

Отзыв научного руководителя

о диссертации Гладских Дарьи Сергеевны

"ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО ВНУТРЕННЕМ ВОДОЕМЕ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕНОСА"

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера

Исследования, лежащие в основе диссертационной работы Дарьи Гладских, связаны с созданием численных моделей, описывающих термогидродинамические и биогеохимические процессы во внутренних водоемах. Актуальность работы не вызывает сомнений. С одной стороны, процессы, протекающие в озерах и водохранилищах, и факторы, на них влияющие, играют важнейшую роль во взаимодействии атмосферы и деятельного слоя суши, а потому их учет критически важен при разработке моделей погоды и климата. В частности, водоемы суши являются особым типом подстилающей поверхности, задающим специфические потоки тепла и влаги на границе с атмосферой. Помимо термогидродинамических характеристик необходима параметризация потоков биохимических веществ в атмосферу, среди которых особую роль играют растворенные газы, в частности, парниковые: метан и углекислый газ. Для корректного воспроизведения мезомасштабной атмосферной циркуляции необходима обоснованная и надежная параметризации этих потоков. Кроме того, процессы, протекающие в озерах и водохранилищах, представляют интерес в связи с проблемами экологии, качества воды, биопродуктивности водоемов и т.п. Также в последнее время приобрела особую значимость проблема сокращения углеродного следа предприятий, в частности, проблема мониторинга и прогнозирования эмиссий парниковых газов, прежде всего, метана, которые происходят в водохранилищах, образованных плотинами гидроэлектростанций на равнинных реках.

Диссертационная работа Д. С. Гладских подчинена основной цели: разработке численной модели термогидродинамических и биогеохимических процессов водоемов суши, основанной на решении уравнений Рейнольдса, описывающих турбулентные течения стратифицированной жидкости в водоеме и концентрацию примесей, в том числе, растворенных газов и растворенного и твердого углерода. Реализации этой цели посвящена логика работы, отраженная в последовательности глав. Диссертация состоит из Введения, 5-ти глав и Заключения. В 1-й главе представлен обзор современного состояния исследований термогидродинамики и биогеохимии водоемов суши и сформулированы нерешенные актуальные задачи, которые и были рассмотрены в диссертационной работе.

Во 2-й главе приведен пример эффективного использования одномерной численной модели LAKE для описания термогидродинамики внутреннего водоема среднего размера – Горьковского водохранилища. Отметим, что по своей природе одномерные модели не предназначены для воспроизведения трехмерной адвекции (соответствующий ей вертикальный перенос моделируется коэффициентом вихревой вязкости), поэтому эти модели допускают ошибки в деталях вертикальных профилей температуры и др. параметров, но хорошо описывают интегральные характеристики турбулентного переноса. В связи с этим они полезны и популярны при моделировании подстилающей поверхности в мезомасштабных моделях циркуляции атмосферы. Особенно важно при этом корректное задание касательного напряжения ветра на поверхности водоема. Д.С.Гладских предложила локальную коррекцию данных реанализа на основе натурных измерений и спутниковых данных, что позволило существенно улучшить качество предсказанием модели. 3-я глава посвящена важнейшему вопросу корректного описания турбулентного переноса в стратифицированной жидкости. Здесь Д.С.Гладских развивает модель, предложенную в 80-е годы (Островский, Троицкая, 1987), в которой учитывается противоградиентный поток массы в устойчиво стратифицированном турбулентном течении, обусловленный двусторонней трансформацией кинетической и потенциальной энергии турбулентности. Здесь диссертанту удалось имплементировать соответствующую модель замыкания в уравнения термогидродинамики замкнутого водоема и продемонстрировать эффект заметного роста турбулентного переноса через пикноклин при использовании этой модели. 4-я глава диссертации посвящена исследованию сезонности ледяного покрова внутренних водоемов крупных и средних размеров на основе оригинального алгоритма обработки данных альтиметрических спутников JASON-1,2,3, TOPEX/Poseidon и SARAL. В результате были получены временные ряды дат установления ледяного покрова и таяния льда, необходимые для определения периода открытой воды. Кроме того, временные ряды, имеющие продолжительность 25 лет, показали выраженные климатические тренды. 5-я глава диссертации посвящена разработке трехмерной численной модели переноса биологически активных примесей и парниковых газов во внутреннем водоеме. Модель представляет собой блок, дополняющий 3-хмерную модель термогидродинамики водоема, из которой он получает поля скорости и температуры, а также турбулентной диффузии. Биогеохимический блок основан на численном решении связанных уравнений переноса примесей с учетом их переноса течением, диффузии и отклика на температуру и освещенность, а также химических и биохимических реакций. Тестирование модели на известных аналитических и численных решениях показало ее работоспособность и эффективность.

В заключение я могу отметить, что Д.С. Гладских за время работы над темами, ставшими предметом ее кандидатской диссертации, выросла в самостоятельного научного работника. Она владеет современными численными методами моделирования сложных турбулентных течений и методами теоретического исследования процессов турбулентного переноса в стратифицированной жидкости. Она успешно и плодотворно взаимодействует с коллегами. Она работает со специалистами по численному моделированию из различных институтов, имеет опыт международного научного сотрудничества в этой области, участвовала также в проведении натурных измерений на Горьковском водохранилище, данные которых были использованы во 2-й главе диссертации. В своей диссертационной работе Д.С. Гладских представила исследования, которые привели к созданию ключевого элемента рабочего инструмента для комплексного моделирования процессов во внутреннем водоеме. Подготовленная ею диссертация, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научной работой, подводящей итог исследованиям, которыми она занималась при обучении в университете и в аспирантуре. Основные результаты опубликованы в ведущих профильных российских и международных журналах, входящих в базу данных WOS и доложены на всероссийских и международных конференциях. Диссертационная работа и автореферат удовлетворяют всем требованиям ВАК. На мой взгляд, Дарья Сергеевна Гладских, безусловно, заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Научный руководитель

Ю.И.Троицкая

25.04.2022.

Троицкая Юлия Игоревна, доктор физ.-мат.наук
Зав отделом нелинейных волновых процессов
Института прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород. ГСП - 120, ул. Ульянова, 46.
+7(831)436-82-97; yuliya@hydro.appl.sci-nnov.ru

Подпись сотрудницы ИПФ РАН Ю.И.Троицкой удостоверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН

кандидат физ.-мат.наук



И. В. Корюкин