

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 Т.Я. Шульги связана с проблемой своевременного предупреждения природных и техногенных воздействий в прибрежных областях и открытой части Азовского моря, которое должно быть основано на совместном использовании данных мониторинга и результатов численного моделирования. Возрастающая потребность в точных прогнозах экстремальных гидрологических явлений, в частности, в Азовском море, например, таких как экстремальные штормовые сгонно-нагоны, перенос больших массивов льда, а также перенос нефтяных загрязнений требует развития методов математического моделирования механики жидкости и разработки современных моделей прогноза. Кроме того, актуальность численных экспериментов повышается тем обстоятельством, что с помощью моделирования можно не только исследовать влияние природных факторов на циркуляцию морских вод, но и проверять различные гипотезы, связанные с хозяйственной деятельностью человека, например, строительством портов и терминалов, прокладкой подводных трубопроводов.

Цели и задачи диссертационной работы. Основной целью работы является исследование влияния опасных гидродинамических и атмосферных процессов, приводящих к возникновению и усилению природных явлений, способных нанести серьезный ущерб состоянию экосистемы Азовского моря. Для достижения поставленной цели был сформулирован и решен целый набор разнообразных задач, связанных с разработкой математических моделей, анализом большого массива данных, прогнозированием размеров областей затопления/осушения при сгонно-нагонных ветрах.

Теоретическое значение работы. Полученные результаты позволяют продвинуться в понимании динамических процессов в мелководном Азовском море, обусловленных различными атмосферными воздействиями, а также в распространении различных примесей.

Практическое значение полученных результатов. Полученные результаты, в частности, выводы об экстремальных скоростях течений на различных горизонтах Азовского моря, экстремальных амплитудах уровня моря, протяженности областей затопления/осушения при штормовых нагонах/сгонах, основанные на результатах численных экспериментов, могут быть использованы в качестве рекомендаций по снижению возможных рисков материального ущерба для прибрежных территорий. Разработанная в диссертации методика восстановления солености морских вод по данным дистанционного зондирования позволит удешевить работы по оценке солености прямыми способами, осуществить многолетний мониторинг изменения солености, восполнить пробелы в гидрохимическом исследовании Азовского моря в прошлые годы, а также расширить представление о процессах циркуляции водных масс, от которого зависит развитие биологических ресурсов Азовского моря.

Достоверность и обоснованность основных результатов. Обоснованность полученных результатов следует из использования современных и исторических данных контактных и дистанционных наблюдений; математического аппарата механики жидкости, основанного на решении системы примитивных уравнений гидродинамики океана; и из сопоставления получаемых решений математического моделирования с известными в литературе натурными данными и данными прямых измерений в Азовском море. Достоверность полученных результатов определяется большим количеством публикаций автора в рецензируемых журналах.

Научная новизна основных результатов. Среди полученных результатов следует выделить:

- (1) Созданы и апробированы математические модели, оформленные в виде программных кодов, дополняющих вычислительный комплекс трехмерной нелинейной сигма-координатной гидродинамической модели Princeton Ocean Model;
- (2) Выполнена верификация результатов моделирования с данными наблюдений о ходе уровня Азовского моря и протяженности областей затопления в ходе численных экспериментов, воспроизводящих исторические штормы в Азовском море;
- (3) Впервые численно проверено влияние резонансного механизма на возникновение волн с максимальными амплитудами, генерируемых перемещающимся над морем неоднородным барическим фронтом. Исследованы свободные колебания в Азовском море, возникающие после прекращения длительно действующего ветра.
- (4) Выполнен спектральный анализ свободных и вынужденных колебаний уровня моря на береговых станциях Азовского моря. Получены амплитудно-фазовые характеристики свободных колебаний на частотах энергонесущих максимумов с помощью Фурье-анализа для смоделированных временных рядов отклонений уровня морской поверхности.
- (5) Предложен новый метод восстановления солености Азовского моря при помощи данных дистанционного зондирования. Метод основан на создании полупараметрических регрессионных моделей, связывающих значения биооптических параметров, полученных по данным спутниковых снимков поверхности водоема с измерениями *in situ*.

