

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Шульги Татьяны Яковлевны на тему: «Моделирование динамики вод и переноса субстанции в Азовском море», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.6.17. – «Океанология»

Актуальность диссертационной работы Шульги Т.Я. обусловлена одной из основных задач региональной океанологии – исследование изменений гидрометеорологического режима внутренних морей под влиянием климатических и антропогенных факторов. Эта задача особенно актуальна для мелководного Азовского моря с развитой морской транспортной инфраструктурой и развитой промышленностью и плотностью населения на его побережье. На антропогенное влияние на гидрологический режим моря накладываются региональные климатические изменения, которые могут существенно негативно влиять на экономическую деятельность и экологию.

Практическая значимость данной работы определяется востребованностью краткосрочных и долгосрочных прогнозов гидрометеорологического состояния моря и последствий опасных природных явлений, вызывающих многочисленные человеческие жертвы и приносящих значительный экономический ущерб. Численная модель динамики Азовского моря может стать основой системы оперативного гидрометеорологического и экологического мониторинга совместно с данными судовых экспедиционных и береговых наблюдений и данными дистанционного зондирования Земли из космоса.

Цель представленной диссертационной работы Шульги Т.Я. – на основе результатов теоретических и численных исследований анализ влияния климатических и антропогенных факторов и опасных гидрометеорологических явлений на состояние Азовского моря, позволяющий минимизировать возможный экономический и экологический ущерб.

На защиту выносятся шесть положений:

1) основной причиной возникновения преобладающих сгонно-нагонных колебаний в Азовском море является атмосферное воздействие, характер которого обуславливает величину и положение экстремальных отклонений уровня моря на его побережье. Большая изменчивость течений является следствием неустойчивого ветрового режима, мелководности моря и его небольшой площади;

2) дополнительным фактором, приводящим к резким изменениям направления и скорости течений в открытой части Азовского моря и максимальным отклонениям уровня на его побережье, является проявление сейшеобразных колебаний, возникающих

после прекращения устойчивого ветра, а также при перемещении барического фронта с резонансными параметрами;

3) формирование экстремальных нагонов на входе в Керченский пролив и увеличение скорости течений в проливе обуславливает необходимость задания условий свободного прохождения волн на жидкой границе при моделировании ситуаций, связанных с движением циклонов/антициклонов над Азовским морем;

4) рассчитываемая с использованием предлагаемого подхода протяженность границ проникновения/отхода морской воды от береговой линии, обусловленных сгонно-нагонными процессами в Азовском море, явилась основой создания справочной информации в виде массивов данных и прогностических карт затопления/осушения побережья Азовского моря в зависимости от стационарных/нестационарных метеорологических условий;

5) интеграция результатов математического моделирования и данных дистанционного зондирования, реализованная в предложенном методе усвоения спутниковой информации в трехмерную гидродинамическую модель, позволяет заполнить пропуски спутниковых данных и обуславливает долгосрочные прогнозы наибольшего и общего содержания оптически активной взвеси в Азовском море;

6) систематизация накопленной информации о температуре, солености, основных биооптических показателях морской воды методами дистанционного зондирования и *in situ* наблюдений выполнена в рамках созданной базы данных «Термохалинный электронный Атлас Азовского моря». Дополнением базы данных наблюдений являются смоделированные данные о солености, полученные с использованием предложенных сезонных регрессионных моделей.

Научная новизна. В работе предложены новые методы позволяющие учитывать при численном прогнозировании возможные метеорологические сценарии, учитывать различные условия водообмена через Керченский пролив, выполнять прогнозы затопления/осушения морского побережья, выполнять оперативное усвоение данных дистанционного зондирования на регулярную сетку исследуемого бассейна. Впервые численно исследовано возникновение волн с максимальными амплитудами, генерируемых движением барической депрессии с резонансными параметрами. Выполнен спектральный анализ и получены амплитудно-фазовые характеристики свободных колебаний на частотах энергонесущих максимумов для смоделированных отклонений уровня моря. В диссертационной работе предложены новые методы, позволяющие прогнозировать экологические и климатические риски в бассейне Азовского моря, основанные на анализе данных, объединяющих результаты моделирования, данные дистанционного

зондирования и наблюдения *in situ*. Достоинством работы является разработанные автором регрессионные модели, связывающие региональные биооптические показатели с наблюдаемой климатической солёностью, результаты использования которых существенно повышают информативность о термохалинной структуре Азовского моря.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, 7 разделов, заключения и списка используемой литературы, состоящего из 257 наименований, в том числе 79 на иностранном языке. Общий объем работы составляет 298 страниц, включая 71 рисунок и 42 таблиц.

