

УТВЕРЖДАЮ



Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева  
Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИОА СО РАН)  
д. ф. м. н. И.В. Пташник

  
23 апреля 2021 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Греневой Кристины Валерьевны на тему «Численные стохастические модели поверхности морского волнения и гигантских океанических волн», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 - вычислительная математика.

Одним из наиболее эффективных средств изучения природных явлений является компьютерное моделирование. В последнее время для успешного проведения исследований в различных областях науки активно разрабатываются общие методы численного моделирования случайных процессов и расширяется область их применения. Наряду с детерминированными моделями все более значительный вес приобретают стохастические модели, развивающиеся в рамках теории методов Монте-Карло. В данной работе представлено семейство спектральных моделей, предназначенных для описания процессов морского волнения и гигантских океанических волн.

**Актуальность работы.** Для решения ряда задач океанологии, гидрологии, гидромеханики, судостроения и т.д. важно учитывать динамику и статистические свойства поверхности морского волнения. Стохастические численные модели позволяют выполнить моделирование структуры поверхности морского волнения, используя как результаты теоретических исследований, так и данные натурных наблюдений. Перспективными для решения этого класса задач являются модели, основанные на спектральном разложении.

Приближенный характер спектральных моделей делает актуальным вопрос об оценках их погрешностей, который на сегодняшний день является недостаточно изученным. В диссертационной работе предложены и апробированы подходы, которые позволяют выбрать среди множества моделей оптимальную как с точки зрения численной реализации, так и с точки зрения удовлетворения выбранному критерию «близости» результатов исходного и модельного случайных процессов. Эти результаты являются, безусловно, полезными не только для моделей поверхности морского волнения, но и при моделировании других случайных процессов – в частности, мезомасштабных облачных полей. Актуальность данной работы определяется также включением в нее численного моделирования такого природного явления как аномально высокие волны-«кубайцы», изучение и прогнозирование которого на сегодняшний день затруднено ввиду ограниченного набора экспериментальных данных и необходимого математического аппарата,

**Структура и содержание диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списков обозначений и используемой литературы и трех приложений. Объем диссертационной работы – составляет 102

страницы, в том числе – 28 рисунков и 9 таблиц. Список литературы включает 110 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность исследования, его цели и задачи, положения, выносимые на защиту, новизна, а также научная и практическая значимость результатов. Дано краткое описание содержания глав диссертационной работы, отмечен личный вклад автора, приведены сведения об апробации результатов.

В **первой главе** приводится общая информация о спектральных моделях гауссовских однородных случайных полей и их свойствах. Рассматриваются три вида спектральных моделей, которые используются в дальнейшей работе для численного моделирования морского волнения. Описаны алгоритм моделирования пространственной структуры поверхности морского волнения в фиксированный момент времени и переход от пространственной к пространственно-временной модели.

Во **второй главе** исследованы свойства спектральных моделей в зависимости от выбранных параметров. Изучается точность моделей поверхности морского волнения, где в качестве критерия используется погрешность воспроизведения корреляционной функции - для нерандомизированных и «среднего отклонения» - для рандомизированных моделей. Проведено сравнение оценок средней длительности интервалов между выбросами случайного процесса выше заданного уровня для различных моделей. Доказана сходимость конечномерных распределений и слабая сходимость рассматриваемых моделей в пространствах  $L^p$  и  $C^p$ .

В **третьей главе** представлены общие сведения об условных спектральных моделях и описано их применение для моделирования аномально высоких волн. Доказана сходимость конечномерных распределений и слабая сходимость условных спектральных моделей в пространствах  $L^p$  и  $C^p$ . На основе теоретических результатов и данных наблюдений оценена частота возникновения аномально высоких волн.

**Заключение** содержит перечень основных результатов работы.

В **приложении А** приведены сведения об аппроксимациях частотных и угловых спектров морского волнения. **Приложение Б** содержит краткие сведения о природном явлении, получившем название волн-«убийц». В **приложении В** приведена шкала Ботфорта, используемая при анализе адекватности полученных результатов моделирования поверхности морского волнения.

Диссертация написана в хорошем математическом стиле, изложение достаточно четкое и грамотное. Все основные результаты работы опубликованы в 16 печатных работах, из которых 4 – статьи в журналах, входящих в список ВАК РФ. Зарегистрирован «Программный комплекс для численного моделирования стохастической структуры морской поверхности» и разработан электронный ресурс ([http://osmf.sssc.ru/\\_smp/RogueWaves.WEB/RogueWavesICMMG.htm](http://osmf.sssc.ru/_smp/RogueWaves.WEB/RogueWavesICMMG.htm)). Результаты диссертации прошли всестороннюю апробацию на ряде (более 10) научных конференций и семинаров, в том числе международных.