Публикации и личный вклад автора, апробация работы. Автором диссертации опубликовано 47 работ, из них 26 статей в журналах, включенных в список ВАК и входящих в мировые индексы цитирования Scopus и/или Web of Science; 14 статей в рецензируемых периодических научных журналах и сборниках трудов международных конференций, 1 монография в соавторстве, 2 коллективные монографии, 1 атлас в соавторстве, 1 свидетельство о регистрации базы данных. Работа апробирована на многочисленных российских и международных конференциях.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из Введения, семи разделов, Заключение, списка литературы. Общий объем диссертации – 298 страниц, включая 68 рисунков и 43 таблиц.

Во Введении представлены актуальность, цели и задачи исследования, теоретическое и практическое значение работы, методы исследования, достоверность и обоснованность основных результатов, апробация работы, публикации и личный вклад автора, основные научные результаты, положения, выносимые на защиту.

В Первом разделе приводится обзор исследований волн, течений, сгонов и нагонов в Азовском море, основанные на результатах моделирования и данных экспедиционных и прибрежных наблюдений; дано описание модели РОМ и приведены основные уравнения; описана адаптация гидродинамической модели РОМ к бассейну Азовского моря.

Во Втором разделе описываются сценарии атмосферных возмущений, генерирующих движения воды в Азовском море; характерные типы погоды; сценарии начальных полей концентрации примеси для численного исследования эволюции субстанций в Азовском море.

Третий раздел посвящен воспроизведению водообмена через Керченский пролив и численному анализу его влияния на течения и сгонно-нагонные процессы в Азовском море. Описано влияние антициклонов, проходящих над Азовским морем, на максимальные скорости течений в Керченском проливе в ледовые сезоны 2015–2017 гг.

Четвертый раздел посвящен свободным колебаниям уровня Азовского моря. В частности, проведено исследование скорости течений и колебаний уровня моря после прекращения длительно действующего ветра; выполнен анализ влияния параметров барических образований на свободные и вынужденные колебания уровня и течения в Азовском море; выполнен спектральный анализ свободных и вынужденных колебаний уровня Азовского моря.

В пятом разделе приводятся результаты моделирования циркуляции вод Азовского моря, обусловленной вихревыми атмосферными движениями. Выполнена оценка влияния движущихся атмосферных возмущений на динамические процессы при наличии фоновых стационарных течений. Исследовано влияние параметров вихревых атмосферных образований на воспроизводимые скорости течений и величины сгонно-нагонных колебаний уровня моря при различных граничных условиях на жидкой границе. Приведены результаты численного исследования течений и сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря в период экстремальных приазовских ветров. Обсуждаются результаты прогнозов размеров области затопления (осушения) в прибрежной полосе Азовского моря при сгонно-нагонных ветрах. Определены размеры областей осушения и затопления на побережье Азовского моря в зависимости от интенсивности атмосферных полей.

В шестом разделе приводятся результаты численного прогноза эволюции загрязняющих веществ в Азовском море. Численным образом воспроизведены сценарии распространения загрязнения в различных районах Азовского моря при порывах нестационарного ветра. Выполнено моделирование сценариев распространения загрязнения в поле вихревых атмосферных возмущений. Описаны результаты исследования распространения и трансформации загрязнений в Азовском море с использованием данных атмосферной модели SKIRON.

Седьмой раздел посвящен методу восстановления данных о солености Азовского моря на основании натуральных и спутниковых данных. Описано построение климатических наборов данных о температуре и солености Азовского моря на основе океанографических баз данных. Определены регрессионные зависимости между измеренными значениями солености и региональными спутниковыми продуктами. Выполнено сравнение результатов восстановления поверхностной солености при использовании различных биооптических параметров в регрессионных моделях. Проведено сопоставление результатов восстановления поверхностной солености в Азовском море за период 2000–2018 гг. с климатическими трендами *in situ* за 1913–2018 гг.

В Заключении формулируем основные результаты, полученные в диссертации.

