

Отзыв

официального оппонента

Муратовой Галины Викторовны

на диссертацию Володько Ольги Станиславовны

«Анализ структуры течений в озере Шира в летний период по результатам математического моделирования и натурных измерений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Володько Ольги Станиславовны посвящена исследованию структуры течения в озере Шира, представляющем большой интерес ввиду его особого географического положения и специфической структуры. С одной стороны, этот водоем можно классифицировать как озеро, находящееся на средней широте, где находится большинство озер мира, и в этом смысле является типичным представителем озерной системы. С другой стороны, особый интерес представляют исследования стратифицированного соленого озера с параметрами стратификации, приближающими его к морям. При небольших размерах некоторые характеристики могут быть изучены тщательнее, чем в больших водоемах, например, измерения температуры, солености и скорости могут быть проведены вплоть до дна. Также реально получение данных для температуры и скорости по всей акватории.

Актуальность исследования

Прогноз качества воды и биологического разнообразия озер представляет собой важнейшую задачу, с учетом того, что озера часто являются важными народно-хозяйственными и рекреационными объектами, а роль озер в области курортного лечения и внутреннего туризма повышается из года в год.

Частью решения задачи сохранения экологического равновесия является исследование динамики озер, которое может осуществляться теоретическими методами, с использованием натурных измерений и математического моделирования. В данной работе для исследования динамики озера Шира используются все три подхода, позволяя получить более точную картину течения.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Структура диссертационной работы

Полный объем работы составляет 157 страниц. Список литературы содержит 148 наименований.

Во **введении** Володько О.С. обосновывает актуальность исследований, указывает цель и поставленные задачи, формулирует положения, выносимые на защиту, новизну полученных результатов.

В первой главе приводится система уравнений трехмерного нестационарного ветрового течения неоднородной жидкости. Для упрощенной модели (однородная жидкость, медленные течения) находятся аналитические решения с различными условиями на дне и коэффициентами вертикального турбулентного обмена. Как частный случай рассматривается течение в вертикальной плоскости. Полученные аналитические решения сравниваются с решениями для модели Экмана (модели без учета горизонтального обмена). Определяются условия, при которых для оценки течения применима более простая модель Экмана.

Вторая глава посвящена численной адаптации пакета ROMS (Regional Ocean Modeling System) к расчету течений в озере Шира и проведению модельных расчетов и расчетов с реальными метеорологическими данными в летний период.

Адаптация включает в себя построение цифровой модели рельефа дна по нерегулярным измерениям батиметрии; сравнения численного решения с аналитическим, полученным в первой главе; анализа возможных аппроксимаций для членов переноса, применяемых в системе моделирования ROMS, на найденных аналитических решениях для уравнения переноса-диффузии в одномерном и двумерном случае.

Проводятся модельные расчеты с различными ветровыми сценариями, позволяющими выявить зависимость вида внутренней волны от направления ветра. Проводятся расчеты для всего летнего периода, анализируются спектры скоростей, полученные в результате расчетов, и спектры измеренных скоростей. Делается вывод о постоянстве этой характеристики в период потери озером свойства меромиктичности, когда впервые за сто лет озеро перемешалось до дна.

В третьей главе излагаются результаты обработки данных натурных измерений статистическими методами, в частности, с использованием метода эмпирических ортогональных функций, представляющем собой вариацию известного метода главных компонент.

Метод позволяет представить данные в виде конечной суммы слагаемых, каждое из которых записывается как произведение функции, зависящей от времени, на функцию, зависящую от пространственных переменных. Анализ наиболее масштабного слагаемого позволяет определить особенности происходящего процесса.

В частности, с использованием этого метода получены оценки корреляции поверхностной температуры и температуры воздуха; проведен анализ течения в верхнем однородном слое; получена оценка коэффициента вертикального турбулентного обмена.

В заключении сформулированы основные результаты работы, показано, что цель диссертации достигнута путем решения поставленных задач.

В Приложении 1 приводится описание приборов для измерения скорости течения, которые использовались автором при проведении

натурных измерений.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Целью диссертационной работы является анализ течений в озере Шира в летний период. Проанализирована отечественная и зарубежная литература по применяемым моделям, численным методам и методам обработки данных, корректно используются известные научные результаты. Представленные в работе положения и выводы обоснованы и аргументированы.

Результаты диссертационной работы неоднократно обсуждались на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 27-ми работах, включая 1 монографию, 3 публикации в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 5 публикаций, проиндексированных в базе данных Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 3 статьи в рецензируемых научных журналах, 13 публикаций в трудах и тезисах всероссийских и международных конференций.

