

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу А. И. Кубрякова

*«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 А. И. Кубрякова посвящена применению методов математического моделирования для изучения гидрофизических процессов в Черном море, а также для решения ряда прикладных задач, связанных с анализом и прогнозом переноса различных типов загрязняющих веществ. Рассматриваемые в работе проблемы и полученные решения представляют особенный интерес в связи с развитием оперативной океанографии – относительно нового направления физической океанографии. Важнейшее место в этом направлении занимает математическое моделирование, поскольку оно, во-первых, позволяет решить основную задачу оперативной океанографии, а именно, выдать диагноз и прогноз состояния моря, а во-вторых, помогает установить характер и механизмы действия различных гидрофизических процессов.

Актуальность данного исследования не вызывает никаких сомнений, поскольку в настоящее время возрастает вероятность крупных антропогенных катастроф, связанных с интенсификацией промышленной эксплуатации морских ресурсов, увеличивается эксплуатация морских акваторий для добычи и транспортировки нефти и газа, что требует принятия соответствующих управленческих решений, основанных на прочном научном фундаменте. Кроме того, необходима адекватная оценка состояния морской среды и степени антропогенной нагрузки, а также ее способности выстоять под этой нагрузкой.

Диссертационная работа, общим объемом 399 стр., состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников из 478 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы. Отмечается роль практического применения моделей циркуляции при разработке систем мониторинга океана. Дана общая характеристика работы, включающая в себя ее связь с крупными научными программами, разъясняется цель, задачи и методы исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость, личный вклад автора. Перечисляются национальные и международные научные программы, в рамках которых выполнялись исследования. Указывается, что апробация результатов исследования проводилась на 28 международных

научных конференциях. Все пункты введения раскрыты с достаточной степенью полноты в соответствии с требованиями ВАК.

Первый раздел посвящен использованию оперативной модели циркуляции МГИ, служащей гидродинамическим блоком в системе диагноза и прогноза Черноморского Центра мониторинга Черного моря, для решения задач о переносе и распространении загрязняющих веществ в Черном море. Предварительно дается описание физико-географических особенностей объекта исследования - Черного моря, а также используемой модели циркуляции вод. Для решения поставленных задач расчета переноса и распространения загрязняющих веществ диссертант добавляет в модель блоки переноса и диффузии примесей.

Вначале моделируется сезонный ход фонового (в отсутствие аварийных разливов и сбросов) распределения нефтяных углеводородов в аэробной зоне Черного моря. При этом рассматриваются три фракции нефти (тяжелая, средняя и легкая) и учитываются химико-биологические процессы окисления нефтеуглеводородов. Результаты проведенных расчетов позволили выявить пространственно-временное распределение экстремальных величин концентрации нефтеуглеводородов в море и описать роль отдельных фракций в сезонном ходе среднего вертикального распределения нефтеуглеводородов. Сопоставление с опубликованными данными показало, что используемый комплекс модели циркуляции и модели переноса нефтепродуктов качественно правильно воспроизводит вертикальное распределение нефтеуглеводородов и его сезонные изменения в водах Черного моря.

Далее приводится описание созданной на основе балтийской системы нефтяных прогнозов SeaTrackWeb и оперативной модели циркуляции МГИ оперативной системы прогноза распространения аварийных разливов нефти в Черном море BlackSeaTrackWeb (BSTW). Описываются основные компоненты системы BSTW. Приводятся примеры применения разработанной системы для реальных аварийных ситуаций.

Следует отметить, что система BSTW представляет собой весьма полезный инструмент для осуществления мероприятий по повышению экологической безопасности Черного моря и по спасению на водах. В дополнение к прогнозу дрейфа нефти, система предоставляет возможность проводить обратный во времени расчет - так называемый «back tracking».

В последнем подразделе на основе синтеза модели циркуляции МГИ и модели переноса радионуклидов в водной среде решается задача о распространения пятна загрязнения с высоким содержанием цезия-137 в поверхностном слое Черного моря, наблюдавшегося в первый год после аварии на ЧАЭС. По результатам расчетов оценивается первоначальный уровень концентрации радионуклида.

Во втором разделе для исследования динамики гидрофизических процессов привлекается адаптированная к физико-географическим условиям Черного моря модель в сигма-координатах, основанная на модели Принстонского университета ROM. Описываются особенности применения сигма-координат, отличительные черты модели ROM, приводятся уравнения модели и их трансформация при преобразовании из декартовой системы координат в сигма-координатную, схема интегрирования по времени, дискретизация по пространству, расчетная область и параметры адаптированной сигма-координатной модели.

