

**ОТЗЫВ**  
научного консультанта  
о диссертационной работе Козелкова Андрея Сергеевича  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН ЦУНАМИ КОСМОГЕННОГО И  
ОПОЛЗНЕВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ  
НАВЬЕ-СТОКСА»,**  
представленной на соискание ученой степени  
доктора физико-математических науки по специальности  
**01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы**

Козелков Андрей Сергеевич, 1980 года рождения, в 2003 году окончил факультет Информационных Систем и Технологий (ФИСТ) Нижегородского Государственного Технического Университета им. Р.Е. Алексеева по специальности «Прикладная Математика и Информатика». После окончания университета поступил в аспирантуру НГТУ и в 2006 году завершил обучение по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы». В том же году на заседании диссертационного совета «К 002.239.01» при Институте Океанологии РАН им. П.П. Ширшова успешно защитил диссертацию на тему «Оценка опасности волн цунами для побережья бассейна Карибского моря». Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации №48к/84 от 8 декабря 2006 года ему выдан диплом ДКН №012639 о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук.

В 2012 году Козелков А.С. поступил в очную докторантуру ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», по окончании которой продолжил работу над докторской диссертацией.

В диссертации Козелков А.С. рассмотрел и решил актуальную научную проблему, связанную с разработкой физико-математических моделей и сквозной вычислительной технологии для моделирования волн цунами космогенного и оползневого происхождения, с целью прогнозирования поведения и обобщения закономерностей протекания этих процессов.

Им были решены следующие задачи:

- разработка методики расчета волн цунами космогенного и оползневого происхождения на основе уравнений Навье-Стокса;
- внедрение существующих методов ускорения гидродинамических расчетов для эффективного использования разрабатываемой технологии при моделировании распространения цунами на любые расстояния на системах петафлопсного класса;

- систематизация задач и разработка базы данных, содержащей минимальный базис задач валидации, предназначенных для тестирования и калибровки методов расчета распространения волновых возмущений;
- верификация метода на примере задач, имеющих достоверные экспериментальные данные;
- анализ данных произошедших событий и апробация разработанных технологий на примере моделирования цунами, возникшего в ходе астероидно-кометного взаимодействия;
- анализ данных произошедших событий и апробация разработанных технологий на примере моделирования цунами, возникшего в ходе схождения оползня со склонов надводных вулканов;
- разработка отчуждаемой технологии и внедрение в отечественный пакет программ ЛОГОС с целью возможности использования независимыми исследователями.

К основным научным результатам исследований следует отнести:

1. Полностью неявный метод математического моделирования волн цунами космогенного и оползневого происхождения, основанный на решении полной системы уравнений Навье-Стокса для многофазных течений без расщепления, учитывающий все основные процессы течения вязкой жидкости, такие как турбулентность, теплопроводность и конвекция.
2. Метод, обеспечивающий корректный учет силы гравитации и расчет значений градиента давления в случае наличия разрывов в плотности среды на неструктурированной сетке, состоящей из многогранников произвольной формы.
3. Базис задач для верификации и валидации методов расчета распространения поверхностных волн, а также для турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости, включая задачи верификации вихререзающих моделей турбулентности.
4. Анализ результатов численного моделирования возмущений, образовавшихся при падении метеорита в озеро Чебаркуль 15 февраля 2013 года.
5. Закономерность изменения параметров области возмущений вблизи падения тела для различных углов входа. Показано, что изменение параметров каверны наиболее интенсивно происходит при углах падения тела в воду более  $20^\circ$  и подчиняется квазилинейному закону. Интенсивность изменения растет по мере увеличения скорости, а тенденция линейного изменения сохраняется. Падение тела в воду под углами меньше  $20^\circ$  происходит по другому сценарию, и при определенных

условиях тело отскакивает от поверхности воды, а область возмущения имеет крайне размытые границы.

6. Единая технология расчета всех стадий цунами космогенного и оползневого типа – очаг, распространение, накат. Оползневой источник моделируется отдельной фазой, со своими характеристиками и отделенной поверхностью раздела от водной и воздушной фаз. Выполнено сравнение результатов расчета с данными лабораторных экспериментов.
7. Анализ результатов полевого обследования цунами оползневого происхождения на острове Монтсеррат (Карибское море), и численного моделирования этого цунами в рамках уравнений Навье-Стокса в сопоставлении с расчетами по уравнениям мелкой воды и нелинейно-дисперсионной теории.
8. Отчуждаемая технология моделирования волн цунами космогенного и оползневого происхождения на основе уравнений Навье-Стокса на базе многофункционального пакета программ ЛОГОС. Предложена технология построения сеточных моделей с выделением областей генерации цунами, позволяющая строить оптимальные трехмерные сеточные модели с учетом батиметрии океанического дна.

Результаты диссертации неоднократно обсуждались на семинарах Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Института теоретической и математической физики ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и других организаций, включая ведущие предприятия отечественных отраслей промышленности (ПАО «Компания Сухой», ПАО «ОКБ Африкантов» и др.). Полученные результаты используются в научно-исследовательских проектах различной направленности (РФФИ, отраслевые проекты ГК «Росатом», проекты в рамках федеральных целевых программ РФ, проектной части государственного задания высшим учебным заведениям в сфере научной деятельности, гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации и др.), в том числе выполняемых под руководством автора диссертации. В диссертацию включены результаты исследований, поддержанные РФФИ - проект № 13-07-12079офи\_м «Исследование потенциала суперкомпьютеров для масштабируемого численного моделирования задач газо- и гидродинамики в индустриальных приложениях», проект №16-01-00267 «Развитие вычислительных технологий, направленных на решение фундаментальных задач и прогнозирование последствий астероидно-кометного

воздействия на водную среду (2016-2018 гг.)», руководителем которых является диссертант.

Основные положения диссертации представлены в 75 печатных работах, включая 2 монографии, изданные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, 29 статей в журналах, включенных в список ВАК и/или входящих в мировые индексы цитирования (SCOPUS, Web of Science), 7 статей в рецензируемых журналах, 2 статьи в книгах ведущих мировых издательств и 19 статей в трудах конференций. Получено 13 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

За время работы над диссертацией Козелков А.С. зарекомендовал себя как высококвалифицированный и активный ученый, способный формулировать и решать крупные научные и практические проблемы.

Диссертационная работа Козелкова Андрея Сергеевича «Моделирование волн цунами космогенного и оползневого происхождения на основе уравнений Навье-Стокса» является законченным исследованием, имеющим научную и практическую ценность, написана простым и доступным языком и отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации к докторским диссертациям. Считаю, что Козелков Андрей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук,  
профессор, главный научный сотрудник,  
заведующий кафедрой «Прикладная  
математика» Нижегородского государственного  
технического университета  
им. Р.Е. Алексеева

  
Куркин Андрей Александрович

603950, ГСП-41, Нижний Новгород  
ул. Минина, д. 24  
тел.: +7(831)4366393  
e-mail: aakurkin@gmail.com

Подпись Куркина А.А. удостоверяю  
Ученый секретарь Ученого совета НГТУ

  
  
И.И. Мерзляков