. Потапов А.А. Фрактальные методы исследования флуктуаций сигналов и динамических систем в пространстве дробной размерности. URL: https://www.researchgate.net/publication/320728322_Potapov_AA_Fraktalnye_metody_issledovaniya_flyuktuatsiy_signalov_i_dinamicheskikh_sistem_v_prostranstve_drobnoj_razmernosti.
17. Моторина И.Ю., Курзнев В.А. Фрактальный анализ динамики коэффициентов финансового состояния предприятий // *Управленческое консультирование*. 2016. № 11. С. 81–88.
18. Sviridov O.Y., Nekrasova I.V. Fractal analysis of financial markets // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 10-1. С. 74–80.
19. Бурлаков В.В., Дементьева Е.М., Дзюрдзя О.А. Фрактальный анализ как метод прогнозирования динамики стоимости ценных бумаг предприятий с учетом их скрытого инновационного потенциала // *Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право*. 2020. № 3. С. 87–98.
20. Большаков В., Волчук В., Дубров Ю. Пути применения теории фракталов. Германия: OmniScriptum Publishing KS, 2016. 156 с.
21. Грегори-Вильямс Дж., Вильямс Б. Торговый хаос. Увеличение прибыли методами технического анализа. 2-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2019. 310 с.
3. Aleksandrovskaya Yu.P. The use of fractal methods to analyze financial series. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, vol. 17, no. 18, pp. 257–261.
4. Gladkov S.O. *Teoreticheskie svoystva fizicheskikh fraktalov i ikh prilozhenie k prakticheskim zadacham* [Theoretical properties of physical fractals and their application to practical problems]. Moscow, MAI Publ., 2017. 196 p.
5. Mandelbrot B. *Fraktalnaya geometriya prirody* [The Fractal geometry of nature]. Moscow, Institut kompyuternykh issledovaniy Publ., 2002. 655 p.
6. Abaimov S.G. *Statisticheskaya fizika slozhnykh sistem. Ot fraktalov do skeyling-povedeniya* [Statistical physics of complex systems. From fractals to scaling behavior]. Moscow, URSS Publ., 2019. 400 p.
7. Kravchenko G.M., Vasilev S.E., Pudanova L.I. The paradigm of fractal structures. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2017, no. 4, pp. 183–192.
8. Protasov V.Yu. *Sinusoida i fraktal: Elementy teorii obrabotki signalov i teorii vspleksov* [Sine wave and fractal: elements of the theory of signal processing and the theory of bursts]. Moscow, MTsNMO Publ., 2020. 120 p.
9. Makletsov S.V., Opokina N.A., Shafigullin I.K. Application of fractal analysis method for studying stock market. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 1–8.
10. Paluch M., Jackowska-Strumillo L. Hybrid Models Combining Technical and Fractal Analysis with ANN for Short-Term Prediction of Close Values on the Warsaw Stock Exchange. *Applied sciences (Switzerland)*, 2018, vol. 8, no. 12, article number 2473.
11. Prekter R., Frost A. *Volnovoy printsip Elliotta. Klyuch k ponimaniyu rynka* [Elliott wave principle. The key to understanding the market]. 9th ed. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2019. 268 p.
12. Demenok S.L. *Prosto fraktal* [Just a fractal]. Sankt Petersburg, Strata Publ., 2019. 274 p.
13. Semenko A.F. *Ierarkhii tsiklov* [Hierarchies of cycles]. Moscow, VegaPrint Publ., 2015. 450 p.
14. Dzhanakhmedov A. *Sinergetika i fraktaly v ekologii* [Synergetics and fractals in ecology]. Germaniya, LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. 312 p.
15. Chen Q., Liu G., Ma X., Li X., He Z. Fractal generator for efficient production of random planar patterns and symbols in digital mapping. *Computers & Geosciences*, 2017, vol. 105, pp. 91–102.
16. Potapov A.A. Fractal methods to study fluctuations in signals and dynamical systems in the space of fractional dimension. URL: https://www.researchgate.net/publication/320728322_Potapov_AA_Fraktalnye_metody_issledovaniya_flyuktuatsiy_signalov_i_dinamicheskikh_sistem_v_prostranstve_drobnoj_razmernosti.
17. Motorina I.Yu., Kurznev V.A. Fractal analysis of dynamics of coefficients of a financial standing of the company. *Upravlencheskoe konsultirovanie*, 2016, no. 11, pp. 81–88.
18. Sviridov O.Y., Nekrasova I.V. Fractal analysis of financial markets. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, no. 10-1, pp. 74–80.