К работе имеется ряд замечаний:

- (1) Во Введении, на стр. 8 приведен раздел «Практическое значение полученных результатов», а на стр. 10 – «Практическая значимость результатов работы», что является повтором приведенной информации.
- (2) На стр. 24 плохо сформулирован пункт 4 «Основных научных результатов», который звучит совершенно неопределенно «4) предложена новая методика совместного использования результатов численного моделирования и данных дистанционного зондирования [Исследование распространения ... , 2018, с. 232].» Непонятно о чем идет речь. И далее «Алгоритм апробирован на данных измерений оптического сканера MODIS, впервые получены оценки содержания субстанций в Азовском море за 2013–2014 гг.» Непонятно о каких субстанциях идет речь.
- (3) На стр 24 в пункте 5 «Основных научных результатов» не указано в явном виде какие биооптические параметры морской воды использовались – «5) предложен новый метод восстановления солености Азовского моря при помощи данных дистанционного зондирования. Метод основан на создании полупараметрических регрессионных моделей, связывающих значения биооптических параметров, полученных по данным спутниковых снимков поверхности водоема с измерениями *in situ*.».
- (4) На стр. 25 положение N1, выносимое на защиту сформулировано тривиально – «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.». То, что сгонно-нагонные колебания в Азовском море вызваны атмосферными воздействиями – это давно установленный и хорошо известный факт. Его следовало бы сформулировать более точно исходя из результатов проведенных исследований.
- (5) На стр. 25 плохо сформулировано положение N4, выносимое на защиту – «4) рассчитываемая с использованием предлагаемого подхода протяженность грани 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;». Непонятно о каком подходе идет речь. Именно этот «подход» и следовало бы ставить на защиту, а не создание массивов данных.

- (6) Стр. 49 – раздел «1.3. Адаптация гидродинамической модели POM к бассейну Азовского моря» следовало бы вынести из обзора литературы в результаты, поскольку адаптация выполнена автором диссертации.
- (7) Стр. 58 – Раздел 2 начинается с подраздела «2.1.1. Сценарии атмосферных возмущений, генерирующих движения жидкости в Азовском море», при этом подраздел 2.1. отсутствует.
- (8) Стр. 64 – «.....атмосферная модель SKIRON». Отсутствует обоснование выбора данной атмосферной модели.
- (9) Стр. 66 – «В третьем случае в качестве начальных значений концентрации примеси используются данные дистанционного зондирования, полученные со спутников MODIS-Aqua/Terra». Не указываются, какие именно данные MODIS использовались для задания начальных значений концентрации примеси.
- (10) Стр 69, 219 – «Для этого исследования привлечены данные наблюдений за 2013–2014 гг. со спутников Aqua и Terra (со сканером MODIS на борту). Источником данных второго уровня (L2) прибора MODIS является ресурс OceanColor WEB, находящийся в открытом доступе в сети (рисунок 2.1.2.1).». Тот же вопрос.
- (11) Стр 74 – «Именно из-за штормовых погодных условий в 1944 г. был разрушен мост длиной 4452 м.....». Керченский железнодорожный мост был разрушен не в 1944, а в феврале 1945 года и не в результате шторма, а в результате давления ледяных полей.
- (12) Стр 74 – «К серьезной экологической катастрофе на крымском побережье вследствие затопления судов и разлива нефти привел шторм 11 октября 2007 г.». – это произошло 12 ноября 2007 года, а не 11 октября.
- (13) Стр 74 – «Актуальность исследований, связанных с воспроизведением циркуляции вод Азовского моря при условии преграждения Керченского пролива, обусловлена строящимся в этом районе транспортным переходом между Керченским и Таманским полуостровами через остров Тузла и Тузлинскую косу.» Оба моста (железнодорожный и автомобильный) уже давно построены.
- (14) Стр 102 – «Перемещение антициклонов над Восточной Европой, проходящих вдоль акватории Азовского моря с северных румбов, способно приводить к увеличению поверхностной скорости азовского течения до максимального значения 0,54 м/с, а уровня моря – до 52 см. Столь существенное и резкое усиление течения может представлять опасность как для судов, проходящих между опорами Керченского моста, так и для самих этих опор в ледовые сезоны.». Течения порядка 50 см в сек и повышение уровня на 52 см никак не могут представлять опасность для опор моста. Для этого требуется совокупность факторов, которая должна включать направление ветра и массу льда, кроме того, далеко ни в каждую зиму (ледовый сезон) в районе Керченского пролива наблюдается лед.

