

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кубрякова Александра Ивановича «Моделирование циркуляции и процессов массопереноса в Черном море в приложении к задачам оперативной океанографии», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 04.00.22 – геофизика

Диссертационная работа Кубрякова А.И. посвящена проблеме математического моделирования гидродинамики Черного моря, более точно - задачам оперативной океанографии.

Целью работы является разработка и создание на основе математических моделей общей циркуляции океана информационно-вычислительных технологий и систем, направленных на решение задач оперативной океанографии для Черного моря и его прибрежных акваторий.

В диссертации поставлен и решен ряд конкретных задач, наиболее крупными среди которых являются следующие.

1. Создание оперативной системы морских прибрежных прогнозов Черного моря на основе численной модели циркуляции, разработанной в МГИ.
2. Реконструкция климатического сезонного хода гидрофизических полей Черного моря и ретроспективный анализ структуры и изменчивости гидрофизических полей в период 1971–1993 гг.
3. Создание оперативной системы прогноза распространения нефтяных разливов в Черном море BlackSeaTrackWeb3 на основе балтийской системы SeaTrackWeb и оперативной модели циркуляции МГИ.

Бурный научно-технологический прогресс последних двадцати лет произвел кардинальные изменения в методах исследования океана. Дистанционные спутниковые измерения, наблюдения со свободно - дрейфующих платформ и попутных судов позволяют осуществлять мониторинг текущего состояния морей и океанов. Современные модели циркуляции морей и океанов способны адекватно воспроизводить реальные процессы. Началось создание современных систем гидродинамических прогнозов Мирового океана, его отдельных акваторий и морей. Развитие оперативных систем наблюдений и морских прогнозов является предметом оперативной океанографии - новой ветви океанологической науки. В данном направлении выполнена диссертационная работа Кубрякова А.И., объектом исследования которой является Черное море и его прибрежные акватории.

Основной инструмент и метод исследований в данной работе - численное моделирование на основе конечно-разностных алгоритмов решения нелинейных дифференциальных уравнений геофизической гидродинамики- системы «примитивных» уравнений, описывающей общую циркуляцию океана.

Основные направления исследований представленной диссертации - следующие. 1) Адаптация современных моделей общей циркуляции океана, использующих различные типы вертикальных координат, к физико-географическим условиям полужамкнутых прибрежных и замкнутых морских бассейнов. 2) Разработка вычислительных систем прогноза морской

гидродинамики и распространения примесей. 3) Проведение численных экспериментов и сравнительный анализ их результатов по сравнению с данными наблюдений.

Структура диссертации. Диссертационная работа Кубрякова А.И. состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы из 478 наименований. Она содержит 156 рисунков и 7 таблиц.

Краткое содержание работы. Во вступлении излагаются: актуальность темы диссертации, ее связь с научными программами, планами и темами МГИ НАН Украины и международными проектами, цель и задачи работы, предмет и методы исследования, научная новизна полученных результатов, научная и практическая значимость, личный вклад соискателя и апробация полученных результатов.

В первом разделе описываются основные уравнения морской гидродинамики, на которых основана общая система мониторинга, а также модели переноса и диффузии загрязняющих примесей. Отмечается, что сложность и разнообразие процессов в морях и океанах вызывают необходимость разработки различных индивидуальных моделей, одной из главных особенностей которых является выбор вертикальной координаты. Формулируются уравнения оперативной модели циркуляции МГИ с граничными и начальными условиями, описываются физико-географические особенности Черного моря. Формулируются задачи переноса загрязняющих примесей и излагаются результаты расчетов сезонного хода эмульсионно-растворенной фракции нефтяных углеводородов в аэробной зоне Черного моря.

В подразделе 1.5 представлен один из главных результатов диссертации. Он состоит в том, что на основе модели циркуляции МГИ и разработанной в Шведском институте метеорологии и гидрологии системы SeaTrackWeb, описывающей распространение нефтяных разливов в Балтийском море, строится и успешно испытывается в реальных ситуациях оперативная система прогноза распространения нефтяных разливов в Черном море BlackSeaTrackWeb (BSTW).

Во втором разделе формулируются и решаются задачи, связанные с исследованием физических особенностей гидрофизических процессов, протекающих в Черном море. Поставленные задачи решаются с помощью адаптированной к физико-географическим условиям Черного моря модели в σ -координатах, в основу которой положена известная американская модель ROM. Главным физическим результатом второго раздела является реконструкция климатического сезонного хода гидрофизических полей Черного моря и ретроспективный анализ особенностей гидрофизических полей Черного моря за период 1971–1993 гг. Представляются интересные результаты эксперимента по оценке влияния оптических свойств воды на динамику и стратификацию вод в верхнем слое Черного моря.