Достоверность научных результатов подтверждается корректной постановкой задачи исследования, корректным применением методов расчета и анализа данных, непротиворечивостью полученных теоретических и практических результатов, апробацией полученных результатов.

В целом, диссертационная работа изложена в грамотном, строгом научно-техническом стиле и оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

Научная новизна полученных результатов

1. Получены новые аналитические решения для оценки ветрового движения жидкости в модели Экмана и в модели стационарного ветрового движения жидкости с учетом горизонтального турбулентного обмена в двумерном и трехмерном случаях.
2. Выполнен сравнительный анализ широкого класса разностных схем повышенного порядка аппроксимации на аналитических решениях одномерного и двумерного уравнений конвекции-диффузии.
3. Разработана методика построения цифровой модели рельефа дна по нерегулярным данным батиметрии, основанная на использовании бигармонической сплайн-интерполяции.
4. Определена динамика основных гидрофизических характеристик озера Шира по результатам численных расчетов и результатам анализа данных натурных измерений. В частности, определены условия возникновения, вид и периоды внутренних волн в зависимости от силы и направления ветра.
5. На основе численного моделирования и спектрального анализа внутренних волн в озере Шира сделан вывод об устойчивости гидрофизических характеристик в период потери озером свойства меромиктичности.
6. Впервые на основе анализа данных долговременных измерений скоростей

течения в озере Шира определена структура течения в эпилимнионе (верхнем прогревом слое) и проведена оценка величины коэффициента вертикального турбулентного обмена.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Результаты работы носят как теоретический, так и прикладной характер. Теоретическую значимость имеют аналитические решения, полученные для упрощенной модели стационарного ветрового движения однородной жидкости с учетом бокового обмена в бассейне прямоугольной формы, и обоснование применимости модели Экмана вдали от берегов. Кроме того, автором построена система аналитических решений для уравнения переноса-диффузии в одномерном и двумерном случае для тестирования численных алгоритмов.

Практическую значимость имеют технология построения цифровой модели рельефа дна по нерегулярным данным батиметрии и результаты численного моделирования в озере Шира, которые могут быть использованы для оценки экологического состояния озера Шира.

Результаты работы были использованы в проекте РФФИ 15-05-04198 «Наблюдение и моделирование инерционных колебаний в Балтийском и Черном морях».

Выявленные недостатки и замечания

К достоинствам работы следует отнести целостный подход и безусловную связность всех частей работы, использование самых современных приборов и вычислительных методов.

В работе получили обоснование интуитивно понимаемые факты, например, связь поверхностной температуры и температуры воздуха.

Работа не лишена некоторых недостатков.

1. В диссертации неправильно названы п. 1.4.1 и 1.4.2. Вместо «коэффициента горизонтального турбулентного обмена» следует написать «коэффициента вертикального турбулентного обмена»
2. В Заключении в предложении "амплитуды внутренних волн, полученные путем обработки данных натуральных измерений скорости течения" слово "скорости" надо заменить на слово "температура".

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы.

Заключение о соответствии диссертации требованиям и критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Представленная к защите диссертационная работа Володько О.С. является завершенным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, является целостной и логически обоснованной, содержит новые научные результаты и положения, а также рекомендации по их использованию на практике. Излагаются новые возможности исследования сложных гидрофизических процессов в озерах, в основе которых лежит

комплексный подход и самые современные методы исследования и моделирования.

Оформление диссертации и автореферата удовлетворяет требованиям соответствующих нормативно-методических документов. В автореферате диссертационной работы полностью отражены основные полученные результаты и дано краткое изложение содержания выполненных исследований. Содержание разделов автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Володько Ольга Станиславовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

д.ф.-м.н., профессор,
профессор кафедры информатики и
вычислительного эксперимента,
ведущий научный сотрудник
лаборатории «Вычислительная механика»
Института математики, механики и
компьютерных наук
имени И.И. Воровича.

Муратова Галина Викторовна

22 марта 2022 г.



Г. В. Муратовой
Веряю (Цыбенкова Д.А.)

Шифр специальности, по которой защищена докторская диссертация
Муратовой Галины Викторовны — 05.13.18 — «Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ»

Адрес места работы:

44006 г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42

Эл. почта: info@sfedu.ru

Телефон: +7(863)263-31-58

e-mail muratova@sfedu.ru