REFERENCES

1. Shelukhin O.I. *Multifraktaly. Infokommunikatsionnye prilozheniya* [Multifractals. Infocommunication applications]. Moscow, Goryachaya Liniya-Telekom Publ., 2016. 576 p.
2. Kirichenko L., Radivilova T. Fractal analysis of real data. *International Journal "Information Content and Processing"*, 2018, vol. 5, no. 2, pp. 142–199.

19. Burlakov V.V., Dementeva E.M., Dzyurdzha O.A. Fractal analysis as a method for predicting the dynamics of the enterprises securities value based on their hidden innovative potential. *Vestnik RGGU. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 2020, no. 3, pp. 87–98.
20. Bolshakov V., Volchuk V., Dubrov Yu. *Puti primeneniya teorii fraktalov* [Ways of applying the theory of fractals]. Germaniya, OmniScriptum Publ., 2016. 156 p.
21. Gregori-Vilyams Dzh., Vilyams B. *Torgovyy kaos. Uvelichenie pribyli metodami tekhnicheskogo analiza* [Trade chaos. Increase in profit by methods of technical analysis]. 2nd ed. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2019. 310 p.

DATA ANALYSIS USING FRACTAL GEOMETRY AND SELF-SIMILARITY METHODS

© 2021

D.Yu. Zhmurko, PhD (Economics), Associate Professor,

lecturer of Chair of Informatics and Mathematics

Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Krasnodar (Russia)

Keywords: phase-fractal analysis; self-similarity; self-affinity; reduction; J.M. Hurst Cyclic theory; intermarket analysis; time scale; real-time scale selection.

Abstract: At the moment, the researchers of the market and economic indicators (cycles) scarcely use (due to the utter skepticism) for their calculations mathematical techniques to find fractal patterns (self-similarities) determining the movement of the studied indicators trend (or some state of the studied sector of the agricultural economy). These tools showed their efficiency in predicting the macroeconomic time series of performance indicators of some regional participants in the sugar sub-complex of the agro-industrial complex. Some elements of such patterns have proven themselves well in the construction of indicators of advanced development. They belong to the class of express methods of trend identification. In terms of efficiency and time expenditures, they are significantly superior to mathematical tools such as artificial neural networks, genetic algorithms, fuzzy logic methods, etc. The paper implements the search for stable price patterns in the history of price quotations similar to the current values. The idea is that any price pattern has taken place in the past: having this pattern properly identified, it is possible to predict to a high precision the behavior of any segment of the agro-industrial market. The author considered the forecasting methods belonging to the class of phase-fractal analysis and self-similarity methods. Besides, the author emphasizes the adaptation of such techniques when predicting the indicators of regional participants in the sugar sub-complex of the agro-industrial complex. Within the practical part of the work, the author applied the elements of phase-fractal analysis for the spurious response rejection. It allowed significantly decreasing the information noise in one dimension spectra. The results of applied calculations and practical implementation confirmed the possibility of using the tool in predicting the economic performance of large industrial enterprises of the sugar sub-complex. The results obtained for the described models allow performing multivariate calculations for the same indicators. The results of using phase-fractal analysis and self-similarity methods in forecasting tasks demonstrated the possibility of solving them and confirmed their practical significance.