Далее на основе разработанной версии сигма-координатной модели проводится реконструкция климатического сезонного хода гидрофизических полей Черного моря. Предварительно оценивается способность модели при длительных расчетах выходить на квазипериодический режим с качественно правильным воспроизведением структуры гидрофизических полей при периодическом внешнем воздействии. Климатический сезонный ход гидрофизических полей восстанавливается путем ассимиляции в модели климатических данных о температуре и солёности.

Полученные данные о климате моря используются далее при проведении ретроспективного анализа гидрофизических полей - одного из наиболее важных продуктов океанографии Черного моря. Расчет по модели с ассимиляцией специальным образом подготовленных данных измерений проведен для периода с 1971 по 1993 г. Следует отметить, что такого рода «реанализ» для Черного моря был выполнен впервые. Полученные результаты позволили автору проанализировать межгодовую изменчивость термохалинных и динамических характеристик, а также установить тенденции их изменчивости. Наиболее подробно по данным реанализа рассмотрены процессы формирования холодного промежуточного слоя (ХПС) в периоды чередования «теплых» и «холодных» зим.

Далее проводится сопоставление прогностического расчета с расчетом с ассимиляцией данных наблюдений при одних и тех же возбуждающих силах, которое показало, что созданная модель позволяет проводить гидродинамическую интерполяцию данных наблюдений с целью восстановления истинного состояния Черного моря на масштабах десятилетий.

В конце второго раздела с помощью сигма-координатной модели и био-оптической модели, описывающей проникновение коротковолновой радиации в толщу моря, исследуется влияние оптических свойств воды на динамику и стратификацию верхних слоев Черного моря. Получено, что введение в модель циркуляции реальных оптических свойств воды приводит к достаточно значимым отличиям в пространственном и временном распределении целого ряда гидрофизических параметров, на основании чего

делается вывод о том, что для более точного воспроизведения изменчивости термохалинной структуры и циркуляции вод Черного моря необходим учет и корректное описание в модели циркуляции изменчивости оптических свойств вод.

Третий раздел посвящен моделированию циркуляции и процессов переноса в прибрежных морских районах. Расчеты циркуляции в прибрежных акваториях требуют постановки граничных условий на жидкой границе, отделяющей прибрежную область от открытого моря. В начале раздела проблема постановки условий на жидкой границе рассматривается с общей точки зрения. Приводится корректная формулировка задачи, описываются различные подходы, применяемые для решения этой проблемы. Особое внимание уделяется технологии вложенных сеток. Приводятся типы краевых условий на жидкой границе, используемых в работе.

Далее решается модельная задача о втекании пресных речных вод на северо-западный шельф Черного моря и их взаимодействие с морскими водами. Для этого привлекается модель циркуляции Михайловой - Шапиро. Описываются особенности гидрологической структуры и циркуляции вод на северо-западном шельфе, обусловленные опресняющим эффектом речного стока.

В следующих двух подразделах проводятся диагностические расчеты циркуляции и распространения загрязняющих веществ с использованием адаптированной к рассматриваемым акваториям сигма-координатной модели. Сначала решается задача об определении возможных путей распространения техногенного загрязнения у Южного берега Крыма в результате аварии в 1999 г. судна в Ласпинской бухте в первые несколько суток после аварии при различных ветровых условиях.

Далее моделируется летняя циркуляция в Балаклавской бухте и распространение загрязняющих веществ, поступающих в бухту из трех береговых источников. Для проведения расчетов привлекаются данные гидрологических съемок бухты и данные измерений с автономных буйковых станций. По результатам расчетов детально описана трехмерная картина течений в бухте и особенности распространения загрязнений от каждого берегового источника.

Четвертый раздел, наряду со вторым разделом, является наиболее весомым в диссертации. Он посвящен разработке и реализации Черноморской оперативной системы морских прибрежных прогнозов. В основе системы лежит сигма-координатная модель циркуляции, функционирующая на основе технологии вложенных сеток. Проводится описание архитектуры и технологии функционирования созданной системы морских прибрежных прогнозов, алгоритм прогностических расчетов, алгоритм задания граничных условий на жидких границах областей, результаты тестовых расчетов, примеры валидации системы с помощью данных контактных и дистанционных измерений. Следует отметить,

что компоненты этой системы установлены в океанографических учреждениях причерноморских стран. Результатом функционирования Черноморской оперативной системы морских прибрежных прогнозов является однодневный диагноз и трехдневный прогноз трехмерных полей температуры, солености и скорости течения в соответствующем прибрежном районе моря. Кроме того, в локальные модели циркуляции инкорпорирован блок расчета переноса пассивной примеси. Этот блок активирован в модели для акватории вблизи Южного берега Крыма.

