

Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
Зеленько Александра Андреевича «Оперативная океанология: моделирование, мониторинг и прогнозирование гидрофизических полей Мирового океана», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

Одним из центральных направлений научных исследований современной океанологии является оперативная океанография/океанология. Оперативная океанография включает сложнейшие междисциплинарные задачи, решение которых требует развития исследований по ряду направлений физики гидросферы земли, прикладной и вычислительной математики, океанологии и информационных технологий. Этому направлению исследований посвящена диссертационная работа Александра Андреевича Зеленько.

Как в области океанологии, так и в ее подобласти - оперативной океанографии, можно условно выделить три типа задач, связанных с изучением, моделированием и мониторингом динамики Мирового океана. Во-первых, – создание физически полных математических моделей динамики океана, эффективно реализуемых на многопроцессорных вычислительных платформах; во-вторых, - методы анализа и обработки данных натурных наблюдений: спутниковых, контактных, дистанционных и т.д.; в-третьих, - создание информационно-вычислительных систем (ИВС), продуктом которых являются синтезированные информационные массивы, описывающие состояние и изменчивость гидрофизических полей течений, температуры, солености Мирового океана.

В диссертационной работе А.А. Зеленько рассматриваются задачи третьего типа, составляющие ядро и отражающие прикладное значение оперативной океанографии. Основную цель работы автор определяет, как «исследование и разработка методов мониторинга крупномасштабной изменчивости общей циркуляции океана, а также создание оперативной информационно-вычислительной системы прогноза параметров ветрового волнения в океанах и морях России». Актуальность тематики и цели диссертационной работы не вызывают сомнений. Более того, как с точки зрения теории, так и практического приложения работа А.А. Зеленько лежит в самом фокусе современных научных исследований в широком смысле, а не только в области

физической океанологии. Данные исследования можно представить, пользуясь терминологией автора, в координатах триады «наблюдения-модели-продукция». Или - «физическое явление - математическая модель - ИВС». По этим трем измерениям я и буду оценивать диссертацию.

1. Физическое явление - физические процессы, описывающие трехмерную крупномасштабную циркуляцию Мирового океана и ветровые волны на поверхности.

В круг физических явлений, изучаемых в диссертации, входят: изменчивость крупномасштабной циркуляции Мирового океана под влиянием атмосферного воздействия на временных масштабах порядка десятков лет; структура верхнего квазигомогенного слоя в океане; процесс глубокой конвекции; лагранжьевый анализ океанских течений; особенности динамики ветровых волн в Мировом океане, а также в Черном, Каспийском и Балтийском морях.

Изложенные в работе результаты позволяют судить о высокой квалификации автора в области физики океана, моделирования, понимания и прогноза крупномасштабных процессов, формирующих трехмерную структуру гидрофизических полей. Особо следует отметить его оригинальное исследование лагранжьевой структуры поля течений и распространения водных масс в Мировом океане. Рассмотрение ансамбля траекторий водных масс позволило более детально представить картину существенно трехмерной циркуляции океана, изменчивость структуры его циркуляционных систем.

2. Математическая модель - численные модели и вычислительные алгоритмы общей циркуляции океана и прогноза динамики ветровых волн.

В диссертации рассматриваются две модели общей циркуляции океана (МОЦО): (1) разработанная автором модель Мирового океана ГМЦ, (2) используемая им МОЦО НЕМО; (3) разработанная автором модель расчета лагранжьевых течений по заданному эйлерову полю скорости; (4) разработанная в соавторстве с Ю.Д. Реснянским модель квазигомогенного слоя океана; (5) используемая в расчетах модель ветровых волн.

Все вопросы, касающиеся разработки и использования современных численных моделей общей циркуляции океана и динамики ветровых волн на его поверхности адекватно отражают классический традиционный взгляд на методы и алгоритмы

физической океанологии, а также на основной современный тренд, связанный с новыми подходами и новыми задачами оперативной океанографии. Здесь я отмечу два основных результата. Первый – это создание автором модели крупномасштабной циркуляции Мирового океана. Второй – разработку модели лагранжевых течений. Модель Мирового океана – традиционна, она создана в рамках классических традиций океанологии и вычислительной математики. Новых находок автора здесь, по-видимому, нет, однако процесс разработки модели сформировал автора как высококлассного специалиста в области численного моделирования процессов геофизической гидродинамики.

3. ИВС - информационно-вычислительные системы оперативной океанографии.

По данному измерению автором получены главные практические результаты диссертации. Во-первых, это разработка алгоритмов и создание оригинальной ИВС мониторинга гидрофизических полей Мирового океана – первой в России оперативной системы усвоения данных для Мирового океана; во-вторых, на основе модели ветровых волн WaveWatch III создание системы прогноза ветрового волнения в Мировом океане и трех морях России (Черное, Каспийское, Балтийское).

Выделю главный результат диссертационной работы А.А. Зеленько – создание ИВС Мировой океан. За его достижение А.А. Зеленько достоин присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Структура диссертации.

Работа состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка обозначений и сокращений, списка цитируемой литературы (318 наименований) и включает 251 страницу. Во введении обосновывается актуальность проблемы оперативной океанографии, связанных с ней задач усвоения данных океанографических наблюдений в моделях геофизической гидродинамики и разработки информационно-вычислительных систем. Описываются отличительные особенности новой дисциплины – оперативной океанологии /океанографии. Формулируется основная цель и задачи диссертационной работы; используемые методы исследования, основные положения, выносимые на защиту и т.д.

