

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 гидросферы

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 параметризация 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 натуральных 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 противогradientный 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.