**Автореферат** в полной мере отражает основное содержание диссертации.

**Научная новизна.** К числу основных достижений, имеющих научную ценность, следует отнести следующие новые результаты представленной диссертационной работы:

- разработаны новые численные стохастические модели поверхности морского волнения, основанные на спектральном представлении случайных функций и полей;
- изучена точность спектральных моделей поверхности морского волнения; приведены методы вычисления погрешности моделей с точки зрения воспроизведения корреляционных структур с использованием функционалов с известными аналитическими выражениями;
- разработаны стохастические модели морского волнения с аномально высокими волнами, основанные на условных спектральных моделях;
- доказана сходимость спектральных и условных спектральных моделей поверхности морского волнения;

- предложен подход к оценке частоты появления высоких волн на основе анализа спектра волнения.

**Научная и практическая значимость.** В диссертационной работе рассмотрены пространственные и пространственно-временные модели поверхности морского волнения, основанные на спектральном разложении. Представленные в работе оценки погрешностей для средних отклонений и корреляционных структур в совокупности с доказательствами сходимости конечномерных распределений для спектральных и условно спектральных моделей подтверждают правомерность использования разрабатываемого математического аппарата для описания стохастической структуры морской поверхности.

Разработанные алгоритмы моделирования поверхности морского волнения, в том числе – и с аномальными высокими волнами, являются основой для исследования и получения количественных оценок ряда характеристик геофизических процессов (частота выбросов случайных полей различной высоты, частота возникновения высоких волн на заданном участке или в фиксированный промежуток времени и др.). Зарегистрированный «Программный комплекс для численного моделирования стохастической структуры морской поверхности» существенно расширяет возможности исследований по данной проблематике.

Полученные в диссертационной работе материалы могут быть использованы в образовательных программах высших учебных заведениях и организациях, в которых развиваются и применяются на практике статистическое моделирование различных стохастических процессов (МГУ, НГУ, ТГУ, СПбГУ, ИОА СО РАН и др.), а также на предприятиях, связанных с разработкой сложных технических устройств (судостроение, производство и эксплуатация нефтяных платформ).

**Обоснованность и достоверность полученных результатов** подтверждается теоретическими исследованиями, математическими доказательствами утверждений и результатами проведенных численных экспериментов.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В тексте диссертационной работы следовало уделить большее внимание обоснованию выбора гауссовского характера случайного процесса, используемого для описания поверхности морского волнения.
2. Некоторые результаты получены применительно исключительно к конкретным условиям. В частности, при исследовании свойств модели автором рассматривается спектральная область в виде прямоугольника и не приводится никаких комментариев о результатах, полученных для спектральной области другой формы. Сравнение спектральных моделей выполнено с использованием единственного функционала, чего явно недостаточно для полноценного сопоставления и последующих выводов.
3. Численные эксперименты выполнены для единственной аппроксимации частотных и угловых спектров, тогда как даже в приложении диссертационной работы приведен расширенный набор возможных приближений.
4. В работе отсутствуют какие-либо оценки трудоемкости алгоритмов. Как, например, меняются затраты компьютерного времени, если область моделирования постоянна, а количество гармоник в разложении меняется?

**Заключение.** Представленная диссертационная работа К.В. Греневой является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению актуальных научных задач, имеющих большую научную и практическую значимость и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора. Диссертация соответствует паспорту заявленной специальности 01.01.07 – вычислительная математика.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа К.В. Греневой «Численные стохастические модели поверхности морского волнения и гигантских океанических волн» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует критериям действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор Гренева Кристина Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 - вычислительная математика.

Отзыв ведущей организации был заслушан, обсужден и одобрен на заседании секции ученого совета Отделения радиационных составляющих климата Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (протокол № 3 от 22 апреля 2021г.).

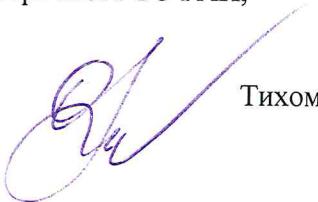
Председатель семинара,  
руководитель Отделения радиационных составляющих климата  
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук  
главный научный сотрудник  
д.ф.м.н. по специальности 01.04.05 – оптика

  
Панченко Михаил Васильевич (E-mail: pmv@iao.ru)

Отзыв составила  
ведущий научный сотрудник лаборатории атмосферной радиации  
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук  
д.ф.м.н. по специальности 01.04.05 – оптика

  
Журавлева Татьяна Борисовна (E-mail: ztb@iao.ru)

Подписи Панченко М.В. и Журавлевой Т.Б. заверяю  
Ученый секретарь ИОА СО РАН,  
к.ф.-м.н.

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

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)  
Адрес: 634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1.  
Тел: (3822) 492738; Факс: (3822) 492086  
Электронная почта : contact@iao.ru; director@iao.ru  
Официальный сайт: <http://iao.ru>

23 апреля 2021 г.