



"Утверждаю"  
Директор ФГБУН Институт теории прогноза землетрясений  
и математической геофизики РАН  
Член-корреспондент РАН

*А.А. Соловьев*  
А.А. Соловьев

05 мая 2017 г.

Отзыв ведущей организации о диссертации  
Федорова Сергея Леонидовича

«Моделирование нестационарных временных рядов и построение оператора эволюции их выборочных распределений непараметрическими методами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа посвящена развитию методов анализа и численного моделирования нестационарных временных рядов и функционалов, заданных на траекториях ансамбля реализаций нестационарного случайного процесса, функция распределения которого удовлетворяет кинетическому уравнению типа Фоккера-Планка. Это уравнение записывается относительно выборочных плотностей, оцениваемых по единственной реализации временного ряда, как это и имеет место на практике. Подход, развиваемый соискателем, состоит в оценке по наблюдаемым значениям случайной величины параметров кинетического уравнения, описывающего эволюцию его функции распределения: коэффициентов сноса, диффузии и размерности пространства разбиения области гистограммы на классовые интервалы. Следует подчеркнуть, что метод кинетических уравнений традиционно применяется для описания эволюции генеральной совокупности в силу некоторой динамической системы, задаваемой определенными точно известными уравнениями движения. В развиваемом соискателем подходе кинетическое уравнение описывает эволюцию выборочной функции распределения. Основная идея состоит в изучении статистики распределения расстояний между выборочными функциями распределения в различных нормах и конструировании на этой основе оператора эволюции.

**Актуальность темы исследования.** Традиционный подход к анализу нестационарных временных рядов состоит в том, что рассматриваются только такие ряды, которые с помощью линейных преобразований сводятся к стационарным. Эти ряды изучаются в рамках авторегрессионных интегрированных моделей скользящего среднего. Указанные модели оперируют не с выборочными функциями распределения, а непосредственно с элементами временного ряда. Ряды, не укладывающиеся в рамки регрессионного анализа, изучаются разными эвристическими методами, называемыми адаптивными, не имеющими четкого математического обоснования. Недостатком традиционного подхода является то, что изучается единственная реализация случайного процесса, тогда как для эволюционирующих распределений методически правильно изучать ансамбль возможных траекторий. Это требует использования кинетических уравнений – либо для генеральных совокупностей, либо для выборок. К преимуществам кинетического метода следует отнести то, что в нем не предполагается каких-то специальных свойств временных рядов, кроме естественного на практике требования равномерной ограниченности ряда по времени. Соискателю удалось создать программный продукт, являющийся нестационарным аналогом метода Монте-Карло применительно к задаче размножения нестационарных выборок. Это имеет большое практическое значение, так как позволяет проводить тестирование статистических гипотез на

ансамбле траекторий, имеющих одинаковые статистические свойства и не являющихся стационарными.

**Содержание диссертации.** Диссертация «Моделирование нестационарных временных рядов с заданными свойствами эволюции их выборочных распределений» состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор существующих подходов к обозначенной проблеме, указаны общие сведения о работе и приведен перечень результатов, выносимых на защиту.

В первой главе строится прогнозная модель временного ряда на основе кинетического уравнения эволюции его выборочных распределений и формулируется метод генерации траекторий случайного процесса, одной из реализаций которого является изучаемый временной ряд.

Во второй главе проводится теоретический анализ предложенной модели. Соискателем введены и изучены новые статистики, так называемые индикаторы нестационарности временного ряда: согласованный уровень стационарности и индекс нестационарности. Основным результатом этой главы является теоретическое обоснование модели эволюции выборочной функции распределения, использующей эмпирическое уравнение Фоккера-Планка. Сформулированы критерии корректности моделирования ансамбля траекторий, которые проверяются численно.

