

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Терешинной Марии Алексеевны
на тему: «Водный и термический режим водоемов Московского региона
в условиях изменяющегося климата» по специальности
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Актуальность избранной темы. Термодинамический, гидрологический и ледовый режимы водоёмов служат определяющими факторами для «экосистемных услуг», предоставляемых водными экосистемами человеческому обществу. Так, внутригодовое распределение термической стратификации определяет условия вертикального перемешивания, и, следовательно, доступа кислорода, происходящего из атмосферы и от первичной продукции, к глубоким слоям водоёма; в свою очередь, состояние экосистемы, качество воды и эмиссия парниковых газов напрямую зависят от присутствия на глубинах кислорода как основного окислителя и источника дыхания. При наблюдаемых изменениях климата сокращается продолжительность ледостава и увеличивается период летней прямой стратификации, что приводит к разнонаправленным и недостаточно изученным экологическим последствиям. Эти наблюдаемые тенденции продолжатся в будущем в зависимости от реализовавшегося сценария изменений климата. Для планирования адаптационных мероприятий с целью сохранения (или улучшения) необходимы соответствующие сценарные оценки ожидаемых изменений уровня режима, распределения температуры воды, характеристик ледяного покрова. На решение этой задачи и направлено диссертационное исследование, которое, таким образом, является актуальным и востребованным для уточнения национальной стратегии реагирования на экосистемные последствия изменений климата.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Основные выводы по ожидаемым в XXI веке изменениям термогидродинамического режима озёр сделаны на основе известного модельного

комплекса GLM (General Lake Model), который был скупулёзно оптимизирован в части коэффициентов параметризаций физических процессов на основе исторических и современных данных измерений за температурой, уровнем и сроками установления/схода ледяного покрова на исследуемых озёрах. Протокол численных экспериментов для сценарных оценок изменений состояния водоёмов до конца XXI века был заимствован из авторитетного проекта ISIMIP, включает использование в качестве граничных условий результатов ведущих моделей Земной системы.

Достоверность основных результатов работы подтверждается привлечением для проверки и оптимизации математической модели детальных данных лимнологических измерений, охватывающих различные временные периоды в течение XX и XXI вв.; возможность использования оптимизированной модели GLM для будущих климатических условий частично подтверждается высокими метриками качества модели на данных тестовых выборок.

Новизна. Разработана оригинальная методика оптимизации параметров одномерной модели водоёма. Впервые для небольших российских озёр средней полосы ЕТР была проведена оценка сценариев будущих изменений их термогидродинамического режима при различной степени антропогенного воздействия на климат согласно протоколам проектов CMIP6 и ISIMIP.

В качестве достоинств работы следует отметить также очень полный, хорошо структурированный обзор истории и состояния проблемы, безупречное использование русского языка и образцовое оформление.

Замечания и вопросы к тексту диссертации:

- в обзоре литературы не упомянута инициатива LakeMIP, первый проект сравнения одномерных моделей водоёма и предшественник озёрного сектора ISIMIP;

- применимость одномерной модели для оз. Белое, Святое и Глубокое не вызывает возражений ввиду простой формы этих объектов; оценки применимости одномерного подхода к более морфометрически сложному Можайскому водохранилищу могли бы быть получены на основе числа Веддербурна, озёрного

числа; одним из разработчиков модели DYRESM (на основе которой создана GLM) Йоргом Имбергером в своё время были предложены обобщения этих критериев на водные объекты с притоками;

- автор упоминает, что в отдельные годы оз. Глубокое не перемешивается до дна в фазу весенней гомотермии, для осенней гомотермии такого не наблюдается; в чём могут быть причины такой асимметрии в годовом ходе?

- непонятно, воспроизводит ли GLM подлёдную конвекцию, важность которой автор подчёркивает в Главе 1? Если да, то как это сказывается на качестве воспроизведения годового цикла термической стратификации?

- автор пишет, что в трёхмерных моделях водоёмов решаются уравнения Навье-Стокса, но это не так; решаются уравнения Навье-Стокса, осреднённые по Рейнольдсу (уравнения Рейнольдса);

- в формуле (3.5) влажность воздуха не является функцией температуры воздуха;

- «нестабильность Кельвина–Гельмгольца» – калька с английского, по-русски будет «неустойчивость Кельвина–Гельмгольца»;

- стр. 108 «симуляции конкретного озера» – звучит нехорошо, по-русски будет «моделирование, расчёт, воспроизведение, ...»;

- среди калибровочных параметров модели есть те, которые измеряются, в особенности это относится к коэффициенту ослабления ФАР в водной толще; автор пишет, что оптимальные значения данного параметра близко к измеренному, но конкретных величин не приводит;

- в постановке численных экспериментов с Можайским водохранилищем непонятно, как задавалась температура и другие свойства притоков, кроме расхода воды;

- на стр. 114 написано, что калибровка «проводилась методом случайного поиска»; однако стохастические методы оптимизации образуют широкий класс, непонятно, о каком конкретно методе идёт речь; кроме того, автор не приводит характеристик оптимизационного процесса – сколько итераций было проводилось, какой критерий считался условием останова; технический интерес

также представляют оценки времени одного запуска модели GLM и общего времени процесса калибровки;

- из текста неясен физический смысл калибровочного параметра, определяющего альbedo снега;

- на стр. 120 упоминается «приближенный расчет потоков приходящей коротковолновой солнечной радиации и длинноволнового излучения атмосферы с учетом данных об облачности», но никаких деталей по этому методу не приводится;

- проведенное исследование модели на чувствительность к вариации параметров не является полным, потому что не учитывает эффектов совместного действия изменения разных параметров; для этого обычно используются метод Соболя или FAST;

- на рисунке 3.3.7 (чувствительность модели к вариации параметров) не указано, для какого озера проводится оценка; скорее всего, для оз. Святое и Можайского водохранилища результаты будут отличаться;

- «Земная система» пишется с заглавной буквы в первом слове;

- заключительную главу украсил бы анализ вклада отдельных метеорологических величин в ожидаемые к концу столетия изменения, а не только их совокупное влияние.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости и добротного научно-квалификационного уровня диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Терешина Мария Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
заместитель директора

Научно-исследовательского вычислительного центра
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

СТЕПАНЕНКО Виктор Михайлович

«29» апреля 2025 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(495)939-51-66, e-mail: v.stepanenko@rcc.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.29. Физика атмосферы и гидросферы

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 4, НИВЦ МГУ

Тел.: +7(495)939-54-24, e-mail: nivc@rcc.msu.ru

Подпись сотрудника НИВЦ МГУ В.М. Степаненко удостоверяю:

