

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Каргаполовой Нины Александровны «Алгоритмы численного стохастического моделирования нестационарных метеорологических и биоклиматических процессов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика

**Актуальность темы исследования.** Для решения широкого круга задач, связанных, в частности, с изучением метеорологических и климатических процессов, в настоящее время широко используются численные стохастические модели. Однако существующие модели нестационарных временных рядов, пространственных и пространственно-временных полей отдельных метеопараметров и их комплексов (стохастические «генераторы погоды») часто являются чрезвычайно трудоемкими. Обострившаяся в период климатических изменений необходимость исследования влияния природных факторов на состояние здоровья человека показала целесообразность развития новых подходов к разработке численных моделей, адекватно воспроизводящих различные свойства реальных биоклиматических процессов - особенно с точки зрения связи погодных условий и обострений заболеваний человека. Эти аспекты определяют актуальность диссертационной работы Каргаполовой Н.А., в рамках которой разработаны и исследованы алгоритмы численного моделирования случайных процессов с заданными вероятностными свойствами, а также предложены численные стохастические модели метеорологических и биоклиматических процессов, учитывающих их временную нестационарность и пространственную неоднородность. Предложенные алгоритмы и созданные с их использованием модели существенно расширяют возможности исследования свойств реальных процессов, особенно в ситуациях, когда исследование на основе экспериментальных данных затруднено в силу их недостаточного – по разным причинам - объема

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Диссертация изложена на 247 страницах, включает библиографический список из 210 наименований, содержит 74 рисунка и 46 таблиц

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель и основные задачи исследования. Приведены положения, выносимые на защиту. Представлены научная новизна и методы исследования, обоснована достоверность представленных результатов. Кратко описана структура диссертационной работы, ее апробация и личный вклад автора.

В **главе 1** предложены алгоритмы моделирования двумерных однородных случайных полей с корреляционными функциями случайного вида. Рассмотрены вопросы стохастической интерполяции стационарных и нестационарных случайных процессов; изучена корреляционная структура процесса непрерывного аргумента, построенного с помощью стохастической интерполяции процесса дискретного аргумента. Описаны разработанные алгоритмы моделирования условных негауссовских процессов с точечными и интервальными условиями.

В **главе 2** рассматриваются вопросы, посвященные разработке, исследованию и верификации стохастических «генераторов погоды». Предложены алгоритмы стохастического моделирования временных рядов и пространственно-временных полей комплексов метеорологических параметров и их специальных характеристик. В качестве примера рассматривается реализация стохастического «генератора погоды», предназначенного для моделирования пространственно-временного поля приземной

температуры воздуха, вектора скорости ветра и количества осадков на сети метеостанций южной части Байкальской природной территории в предположении о временной периодической коррелированности с периодом 1 сутки.

**Глава 3** посвящена разработке, исследованию, верификации и сравнения различных моделей временных рядов, пространственных и пространственно-временных полей биоклиматических индексов (индекса холодового стресса, биоклиматического индекса суровости метеорежима, индекса жары, энтальпии влажного воздуха). Построение моделей выполнено с использованием двух подходов. Первый из них базируется на применении стохастических генераторов погоды, а второй основан на использовании определяющих формул для каждого из биоклиматических индексов. Вторым подходом использовался для построения и верификации модели пространственно-временного поля среднесуточного индекса жары (юг России), а также модели пространственного и пространственно-временного полей индекса холодового стресса на юге Западной Сибири.

**В Главе 4** рассмотрено семейство конструктивно определенных периодически коррелированных кусочно-постоянных и кусочно-линейных случайных процессов непрерывного аргумента, построенных на основе стационарных случайных процессов дискретного аргумента и случайных потоков точек различного типа. Исследованы некоторые свойства асимптотически периодически коррелированных случайных процессов, построенных с использованием точечных потоков.

**В Заключение** приведены основные результаты диссертационной работы и представлены перспективы дальнейшей разработки темы исследований. Некоторые известные методы моделирования гауссовских и негауссовских процессов описаны в **Приложении 1**. Сведения о метеорологических станциях, данные наблюдения которых использованы для верификации метеорологических и биоклиматических процессов, содержатся в **Приложении 2**. Часть результатов верификации моделей, предложенных в Главе 3, приведены в **Приложении 3**.

Представленный материал хорошо структурирован. Выводы обоснованы и вытекают из приведенных результатов. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

**Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, и достоверность результатов.** Научные положения и выводы сформулированы исходя из результатов, полученных на основе стандартного аппарата теории методов Монте-Карло, включая методы численного моделирования случайных процессов; теории вероятности и математической статистики; классического аппарата математического анализа, линейной алгебры и вычислительной математики, а также методов статистической метеорологии и климатологии. Теоретическая обоснованность новых алгоритмов численного стохастического моделирования нестационарных процессов базируется на доказательствах сформулированных автором математических утверждений и лемм. Верификация предложенных стохастических «генераторов погоды» и моделей биоклиматических индексов выполнена с использованием данных наблюдений за метеорологическими параметрами на сети метеостанций

Результаты работы апробированы на всероссийских и международных конференциях и изложены в 22 публикациях в изданиях, зарегистрированных в базах данных Web of Science и/или Scopus, из которых 12 статей – из перечня ВАК.

**Научная новизна** работы определяется совокупностью полученных результатов:

1) впервые предложены и разработаны стохастические модели временных рядов, пространственных и пространственно-временных полей биоклиматических индексов (биоклиматического индекса суровости метеорежима, индекса холодового стресса, индекса жары и энтальпии влажного воздуха), учитывающие временную нестационарность и пространственную неоднородность реальных процессов. Модели основаны на специально разработанных численных стохастических моделях метеорологических процессов и на применении определяющих биоклиматические индексы формул;

2) разработаны новые стохастические модели нестационарных неоднородных негауссовских временных рядов и пространственно-временных полей комплексов метеорологических параметров и их специальных характеристик, и на их основе рассчитаны различные характеристики аномальных метеособытий;

3) предложены новые алгоритмы моделирования двумерных однородных случайных полей и условных негауссовских процессов с точечными и интервальными условиями; а также разработано семейство новых алгоритмов моделирования периодически коррелированных и асимптотически периодически коррелированных кусочно-постоянных и кусочно-линейных случайных процессов, основанных на использовании различных типов точечных потоков

По моему мнению, в работе **нет существенных недостатков**, но ряд вопросов и замечаний, тем не менее, присутствует

1. В главе 1 предложен приближённый алгоритм 1.4 моделирования условных негауссовских процессов с интервальными условиями. Судя по диссертации, свойства этого алгоритма исследовались только численно. Логично было бы привести также теоретическое исследование, однако в тексте диссертации эти результаты отсутствуют.

2. В параграфе 2.1.1 использован мультипликативный подход к моделированию временных рядов осадков. В параграфе 2.2 предложен другой подход, основанный на моделировании случайного процесса со специально выбранными кусочно-линейными функциями одномерного распределения с хвостом вейбулловского типа. Проводилось ли сравнение эти двух подходов по точности и трудоёмкости моделирования?

3. В таблицах, представленных в главах 2 и 3, наряду с оценками различных характеристик метеорологических и биоклиматических процессов по реальным данным, приведены значения среднеквадратического отклонения  $\sigma$  этих оценок. На стр. 67 указано, что  $\sigma$  находилась численно. С использованием каких численных экспериментов определялось значение среднеквадратического отклонения?

4. Верификация стохастического «генератора погоды», предназначенного для моделирования пространственно-временного поля приземной температуры воздуха, вектора скорости ветра и количества осадков выполнена на сети метеостанций южной части Байкальской природной территории с достаточно сложной топографией. Учитывался ли «топографический» фактор при проведении сравнений модельных и экспериментальных данных?

5. Верификация стохастических моделей выполнялась с привлечением данных наблюдений отдельных метеорологических станций. Почему автор не использовал данные, представленные в общедоступных базах реанализа?

6. Можно ли на основе полученных результатов говорить о пространственно-временных масштабах, в пределах которых модельные результаты адекватно описывают те или иные метеорологические и биоклиматические процессы?

7. Содержание Главы 4 выглядит несколько изолированно по отношению к остальным разделам диссертации. Логично было бы продемонстрировать, каким

образом предлагаемые в этой главе алгоритмы могут быть использованы для моделирования метеорологических или биоклиматических явлений.

**Заключение.** Диссертационная работа Каргаполовой Н.А. является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему. Работа обладает внутренним единством и завершенностью, содержит новые научные результаты и положения, совокупность которых обеспечивает решение крупной научной проблемы, имеющей важное значение для развития приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований в области создания стохастических моделей метеорологических и биоклиматических процессов.

Работа удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присвоения ученых степеней» № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. и соответствует паспорту специальности 01.01.07 – Вычислительная математика – область науки, к которой относятся разработка и теория методов численного решения математических задач, возникающих при моделировании естественнонаучных и прикладных проблем, а также реализация методов в практическом решении задач с применением современных ЭВМ (пп. 1, 2 и 4)», а автор диссертации Каргаполова Нина Александровна заслуживает присуждения ей учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика, старший научный сотрудник,

ведущий научный сотрудник лаборатории атмосферной радиации

Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук

Журавлева Татьяна Борисовна

12 апреля 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1.

Сайт [www.iao.ru](http://www.iao.ru)

E-mail: [ztb@iao.ru](mailto:ztb@iao.ru)

Тел: (3822) 492875



Подпись Журавлевой Т.Б. заверяю

Ученый секретарь ИОА СО РАН

к.ф.-м.н.

Тихомирова Ольга Владимировна (E-mail: [science@iao.ru](mailto:science@iao.ru))