Глава 1. Оперативная наблюдательная система океана. Отмечается значительное развитие наблюдательных систем в океане - основного фактора

возникновения оперативной океанографии – новой научной дисциплины аналогичной оперативной метеорологии. Описываются характеристики океанских процессов, состав и специфика измерительных систем. Измерительные системы включают контактные наблюдения, попутные судовые наблюдения, дрейтеры, волновые буи, спутниковые измерения (уровня моря, температуры поверхности океана), профильные измерения, попутные ХВТ-зондирования, заякоренные буи, профилирующие буи Арго, измерения дрейфа, кромки и сплоченности морского льда, альтиметрические наблюдения морского волнения. Глава информативна и представляет значительный интерес для специалистов в области океанологии и смежных дисциплин, студентов и аспирантов.

Глава 2. Модели общей циркуляции океана. Описывается традиционная система уравнений общей циркуляции океана, принятая в настоящее время для моделирования гидрофизических процессов в Мировом океане. Приводятся характеристики некоторых существующих моделей циркуляции. Довольно подробно описывается численная модель циркуляции Мирового океана ГМЦ, созданная автором и его коллегами. Выделим некоторые свойства модели. Это – приближение твердой крышки (на поверхности моря); конечно-разностные аппроксимации уравнений на регулярных сферических сетках; z-система координат; встроенная оригинальная интегральная модель верхнего квазиоднородного слоя, разработанная в ГМЦ в соавторстве с Ю.Д. Реснянским. В последнем параграфе описывается общеевропейская модель НЕМО, разработанная Г. Мадеком (Университет Париж 6) с соавторами.

Глава 3. Моделирование крупномасштабной изменчивости океана. В главе описываются постановка и результаты моделирования циркуляции Мирового океана, полученные с помощью расчетов МОЦО ГМЦ. Это исследование процессов глубокой конвекции (регионализация, сезонная и межгодовая изменчивость); расчеты и анализ циркуляции океана в лагранжевом представлении (индивидуальные и ансамблевые траектории, рассеяние маркеров).

Глава 4. Система усвоения океанографических данных. В главе излагается главный результат диссертации. Описывается метод усвоения данных наблюдений, основанный на алгоритме трёхмерного вариационного анализа. Алгоритм разработан

в ГМЦ Цырульниковым М.Д. с соавторами [Tsyrunnikov, 2005; Tsyrunnikov et al., 2006; Цырульников и др., 2010]. Излагаются и анализируются полученные с помощью разработанной СУОД ретроспективные расчеты гидрофизических полей Мирового океана в период с 2005 по 2018 гг. В заключение описывается реализация оперативной версии СУОД с новым блоком МОЦО НЕМО.

Глава 5. Прогнозирование ветрового волнения в океане и морях России. В главе описывается комплексная система оперативного прогноза ветрового волнения, созданная автором на базе модели WaveWatch III. Излагается формулировка математической задачи динамики ветровых волн, структура оперативной системы и результаты прогноза ветровых волн в акваториях Мирового океана и трех морей России: Черного, Каспийского и Балтийского.

Замечания.

1. Имеются неточности при постановке задачи общей циркуляции океана.
 - с. 58 – в нелинейной постановке в граничные условия на верхней свободной поверхности следует добавить условие равенства давления – атмосферному;
 - с. 59 – при условии (2.14) скорость гравитационных возмущений будет $\sqrt{g(H + \eta)}$;
 - с. 95 – выделение баротропной составляющей лучше интерпретировать в рамках эволюционной формулировки, поскольку разделение по модам спектральной задачи по вертикали невозможно при переменном рельефе дна;
 - с. 70 – в граничном условии на дне для температуры и солености должна фигурировать не производная по z , а производная по нормали к поверхности дна;
 - с. 73 – вообще говоря, задача (2.33)-(2.34) не эллиптическая, поскольку для функции тока имеется производная по времени и ставится соответствующее начальное условие. Она близка (при малом трении) к начально-краевой задаче для уравнения типа Соболева.

2. При описании результатов расчета и анализа процессов глубокой конвекции следовало бы более отчетливо отметить, что модель лишь параметризует процесс, для его физически адекватного описания следует использовать негидростатическую модель. В этой связи хорошо было бы оценить возможную разницу описания глубокой конвекции между гидростатической и негидростатической моделями и ее

влияние на структуру общей циркуляции (например, на основе литературных источников).

3. С. 139. Приведенные в работе глобальные системы усвоения данных, к сожалению, ограничены 2010 г. и не включают новейшие физически полные системы, на сетках высокого пространственного разрешения менее 1/10 градуса.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую высокую оценку представленной диссертации. Автор выполнил оригинальные исследования сложных физических процессов, демонстрирующие его высокую научную квалификацию. Диссертация представляет собой актуальную законченную работу, ее основные результаты опубликованы, автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа "Оперативная океанология: моделирование, мониторинг и прогнозирование гидрофизических полей Мирового океана" соответствует требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", а её автор Зеленько Александр Андреевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

Ведущий научный сотрудник ИВМ РАН,
д.ф.-м.н., проф.
16.11.2018

В.Б. Залесный

Подпись В.Б. Залесного заверяю
Ученый секретарь ИВМ РАН,
д.ф.-м.н., проф.
16.11.2018



В.П. Шутяев