В последнем подразделе описывается система тренингов по обучению стажеров-исследователей практическим навыкам использования моделей циркуляции для решения задач диагноза и прогноза состояния вод, как во всем море, так и с высоким разрешением в отдельных её акваториях. Эта система разработана на основе сигма-координатной крупномасштабной модели циркуляции Черного моря и локальной прибрежной модели высокого разрешения с использованием технологии вложенных сеток. Диссертантом разработан алгоритм построения модели циркуляции для произвольной прибрежной области. Система апробирована при проведении международных тренингов для молодых специалистов-океанографов.

Считаю необходимым отметить большой объем выполненных работ, разносторонность и широту проведенных исследований. Представленная работа является хорошим примером применения методов математического моделирования, с выбором необходимых моделей и параметризаций, наиболее приемлемых для решения конкретных задач. Одновременно с этим, диссертант продемонстрировал хорошие знания гидрофизики и математических методов и успешно применил их для решения широкого круга задач, от оперативного прогноза распространения загрязнений до получения климатических полей. Результаты проведенных исследований внедрены в действующие оперативные системы диагноза и прогноза состояния морской среды и распространения загрязнений в море. Не вызывает никаких сомнений высокий уровень и достоверность полученных результатов.

При чтении автореферата и диссертации возникло несколько вопросов и замечаний, которые состоят в следующем:

1. Практически во всех «прикладных» разделах работы отсутствует сопоставление модельных результатов с натурными измерениями. Сопоставление производится, в основном, с поверхностной температурой моря, которое не совсем корректно, так как оперативная модель сама усваивает температуру поверхности моря по спутниковым данным.

2. Из текста работы (см. подраздел 3.3) не совсем понятно, имело ли место реальное загрязнение в Севастопольских бухтах и если да, то как оно распространялось по данным натурных наблюдений?
3. Сомнительными представляется значение солёности 18.2 (рис 17) в устье Днепро - Бугского лимана. Вероятно, оно появилось из граничных условий «большой» модели?
4. Имеется ряд текстовых и оформительских погрешностей. Например, на рис. 10 автореферата отсутствуют индексы (а, б, в), а на рис. 17 в подписи не указана дата, для которой выполнялся расчёт.

Отмеченные выше и некоторые другие недостатки не изменяют общую положительную оценку работы. В целом, диссертационная работа А.И. Кубрякова представляет собой актуальное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Автор является известным специалистом в области численного моделирования гидродинамики Черного моря, давно достигшим докторского уровня.

Полученные результаты и выводы в полной мере соответствуют поставленной цели и задачам исследования. Результаты работы имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. Они прошли всестороннюю апробацию на конференциях различного уровня и достаточно полно отражены в публикациях диссертанта.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Тема исследования соответствует профилю Специализированного ученого совета.

Диссертационная работа написана **хорошим языком**, все изложено с использованием принятой терминологии.

Диссертация А.И. Кубрякова является **завершенным научным исследованием**, в котором **получен ряд новых результатов** в области оперативной океанографии Черного моря, имеющих важное фундаментальное и прикладное значение. Сформулированные автором основные результаты работы являются научно обоснованными и способствуют более глубокому и детальному пониманию происходящих в Черном море процессов.

Полученные результаты уже **нашли применение** при выполнении оперативных прогнозов состояния морской среды, а также при обеспечении оперативного контроля экологической безопасности морских акваторий и обоснования претензий к субъектам хозяйственной деятельности, по вине которых возникли те, или иные, техногенные катастрофы.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы для решения задач морской навигации и военной гидрографии, обслуживания морских портов, обеспечения безопасности морских хозяйственных операций, а также при разработке программ экологической безопасности Черного моря.

Считаю, что диссертационная работа А.И.Кубрякова полностью отвечает требованиям ВАК Минобрнауки Российской Федерации и ВАК Украины, предъявляемым к докторским диссертациям по физико-математическим наукам, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 04.00.22 – «геофизика».

Заведующий Лабораторией экспериментальной физики океана
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук,
доктор физико-математических наук
Зацепин Андрей Георгиевич
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36
тел +74991246392, e-мейл: zatsepin@ocean.ru




Умбелова ЕВ
10.12.14

