

**Отзыв официального оппонента**  
**Репиной Ирины Анатольевны**  
**на диссертационную работу Мысленкова Станислава Александровича «*Диагноз и прогноз ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы**

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Мысленкова С.А. посвящена одному из ключевых вопросов совместной динамики атмосферы и океана, а именно, созданию надежной оперативной вычислительной системы анализа и прогноза морского волнения в прибрежной зоне. В настоящее время математические модели являются самым мощным средством для решения задач диагноза ветрового волнения на глубокой воде и на мелководье. При этом успешное решение задачи зависит от качества модели и точности задания поля ветра.

В связи с интенсивным хозяйственным освоением природных ресурсов морей и особенно прибрежных районов перед исследователями стоит ряд важных задач, среди которых — задача повышения эффективности, надежности и безопасности использования шельфовой зоны. Большую актуальность приобретает прогноз изменений участков побережий, основанный на численном моделировании возможных ситуаций волновой активности, включая процессы трансформации и обрушения волн. Ветровое волнение оказывает большое влияние на условия для мореплавания, строительства гидросооружений и портовых комплексов, освоения нефтегазоносных районов шельфа.

Несмотря на современное развитие теории волн, методов математической статистики и появление нового поколения наблюдательной и вычислительной техники, а также развитие средств дистанционного зондирования, ситуация с изучением, прогнозированием и оценкой волн в прибрежной зоне остается достаточно сложной и неопределенной. До сих пор нет единого мнения о механизмах развития морского волнения и ветро-волновой передачи энергии. Поэтому тема работы Мысленкова С.А. является актуальной и практически значимой.

Работа Мысленкова С.А. посвящена моделированию морского волнения в прибрежной зоне Черного моря на основе спектральной волновой модели третьего поколения SWAN, специально разработанной для мелководных прибрежных зон. В рамках работы была создана новая система оперативного прогноза волнения для акватории Черного моря с детализацией в мелководных шельфовых зонах, проведены оценки чувствительности модели к изменению в длины разгона и ограничению воздействия ветра. Оценки качества

диагноза и прогноза волнения были получены на основе прямых измерений и сравнения со спутниковыми данными.

### **Содержание диссертационного исследования**

Работа состоит из четырех глав, введения и заключения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту.

В Главе 1 приведен обзор современных волновых моделей и принципов их использования, а также дается детальное описание модели SWAN. Рассматриваются основные работы по моделированию ветрового волнения в Черном море. Описаны существующие системы прогноза волнения.

В Главе 2 описаны используемые в работе данные и методы. В разделе 2.1 дана характеристика данных о рельефе дна Черного моря. В разделе 2.2 представлены используемые данные о скорости и направлении ветра. В разделе 2.3 дано описание данных инструментальных наблюдений за волнением. В разделе 2.4 представлены характеристики мезомасштабной модели WRF. В разделе 2.5 приведены основные параметры модели SWAN и настройки, которые используются в данной работе.

В Главе 3 представлены результаты диагностических расчетов волнения и проведена оценка качества воспроизведения волнения на глубокой и мелкой воде. Для сравнения с результатами моделирования использованы массивы прямых измерений и спутниковые данные. Представлены результаты моделирование экстремального шторма 2007 года. Приведены оценки качества моделирования при использовании характеристик ветра, восстановленного из мезомасштабной модели WRF. Представлена оперативная система прогноза ветрового волнения для Цемесской бухты, Керченского пролива и района Сочи.

В Главе 4 приведены результаты численных экспериментов по исследованию чувствительности модели к ограничению процессов накачки, диссипации энергии и разгона. Приводятся оценки вклада локального ветрового воздействия в интегральную высоту волн. Приведен анализ эволюции формы энергетических спектров при локальном отключении ветровой накачки. Исследована чувствительность модели к отключению процессов диссипации и ограничению длины разгона.

В заключение приводятся основные результаты работы и выводы.

### **Основные результаты и их новизна**

В процессе работы получены следующие результаты:

1. Новая реализация волновой модели SWAN для Черного моря на основе неструктурной сетки с высоким пространственным разрешением (20-100 м) в шельфовой мелководной зоне (Цемесская бухта, Керченский пролив, район Сочи).

2. Новая система оперативного прогноза волнения для акватории Черного моря с детализацией в шельфовых зонах, работающая в автоматическом режиме.

3. Оригинальная методика численного эксперимента для оценки чувствительности модели к вариациям параметров, характеризующих ветровую накачку, диссипацию и разгон.

4. Оценки вклада локального ветрового воздействия в интегральную высоту волн на примере Цемесской бухты.

### **Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов**

Автор диссертации принимал непосредственное участие в создании цифровой модели рельефа дна Черного моря, оригинальной неструктурной сетки и адаптации волновой модели SWAN для акватории Черного моря. Лично автором проводились численные эксперименты по расчетам полей ветровых волн в Черном море, получены оценки качества воспроизведения волнения на глубокой и мелкой воде. Автором создана технология оперативного прогноза волнения, включая специализированные алгоритмы и программы. Автор принимал участие в 10 научных экспедициях на Черном море; часть использованных инструментальных данных получена при участии автора.

Достоверность полученных в диссертации результатов исследований подтверждается их сопоставлением с экспериментальными и спутниковыми данными.

По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них 6 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК. Результаты исследований докладывались на научных семинарах, российских и международных конференциях.

### **Ценность для науки и практики результатов работы**

Для оценки вклада в общую высоту волн локального ветрового воздействия был разработан новый подход, который может быть использован для решения различных научных задач в других акваториях.

**Полученные данные о режиме ветрового волнения и его пространственно-временной изменчивости в прибрежной зоне Новороссийска, Сочи и Геленджика могут быть использованы для расчетов, связанных с нагрузкой на различные**

**сооружения, с оценкой потока волновой энергии, с динамикой разрушения берегов и др.**

Система оперативного прогноза волнения для акватории Черного моря с детализацией в шельфовых зонах внедрена в оперативную практику прогноза волнения в ФГБУ «Гидрометцентр России».

#### **Замечания по диссертационной работе в целом**

Основные замечания к работе носят скорее редакционный характер – много ошибок и небрежности оформления.

В обзор не включено описание системы прогноза морского волнения для Черного моря, разрабатываемой в Морском гидрофизическом институте (<https://www.hpc-mhi.org/modeling/swan/>), также мало ссылок на работы сотрудников этого института, посвященных, в том числе, моделированию шторма 11 ноября 2007 года. (см. работы Фомина В.В. и Михайличенко С.Ю.)

В работе для оценки качества реанализа данные о приземном ветре из реанализа сравнивались с данными сетевых метеостанций. Но реанализ усваивает прежде всего данные сетевых метеостанций – и такое сравнение не совсем корректно.

«WRF может быть использована для выполнения широкого круга задач: от изучения идеализированных циркуляционных систем (например, LES, конвекция, бароклинные волны)» - в этой фразе смешаны различные понятия: LES - (*Large Eddy Simulation*) — один из методов моделирования турбулентных течений, а конвекция и бароклинные волны собственно явления, которые воспроизводятся, в том числе, и с помощью включения в WRF вихреразрешающих блоков.

При описании базы используемой базы данных по спутниковой альтиметрии не указывается какие подходы и модели использованы при восстановлении значимой высоты волн из спутниковых данных: линейные модели (Гаусса) или учет нелинейных эффектов в поле поверхностных волн с использованием нелинейных моделей Грама-Шарлье, Хоу или др. и использование спутниковой альтиметрии в прибрежных зонах затруднено, так как формы телеметрических импульсов, принимаемых антенной альтиметра, отличаются от импульсов в открытом океане, что связано с влиянием отражения от суши. Это приводит к существенным ошибкам восстановления полей волнения и ветра, которые можно уменьшить, используя алгоритмы регионального адаптивного ретрекинга. Не указано, применялись ли при создании базы данных подобные алгоритмы.

«Реанализы ветра не воспроизводят такие явления как Новороссийская бора...» - утверждение не совсем верное. Это зависит от разрешения реанализа, и реанализы прежде

всего воспроизводят синоптические ситуации, приводящие к возникновению боры. И бора не является только местным (черноморским) названием – это греческое слово, обозначающее северный ветер (борей), которым обозначается класс кататических ветров. И пришло оно из средиземноморья. Существует адриатическая бора (наиболее исследованная), новоземельская и пр.

«Использовался негидростатический вариант модели WRF-ARW...» Модель WRF изначально является негидростатической, в отличие от глобальных климатических моделей, использующих гидростатическое приближение.

В данной работе модель WRF использовалась для задания метеорологических полей, то есть для динамического даунскейлинга того же уже ранее используемого реанализа. Но можно было использовать уже существующие совместные модели, например, версию WRF с ветро-волновым блоком (WRF-WAVEWATCH III, WRF-SWAN) или совместную модель ADCIRC+SWAN.

В диссертации нет указания на возможность использования совместных ветро-волновых-океанских моделей, в частности, о перспективах каплинга модели SWAM с моделью ROMS или др., что дает возможность учитывать, например, взаимодействие волн и течений.

Главной задачей автора является создание системы прогноза волнения в прибрежной зоне. Но также интерес может представлять и исследование климатологии морского волнения для указанных регионов. Но это больше пожелание для дальнейшей работы.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

### **Заключительная оценка**

Диссертационная работа Мысленкова Станислава Александровича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. В работе приведены интересные теоретические исследования особенностей взаимодействия ветра и морского волнения, все результаты обоснованы и сравниваются с данными наблюдений. Работа имеет огромное практическое значение, так как вносит значительный вклад в развитие методов прогноза опасных гидрометеорологических явлений. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты имеют новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными.

Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 14 печатных трудах, 6 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы, а ее автор Мысленков Станислава Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент

Заведующая Лабораторией взаимодействия атмосферы и океана  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),

Доктор физико-математических наук

Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru

119017, Москва, Пыжевский пер. 3



Репина Ирина Анатольевна

25.09.2017

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)



Краснокутская Л.Д.