

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Дроздова Евгения Дмитриевича
на тему: «Моделирование снежного покрова на горных ледниках»
по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате

Диссертация Дроздова Евгения Дмитриевича посвящена разработке и созданию новой специализированной модели снежного покрова SnowDraw, а также её апробации на примере ледников Эльбруса и архипелага Шпицберген.

Актуальность представленной работы не вызывает сомнения. Автор взялся за важную и нужную задачу создания физически обоснованной модели характеристик снежного покрова для улучшения существующих, прежде всего отечественных, математических моделей для нужд фундаментальных научных исследований в области гляциологии. **Практическая значимость**, на взгляд оппонента, обусловлена принципиальным улучшением моделей, которые могут быть использованы для решения прикладных расчётных задач для описания процессов в горных районах, включая оценки рисков снежных лавин, селевых потоков и аналогичных опасных природных явлений. Это крайне важно в свете текущих климатических изменений.

Научная новизна заключается в том, что (1) впервые в России были организованы постоянные автоматические метеонаблюдения в зонах абляции и аккумуляции горного ледника Гарабаши (Эльбрус) на годовом временном масштабе; (2) получены прямые оценки интенсивности метелевого переноса; (3) получены численные оценки интенсивности сублимации ледяных кристаллов при метелях и показано, что этот процесс является значимой компонентой баланса массы горных ледников; (4) представлена новая модель снежного покрова для оценки распределения характеристик снежного покрова на горных ледниках; (5) на основе этой модели получены первые

оценки характеристик снежного покрова за последние 40 лет для Кавказа (на примере Эльбруса) и архипелага Шпицберген (на примере ледника Восточный Грэнфьорд).

Достоверность полученных в настоящей работе результатов обусловлена их предварительным сравнением с данными метеорологических наблюдений при длине выборки более 7000 значений и данными шурфов, а также корректной статистической обработкой и сравнением с ранее опубликованными данными.

Все научные **положения** и выводы представляются вполне **обоснованными и доказанными**. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована её цель, поставлены задачи, обозначены методы, научная новизна и практическая значимость, сформулированы защищаемые положения, приведены сведения об апробации работы и личном вкладе соискателя, а также ряд других общих сведений.

В **первой главе** приводится обширный обзор вопросов моделирования снежного покрова применительно к тематике работы. Он включает в себя характеристику существующих гляциологических моделей общего назначения, а также достаточно детальный обзор методов моделирования снежного покрова, включая основные математические соотношения.

Вторая глава посвящена изложению особенностей снежного покрова в горных районах на примере горы Эльбрус. В ней, помимо физико-географических данных, содержатся метеорологическая характеристика, а также описание методики и аппаратуры их получения. Также в тексте приводятся профили плотности снега, полученные в шурфах. Отдельно рассматривается важный вопрос о возможности использования данных реанализа наиболее современной модели ERA5. Её сравнение для

метеостанции на Скалах Пастухова показывает высокое качество воспроизведения температуры окружающего воздуха этой моделью. Аналогичные сравнения были сделаны для ледника Гарабаши по влажности воздуха и скорости ветра. Результат сравнения также вполне удовлетворительный. Это важные параметры, которые входят в расчёт теплообмена с атмосферой, т.е., применительно к задачам моделирования – к условию на верхней границе расчётной области. Таким образом, результаты анализа автора подтверждают возможность применения ERA5 для широкого круга задач моделирования процессов тепломассопереноса в гляцио-климатологии.

Третья глава, по мнению оппонента, является наиболее важной, поскольку в ней излагается описание модели снежного покрова SnowDraw. Программа написана на языке Fortran 90. Это один из основных языков профессионального программирования математических задач, что обеспечивает эффективность и экономичность ресурсов полученного программного продукта.

В **четвертой главе** описываются результаты тестирования, демонстрирующие положительные стороны модели. Она верифицировалась на множестве данных и везде показывала удовлетворительные результаты. В конце автором делается справедливый вывод о том, что модель снежного покрова SnowDraw показала высокие результаты восстановления температуры поверхности снега при низких затратах вычислительных ресурсов. Таким образом, высокое качество разработанного научного продукта нашло своё документальное подтверждение.

В **пятой главе** приводятся результаты расчётов с применением разработанной модели, а также описание дополнительной верификации. На основании представленных материалов делается обоснованный вывод о том, что SnowDraw целесообразно внедрить в отечественную модель земной системы ARTS-ESM/INMCM.

В **шестой главе** приводятся результаты оценки сублимации ледяных кристаллов при метелях. В ней описывается этот процесс в свете вклада в

тепловой баланс. При этом автор показывает, что применение в созданной модели снежного покрова схемы расчёта затрат тепла на сублимацию ледяных кристаллов при метелях не приводит к значимому изменению температуры поверхности снежного покрова. Однако при этом отмечается, что в зонах аккумуляции процесс метелевой сублимации удаляет 5–10% годовой суммы осадков, что оказывается значимым и указывает на необходимость его учёта в водном балансе снежного покрова высокогорных районов.

В **заключении** перечислены основные результаты исследования и сформулированы выводы.

Замечания по диссертационной работе:

1. Глава 3. В разделах 3.2–3.3 приводится математическое описание модели. В изложении нет чёткости, присущей математическому описанию, поэтому понимание модели затруднено. Множество приводимых в самом начале соотношений (уравнений состояния), которые описывают отдельные параметры, мешает целостному восприятию модели. Обычно делается иначе. Сначала приводятся основные уравнения, чтобы показать картину в целом, и лишь после этого описываются отдельные блоки. Если модель построена на основе фундаментальных законов (т.е. используются уравнения матфизики), то после основных уравнений обсуждаются граничные и начальные условия, затем уравнения состояния (т.е. соотношения, которые описывают входные параметры).
2. Если оппонент понял правильно, для решения краевой задачи (3.4.1) автор применял равномерную сетку. На взгляд оппонента, следовало бы сделать сгущение к верхней границе, и в этом он видит недостаток выбора численного решения. Кроме того, неравномерная сетка позволяет нивелировать проблемы, связанные с формированием и исчезновением снежного покрова как слоя, а также с тонким слоем снега.
3. Из уравнения (3.4.1) также следует, что автором не решается задача Стефана, и, следовательно, не рассматривается процесс таяния снега и

замерзания воды в нём. Если это так, то его модель в этом пункте уступает модели снежного метаморфизма, описанной в работе (Гельфан, Морейдо, 2014). Это требует пояснений. С другой стороны, в соотношениях (3.7.5) и далее учитывается жидкая фаза. Просьба прояснить эту ситуацию.

4. Если рассматривается процесс фирнизации, т.е. уплотнения снега с течением времени, значит, в расчётной области происходят вертикальные движения, т.е. физическое перемещение среды. Но это должно отражаться в уравнении теплопроводности в виде конвективного члена. Автор должен обосновать, почему в уравнении теплопроводности он не учитывает этот процесс.

Помимо замечаний по сути, имеется ряд редакционных замечаний:

1. Не все рисунки хорошего качества. Математические формулы внедрены в текст картинками, что также снижает качество общего текста.
2. Блок-схема модели нечитаема: шрифт мелкий, низкое качество рисунка.
3. Раздел 3.4. Уравнение (3.4.1) не соответствует численному решению, но только благодаря ему понятно, что автор допустил не фундаментальную, а техническую ошибку. Из формулы (3.4.1) фактически следует, что коэффициент теплопроводности постоянен по глубине. Но из конечно-разностной схемы (3.4.5), т.е. численной реализации краевой задачи, следует, что все теплофизические параметры могут меняться с глубиной.
4. В тексте диссертации встречаются грамматические и стилистические ошибки.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате (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. Диссертационное исследование оформлено

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 Дроздов Евгений Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук,
доцент кафедры гидрологии суши
Института наук о Земле
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет»

ПОПОВ Сергей Викторович

«26» августа 2026 г.

Контактные данные:

Тел.: , e-mail: s.popov@spbu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных
ископаемых

Адрес места работы:

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт
наук о Земле, кафедра гидрологии суши
Тел.: +7(812)363-69-39, e-mail: security@spbu.ru

Подпись сотрудника кафедры гидрологии суши Института наук о Земле ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный университет» С.В. Попова удостоверяю:

