

## ОТЧЁТ О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ

с использованием оборудования ИВЦ НГУ

Период выполнения: сентябрь 2023г — май 2025 г.

Автор: студент 4 курса направления «Прикладная математика и информатика»  
Механико-математического факультета НГУ — Церешко Сергей Александрович  
Научный руководитель: к. ф.-м. н., ст. преп. Гусев Олег Игоревич  
Тема работы: «Численное моделирование образования поверхностных волн оползнем  
с использованием метода крупных частиц»

### 1 Аннотация

Задача наката длинных волн типа цунами на берег представляет практический интерес, поскольку позволяет оценивать возможный ущерб прибрежным объектам. Большая часть цунами возникает в результате землетрясений, но самые высокие волны образуются сходом надводных оползней. При этом известны случаи, когда недооценка возможных высот волн и соответствующего ущерба от схода оползня приводит к трагическим последствиям, поэтому важен надежный инструмент для получения адекватных оценок характеристик поверхностных волн, образованных с участием оползневого механизма.

В настоящей работе разработан численный алгоритм на основе метода «крупных частиц» (МКЧ) для расчета наката длинных поверхностных волн в рамках классической одномерной модели мелкой воды, рассмотрено и исследовано несколько возможных вариантов расчета движения точки уреза. Выполнены сравнения полученных численных решений с экспериментальными данными и результатами расчетов других авторов в задаче о накате уединенной волны на плоский склон и выбран наиболее работоспособный вариант. Для моделирования схода подводного оползня он представляется квазидеформируемым телом, движущимся под действием сил тяжести, плавучести, трения о дно и сопротивления воды. Выполнены тестовые расчеты образования поверхностных волн таким оползнем и их наката на берег. Алгоритм расчета движения оползня адаптирован на надводный случай. Выполнено сравнение результатов расчётов с экспериментальными данными на задаче о генерации волн движением клина, замечено хорошее согласие этих результатов. Выполнен тестовый расчёт образования волн сходом надводного оползня в модельном водохранилище.

### 2 Постановка задачи и методика вычислений

- Объект исследования — поверхностные волны, образованные сходом оползня.
- Предмет исследования — численное моделирование образования волн подводным и надводным оползнем с расчётом их наката.
- Цель работы — разработка численного алгоритма на основе метода крупных частиц в рамках одномерной модели мелкой воды для расчета образования поверхностных волн подводным и надводным оползнем и на ката этих волн на берег.
- Задачи: 1. Разработать алгоритм расчёта наката на основе метода «крупных частиц» (МКЧ) для классической модели мелкой воды. 2. Адаптировать алгоритм расчета

движения квазидеформируемого оползня для надводного случая. 3. Выполнить тестовые расчёты: верификацию и валидацию.

### **3 Основные результаты**

- В рамках классической нелинейной модели мелкой воды разработан алгоритм расчёта наката длинных волн на берег на основе метода крупных частиц и метода «улавливания» точки уреза («вода-суша») в узел равномерной неподвижной сетки, исследовано несколько возможных вариантов аппроксимации вблизи точки уреза.
- Выполнена программная реализация алгоритма на языке программирования Python для решения одномерных задач об образовании поверхностных волн сходом подводного или надводного оползня и их наката на берег.
- При помощи сравнений полученных численных решений между собой, с экспериментальными данными и результатами расчетов других авторов в задаче о накате уединённой волны на плоский откос, а также с аналитическим решением в задаче о разрыве плотины, выбран наиболее работоспособный вариант аппроксимации в точке уреза, выполнены верификация алгоритма и валидация модели для задач с подвижной точкой уреза.
- Выполнено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными на задаче о генерации волн заданным движением клина, возвышающегося над водой, по ровному дну. Наблюдалось хорошее согласие расчётов с экспериментом, что указывает на возможность использование разработанной модели в задачах с образованием волн оползнем.
- Программно реализован алгоритм расчёта схода квазидеформируемого оползня, движущегося под действием сил тяжести, плавучести, сопротивления воды и трения о дно. Эта реализация проверена сравнением результатов выполненных расчетов образования волн сходом подводного оползня в водохранилище с параболической формой дна и вертикальными стенками с результатами расчётов других авторов, получено хорошее согласие результатов и по траектории движения подводного оползня и по образованным волнам.
- Выполнен тестовый расчет наката волны, образованной подводным оползнем в водохранилище с параболической формой дна. Замечено, что в сравнении с постановкой с вертикальными боковыми стенками (без расчёта наката) максимальная высота заплеска образованных волн может быть существенно больше.
- Алгоритм расчета движения оползня адаптирован для надводного случая, проведён тестовый расчёт образования волн надводным оползнем, который показал, что в сравнении с подводным оползнем того же раз мера надводный вариант может генерировать волны на порядок больше.

### **4 Эффект от использования кластера в достижении целей работы**

Использование оборудования ИВЦ НГУ является значимой частью всей работы, позволившей значительно ускорить процесс вычислений за счёт параллельного запуска задач с различными начальными данными и параметрами численного метода.

## **5 Благодарности**

Автор благодарит сотрудников ИВЦ НГУ за оперативную поддержку и предоставленные вычислительные ресурсы, а также научного руководителя О. И. Гусева за руководство работой.

Дата: 14 июня 2025 г.

С. А. Церешко