В третьем разделе диссертации рассмотрен вопрос о моделировании циркуляции в прибрежных зонах моря с открытой (жидкой) границей. Особое внимание уделено постановке краевых условий на жидкой границе, формулировке и расчету моделей в прибрежных акваториях Черного моря. Анализируются расчеты циркуляций в прибрежных районах: на северо-западном шельфе, у южного берега Крыма, в Балаклавской бухте.

Четвертый раздел посвящен созданию оперативной системы морских прибрежных прогнозов Черного моря. Система разработана в рамках европейских проектов EU FP5 «ARENA», EU FP6 «ЕСООР» и EU FP7 «MyOcean». Последняя версия системы включает оперативную «глобальную» модель Черного моря МГИ, описанную в 1 разделе, и пять моделей прибрежной циркуляции, четыре из которых представляют собой версии адаптированной автором сигма-координатной модели, описанной в разделе 2. Региональные сигма-координатные модели установлены в Институте океанологии в г. Варна, Болгария, в Национальном институте морских исследований и развития им. Г.Антипа в Констанце, Румыния, в Морском гидрофизическом институте в г. Севастополь, Россия и в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова» в Москве. Пятая модель, для прибрежной акватории Грузии, основана на модели Кордзадзе, использующей z-координату и функционирует в Институте геофизики в Тбилиси, Грузия.

Описана структура, алгоритмы расчета и результаты тестовых испытаний для пилотной версии Черноморской оперативной системы. Приведены примеры расчетов и оценено качество продуктов разработанной системы. Описано ее возможное дальнейшее развитие.

Это - центральный, впечатляющий результат диссертации, представляющий собой решение крупной научной задачи, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Замечания.

1. В списке используемых источников – малое число работ, опубликованных в последние два-три года. По результатам совместного российско-украинского проекта «Черное море как имитационная модель океана», 2011-2014 гг., вышло два номера журнала: «Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling», v.27, № 1, 2012 и «Известия РАН, Физика атмосферы и океана», т. 49, № 6, 2013, статьи из которых непосредственно связаны с темой диссертации. Изложенные в них результаты, на мой взгляд, представляют несомненный научный интерес, их нужно знать и цитировать.

2. С. 167. Высказывание автора о том, что «... чем ближе модельная траектория ... к реальной, тем меньший объем данных можно ассимилировать ...» - требуется пояснить. Нужно учесть точность восстановления траектории, восстановление более высоких моментов, чем «климат» и т.д.

3. С. 239. При описании подходов, связанных с построением региональных моделей, наличием жидких границ и расчетов на вложенных сетках, следовало отметить технологии «сквозного счета» на неравномерных и неструктурированных сетках, аппроксимациях типа «восьмеричное» дерево, сетках со сгущением в окрестности границы, а также с использованием методов разделения области и вариационных алгоритмов.

4. Имеются некоторые неточности и опечатки: с. 35 – последние слагаемые в левых частях уравнений (1.1), (1.2); с. 36 – условие на поверхности для вертикальной скорости лучше перенести в число уравнений (1.1)-(1.7); при формулировке граничных условий по вертикали в некоторых случаях следовало отметить, что дно аппроксимируется кусочно-постоянной функцией; в автореферате перепутано местоположение некоторых страниц.

Заключение. Оценивая содержание диссертации А.И. Кубрякова, следует отметить высокую актуальность, теоретическую важность и новизну представленной работы. Выделенные выше три основных результата позволяют трактовать ее как решение крупной научно-исследовательской задачи, имеющей важное народнохозяйственное значение. Работа демонстрирует высокую научную квалификацию автора, его способность ставить и решать актуальные научные задачи. Научные положения, выводы и рекомендации достаточно полно отражены в опубликованных автором работах и обсуждены на научно-практических и международных конференциях. Несмотря на отмеченную погрешность, автореферат верно отражает основное содержание диссертационной работы.

По своему содержанию, полученным результатам и выводам диссертация полностью отвечает специальности 04.00.22 – геофизика и ее автор, Кубряков Александр Иванович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Ведущий научный сотрудник

Института вычислительной математики РАН,

доктор физико-математических наук, профессор

12.12.2014

В.Б. Залесный

Подпись В.Б. Залесного заверяю

Ученый секретарь ИВМ РАН,

д.ф.-м.н., профессор

12.12.2014



В.П. Шутяев