Во **введении** дано обоснование актуальности исследования, сформулированы цели и задачи исследования, освещены его научная новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту, представлена информация об апробации работы, структуре и объёме диссертации.

Замечания к введению:

1. *Формулировки положений, выносимых на защиту слишком громоздки.*
2. *В первом положении изложены общеизвестные факты: сгонно-нагонные явления и сильная изменчивость течений на акватории Азовского моря, как и на мелководной части Каспийского моря, вызваны атмосферным воздействием.*

В **первом разделе** дано физико-географическое описание мелководного бассейна Азовского моря и сделан подробный анализ имеющейся океанографической информации по результатам наблюдений и моделирования, посвященной исследованиям опасных явлений в Азовском море. Представлен подробный обзор основных двух и трёхмерных моделей динамики Азовского моря, и анализ основных результатов математического моделирования. Приведены уравнения трёхмерной нелинейной гидродинамической модели Princeton Ocean Model и её адаптации к региональным особенностям Азовского моря.

Замечания и вопросы к первому разделу:

1. *Выражение (1.2.22), описывающее сигма координаты содержит опечатку, т.к. при $z = H(x,y)$ $\sigma \neq 1$.*
2. *Не приведена оценка оптимальности шага сетки по пространству 1км для описания сложной береговой линии, особенно северо-западного побережья с его многочисленными косами.*

3. *Отсутствует описание пространственного и временного разрешения атмосферного реанализа модели SKIRON/Eta. Также отсутствует описание процедуры перевода основных параметров состояния атмосферы данного реанализа на расчётную сетку гидродинамической модели.*
4. *Отсутствует описание процедуры расчёта осушения и затопления, которые изменяют не только площадь акватории, но и конфигурацию береговой линии. По этой причине батиметрической карты для расчетов недостаточно. Необходима информация о рельефе прибрежной зоны подверженной затоплению.*
5. *Проводился ли анализ ошибок дискретизации и влияния размеров ячейки на результаты расчётов?*

Во **втором разделе** рассмотрены математические описания различных сценариев атмосферной циркуляции (в частности, ветрового поля), позволяющие изменять геометрические и эволюционные параметры возмущений для численных экспериментов. Здесь также приведено аналитическое описание сценариев начального содержания пассивной примеси в морской воде, используемых в качестве начальных условий при моделировании её распространения по акватории моря.

Замечания ко второму разделу:

1. *Подразделы 2.1.1.1. – 2.1.1.5. и 2.1.2.1. – 2.1.2.3. содержат только нумерация. Названия их отсутствуют, что затрудняет чтение текста данного раздела.*
2. *Утверждение, что концентрация взвеси в морской среде соответствует фактическим данным, рассчитанные по данным спектрометра MODIS спутников Terra/Aqua – спорно, так как алгоритмы расчёта её концентрации на акватории Мирового океана не всегда соответствует *in situ* измерениям. Для внутренних морей рекомендуется использовать региональные алгоритмы.*
3. *Не понятно, как использовались данные дистанционного зондирования при наличии облачности над акваторией моря.*

В **третьем разделе** представлены оценки влияния различных условий прохождения жидкости через Керченский пролив, используемых при моделировании, на скорости течения и отклонения уровня Азовского моря при стационарных и нестационарных

атмосферных возмущениях. Получены выводы о стабильности стационарных течений при нестационарном атмосферном воздействии, исследовано влияние интенсивности и направлений действующего ветра на экстремумы сгонов, нагонов, скорости течений на различных горизонтах моря.

Замечания и вопросы ко третьему разделу:

1. *Непонятно почему заявленный в первом разделе использование атмосферного реанализа модели SKIRON/Eta. Было в данном разделе заменено на реанализ NCEP/NCAR, пространственной разрешение которого $(2,5^\circ \times 2,5^\circ)$ гораздо хуже пространственного разрешения численной модели Азовского моря.*
2. *В чем физический смысл «условия свободного протекания» (равенство нулю производной нормальной составляющей скорости к жидкой границе) на черноморской оконечности Керченского пролива?*

Результаты численных исследований мезомасштабных колебаний уровня в Азовском море приведены в **четвертом разделе**. Результаты сравнительного спектрального анализа позволили выделить частоты энергонесущих максимумов и получить амплитудно-фазовые характеристики свободных колебаний уровня Азовского моря, возникающих после прекращения действия квазистационарного ветра, а также при прохождении атмосферного фронта с резонансными параметрами.