В третьей главе приведены вычислительные алгоритмы, применяемые для нахождения индикаторов нестационарности, решения уравнения Фоккера-Планка, генерации ансамбля траекторий и тестирования заданных на этих траекториях функционалов. Описана структура программного комплекса, реализующего разработанные алгоритмы.

В четвертой главе приведены примеры практических результатов, полученных с применением построенного программного комплекса. Эти результаты относятся к разработке и тестированию торговых систем в задачах алготрейдинга, к определению однородности текста и языка написания зашифрованного сообщения в задачах математической лингвистики, а также к определению уровня значимости оценки региональной сейсмической активности.

**Научная новизна.** Все результаты диссертации являются новыми. В ней впервые введен и протабулирован индикатор, названный в работе согласованным уровнем значимости, сравнение с которым позволяет определить уровень нестационарности выборочных распределений временного ряда. Также впервые разработан и реализован в виде программного комплекса с интерфейсом нестационарный аналог метода Монте-Карло применительно к анализу и прогнозированию временных рядов и к исследованию статистических свойств функционалов, заданных на траекториях нестационарного случайного процесса.

**Практическая значимость работы.** Разработанные в диссертации методы позволяют моделировать нестационарные случайные процессы в сложных системах с так называемыми дальними корреляциями и при моделировании процессов самоорганизации. Результаты могут быть также применены для анализа Больших Данных. Разработанная математическая модель и программный продукт могут быть использованы в научной работе в МГУ, МИ РАН, МФТИ, ВШЭ и других научных организациях, а также в практической работе специалистами в области финансовой аналитики, математической лингвистики, медицины, математической геофизики, демографии.

**Обоснованность и достоверность результатов диссертации.** Все полученные в диссертации результаты сформулированы в виде теорем и снабжены строгими и подробными доказательствами, что гарантирует их достоверность. Корректность вычислительных операций основана на использовании апробированных в научной практике методов численного анализа.

**Публикация результатов в печати.** По материалам диссертации опубликовано 10 работ. Из них 2 статьи в рецензируемых журналах, 2 статьи в трудах международных конференций и 6 препринтов ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Материал диссертации достаточно полно представлен в опубликованных работах. Положения и выводы диссертации прошли серьезную научную апробацию.

**Отмеченные недостатки.**

1. Результаты вычислительных экспериментов, иллюстрирующих применение разработанных автором индикаторов нестационарности, недостаточно полно сравниваются с результатами применения традиционных методов исследования временных рядов.
2. В плане применения развитого подхода к задачам сейсмологии нельзя не отметить ряд недостатков. Некорректно используется терминология в области сейсмологии. Нечетко сформулированы исходные посылки. Не вполне ясны некоторые утверждения, например, что означает «вероятности магнитуд определены не хуже 0.025». Данные анализа, вопреки мнению автора, вряд ли важны в плане практического использования (уточнения СНИПов, например). Тем не менее, полученные результаты, дающие оценки интервалов времени максимальной стационарности выборок по магнитуде и по интервалам времени между событиями представляют определенный интерес. Такого рода оценки для традиционной сейсмологии не характерны, и уже этим они представляют интерес.

**Заключение о диссертации.** Данная диссертация представляет собой целостное научное исследование на актуальную тему, в котором получен ряд новых результатов по теории дифференциальных операторов с дробными производными и по кинетическим уравнениям относительно выборочных функций распределения. Результаты, полученные в диссертации Федорова Сергея Леонидовича, несомненно, являются результатами высокого научного уровня и представляют, на наш взгляд, определенную научную ценность.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Федорова Сергея Леонидовича «Моделирование нестационарных временных рядов и построение оператора эволюции их выборочных распределений непараметрическими методами» удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв заслушан и утвержден на заседании семинара института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН (протокол № 3 от 20 апреля 2017 г.).

Отзыв составил

Гнс Родкин Михаил Владимирович  
дфмн  
5 мая 2017

Зав. лабораторией теории прогноза землетрясений  
к.т.н. Кузнецов Игорь Васильевич

