

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**  
**доктора физико-математических наук, профессора**  
**Эглит Маргариты Эрнестовны**

**на диссертационную работу Романовой Дарьи Игоревны «Трёхмерное математическое моделирование природных склоновых потоков с учетом сложной реологии, турбулентности и захвата подстилающего материала», представленную**  
**на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы»**

Диссертационная работа Дарьи Игоревны Романовой посвящена математическому и численному моделированию природных потоков на склонах гор, таких как снежные лавины, быстрые оползни, сели, потоки, возникающие при прорывах озер. Эти потоки представляют опасность для людей и сооружений в горных районах. Оценки их скоростей и размеров, границ распространения, величин сил, действующих при их ударе о препятствие, а также количества сносимого со склона материала, особенно необходимы при освоении новых территорий, прокладке новых трубопроводов, линий электропередач и дорог, строительстве высокогорных зон отдыха и других объектов. До настоящего времени для получения таких оценок использовались простейшие модели склоновых потоков: весь поток рассматривался как движение материальной точки под действием силы тяжести или как поток сплошной среды, но с применением уравнений гидравлического типа, то есть осредненных по толщине потока и, следовательно, не описывающих внутреннюю структуру потока. В связи с развитием вычислительных методов, измерительной и компьютерной техники появляются возможности создания математических моделей природных склоновых потоков нового поколения, основанных на полных уравнениях механики сплошных сред, без осреднения по толщине. Работа Д.И. Романовой представляет модель такого типа.

В диссертации сформулирована трёхмерная математическая модель склонового потока, учитывающая сложный рельеф склона, неньютоновские реологические свойства движущегося материала, проявляющиеся, в частности, в возможности остановки потока на склоне, турбулентный режим течения, а также разрушение и вовлечение в движение подстилающего материала, что приводит к увеличению массы, скорости, дальности распространения потока и его ударного воздействия на различные объекты. Для расчёта разрушения потоком донного материала сформулирована гипотеза, заключающаяся в том, что разрушение и захват склонового материала происходит, когда второй инвариант тензора вязких напряжений на границе поток — склон достигает некоторого порогового значения, определяемого пределом прочности склонового материала.

Сформулированная модель реализована в открытом свободно распространяемом пакете OpenFOAM в виде решателя avalancheFoam, в который были включены разработанные автором дополнительные модули,



связанные с обработкой цифровой модели рельефа и построения расчётной области для проведения компьютерного моделирования потоков на склонах реального рельефа, с нелинейной реологией материала потока и с вовлечением донного материала. Программный комплекс avalancheFoam позволяет производить расчёты натуральных склоновых потоков на реальном рельефе.

В диссертации проведена валидация разработанного программного комплекса на модельной задаче о потоке на склоне постоянного уклона, подтвердившая сеточную сходимость. Показано, что при движении по длинному склону постоянного уклона с захватом донного материала скорость захвата стремится со временем к константе, что соответствует результатам, полученным аналитически другими авторами. Разработанная модель применена к расчётам снежной лавины в 22-м очаге горы Юкспор (Хибины) и прорыва ледникового озера Малый Азау (Кавказ). По результатам расчётов с помощью решателя avalancheFoam получены значения параметров снежной лавины из 22-го лавинного очага г. Юкспор (Хибины) и проведено их сравнение с документированными данными наблюдений. Для дальности выброса точность составила 96%, для формы лавинных отложений — 80%, для толщины лавинных отложений — 95%. По результатам расчётов возможного прорыва ледникового озера вблизи ледника Малый Азау (Кавказ) в период поздней весны, проведённых с помощью решателя avalancheFoam, получена карта эрозии донного материала, предсказано возможное разрушение левого берега реки Азау прорывным паводком.

Основные научные результаты диссертации получены автором лично, являются новыми и соответствуют мировому уровню. Положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 7 печатных изданиях, 2 из которых изданы в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 2 — в периодических научных журналах, индексируемых RSCI, 1 — в журнале, рекомендованном ВАК, итого в 5 публикациях (объемом 5.5 п.л.) в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук. Также результаты, входящие в диссертацию, докладывались и обсуждались более чем на 10 всероссийских и международных конференциях. Кроме того, полученные результаты докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры гидромеханики, а также на семинаре по механике сплошных сред под руководством академика РАН А.Г. Куликовского, профессора В.П. Карликова, член-кор. РАН О.Э. Мельника, профессора А.Н. Осипцова; семинаре кафедры газовой и волновой динамики под руководством академика Р.И. Нигматулина, профессора Н.Н. Смирнова и профессора А.В. Звягина (механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова), семинаре кафедры аэромеханики и газовой динамики под руководством профессора К.В. Краснобаева, профессора В.В. Измоденова, профессора В.Д. Котелкина, профессора В.Я. Шкадова; на семинаре отдела гидрологии речных бассейнов Института водных проблем РАН под руководством профессора В.В. Беликова.



Диссертация Романовой Дарьи Игоревны является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, содержащей исследование влияния сложной реологии движущейся среды, турбулентного режима течения и захвата донного материала на динамику потока на склоне. В работе сформулирована обобщенная гипотеза о захвате донного материала в трёхмерной постановке. Разработан программный комплекс avalancheFoam, позволяющий производить расчёт натуральных склоновых потоков, таких как снежные лавины, сели, быстрые оползни, прорывы озёр и другие, на реальном рельефе с учётом захвата донного материала, турбулентного режима течения и неньютоновской реологии в трёхмерной постановке.

Диссертационная работа «Трёхмерное математическое моделирование природных склоновых потоков с учетом сложной реологии, турбулентности и захвата подстилающего материала» Романовой Дарьи Игоревны может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости газа и плазмы».

Я, Эглит Маргарита Эрнестовна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук (по специальности 1.1.9),  
профессор кафедры гидромеханики  
механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
(119991, Ленинские горы, дом 1,  
тел.: +7(495)939-39-58, e-mail: [REDACTED])

*Эглит* Эглит М.Э.

Подпись профессора М.Э.Эглит удостоверяю:  
декан механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
член-корреспондент РАН, профессор



Шафаревич А.И.