Замечания к четвертому разделу:

1. *Непонятно как диссертант разделяет сейшевые колебания и сгонно-нагонные явления около береговой линии, которые имеют разную природу. Наверное, проще говорить о подъёме и падении уровня моря.*

Пятый раздел посвящён численному исследованию нестационарной циркуляции Азовского моря, вызванной действием вихревых атмосферных возмущений. Результаты модельных прогнозов отклонений уровня моря и протяженности затоплений побережья, связанные с прохождением циклонов в 2013 и 2014 гг. сопоставленные с данными *in-situ* наблюдений, подтвердили наблюдаемые особенности этих штормов у побережья Азовского моря.

Замечания к пятому разделу:

- 1. Непонятно как диссертант разделяет сейшевые колебания и сгонно-нагонные явления около береговой линии, которые имеют разную природу. Наверное, проще говорить о подъёме и падении уровня моря.*

В **шестом разделе** представлены результаты прогноза общего содержания загрязняющей субстанции в Азовском море в 2013 и 2014 гг., с использованием разработанной процедуры усвоения коэффициентов яркости моря из стандартных продуктов спектрорадиометра MODIS спутников Aqua и Terra в трёхмерную гидродинамическую модель.

Замечания к шестому разделу:

- 1. В тексте почему идёт «чехарда» понятий «загрязняющая субстанция» и «примесь». Это усложняет понимание текста.*
- 2. Согласно уравнению (2.1.21) речь идёт о пассивной примеси. По данным спектрорадиометра MODIS такой примесью может быть только взвесь. Конечно, она влияет на состояние экосистемы, но никакого отношения к активному судоходству и работе предприятий черной и цветной металлургии.*
- 3. Название раздела 6.2 «Моделирование сценариев распространения загрязнения в поле вихревых атмосферных возмущений» неудачно, так как распространение примеси проходит по акватории моря.*
- 4. Не понятно зачем в данном разделе идёт речь о сгонах и нагонах в разделе 6.3. Данному разделу место в разделе 5.*

В **седьмом разделе** приведены климатические тренды температуры и солёности Азовского моря, полученные на основе анализа данных прямых измерений за период 1913–2018 гг. Климатические данные о солёности используются для получения регрессионных моделей, связывающих их с региональными биооптическими показателями, полученными по данным дистанционного зондирования. Результаты восстановления солёности за 2000–2018 гг. по биооптическому показателю и регрессионной модели, восстанавливающей солёность наилучшим образом согласующуюся с наблюдаемой за этот период, показали хорошее согласование с наблюдаемой климатологической изменчивостью в центральной части Азовского моря.

В **заключении** представлены результаты проведенного исследования, работа заканчивается выводами, которые соответствуют поставленной цели и задачам работы.

Общие замечания к работе:

- 1. В тексте присутствует чехарда «раздел» – «глава», что затрудняет чтение работы.*
- 2. Качество не которых рисунков очень низкое.*
- 3. Из текста работы следует, что понятие «экстремальное явление» и «опасное явление» являются синонимами. Однако это не так.*

Перечисленные замечания не имеют принципиального характера и не нарушают общей положительной оценки диссертационной работы работа Шульги Т.Я., которая является законченным, качественно выполненным научным исследованием.

С учётом всего вышесказанного полагаю, что диссертация Шульги Татьяны Яковлевны на тему: «Моделирование динамики вод и переноса субстанции в Азовском море» соответствует специальности 1.6.17. – «Океанология». Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные результаты, использование которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора наук, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете» и рекомендована к защите в СПбГУ. Нарушений пунктов 9, 11 Порядка присуждения Санкт-Петербургским государственным университетом соискателем ученой степени доктора наук мною не установлено.


Я, Лебедев Сергей Анатольевич, даю своё согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационные документы соискателя учёной степени доктора физико-математических наук Шульги Т.Я.

Член диссертационного совета

Главный научный сотрудник лаборатории геоинформатики и
Геомагнитных исследований

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Геофизический Центр Российской академии наук,
Доктор физико-математических наук
по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»



Лебедев Сергей Анатольевич

119296, г. Москва, ул. Молодежная, д.3

E_mail: s.lebedev@gcras.ru

Тел.: +7(495) 930-05-46

Факс: +7(495) 930-05-06

16 декабря 2024 года

Подпись сотрудника С.А. Лебедева удостоверяю:

Главный специалист по кадрам

ФГБУН Геофизический Центр РАН



Дасаева Вера Петровна