

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию Комарова Антона Юрьевича на соискание ученой**  
**степени кандидата географических наук**  
**на тему: «Пространственно-временная изменчивость снежного покрова**  
**в Московском регионе» по специальности 1.6.8 – «Гляциология и**  
**криология Земли» (25.00.31 – «Гляциология и криология Земли»)**

**Актуальность выбранной темы** обусловлена научным интересом к прогнозированию гидрометеорологических характеристик на различные интервалы времени, в частности - к изменениям свойств снежного покрова как компонента климатической системы в связи с процессами глобального потепления, новыми возможностями численного атмосферного моделирования, выполнения и обработки натуральных измерений, в том числе- дистанционных, а также- заинтересованностью в информации о свойствах снежного покрова (включая особенности снегонакопления и скорости снеготаяния) для сельскохозяйственных предприятий, строительных работ, рекреационной деятельности, транспорта в активно развивающемся Московском регионе.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертация А.Ю.Комарова представляет собой многокомпонентное завершенное исследование, сочетающее теоретическую часть, детальный анализ многочисленных данных измерений, описание и результаты апробации предложенного алгоритма моделирования эволюции снежного покрова.

Автор формулирует выводы по результатам исследований каждой главы. Таким образом, все анонсируемые в качестве результатов научные положения и выводы, оказываются правомерно и убедительно обоснованными предшествующим изложением материала.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из Введения, 4-х глав, Заключения, Списка литературы; а также- 5 Приложений, содержащих не

вошедшие в текст рисунки по результатам измерений. Общий объем работы составляет 198 страниц текста (с приложениями), включающего 60 рисунков и 23 таблицы. Список литературы насчитывает 174 наименования.

*Во Введении* излагаются основные сведения о работе. В частности, отмечается актуальность фокусировки работы в контексте исследований пространственной неоднородности снежного покрова для более аккуратной оценки снеготпасов территорий и способов параметрического учета снежного покрова в атмосферных моделях. Также можно отметить активную апробацию результатов диссертационных исследований – их представлению на 19 тематических всероссийских и международных конференциях, авторство и соавторство в почти трех десятках публикаций.

*В Главе 1* автор приводит исторический обзор работ по изучению снежного покрова начиная с 19 века до наших дней. На взгляд Оппонента, обзор представляется излишне подробным при описании работ более чем 50-летней давности (Автору можно порекомендовать оформить материалы этой главы в отдельную публикацию по истории снеговедения).

Важным результатом аналитических исследований данной главы является предложенный метод сравнения существующих классификаций, который позволил Диссертанту привести ряд стратиграфических описаний, выполненных на основе разных классификаций в разные периоды времени, к единым показателям.

*Глава 2* посвящена описанию физико-географических, погодо-климатических характеристик Московского региона, в контексте условий снегонакопления и формирования структуры снежной толщи и выявлением трендов за последние 60 лет. В главе проанализирован обширный материал по данным наблюдений на сетевых метеостанциях Росгидромета и дополнительным данным снегомерных съемок. По результатам анализа временных рядов диссертант делает ряд выводов об изменении условий формирования свойств снежного покрова за последние 15-20 лет в сравнении с предшествующим 30-летним периодом: увеличение изменчивости зимних

погодных условия и параметров снежного покрова на фоне роста средних зимних значений температуры воздуха, повышения количества оттепелей, увеличения доли жидких и уменьшении доли твердых осадков. Это приводит к сокращению продолжительности снегозалегаия (главным образом за счет более позднего формирования устойчивого снежного покрова), формированию большего количества слоев таяния- заморзания и ледяных включений и увеличению межгодовой изменчивости всех характеристик.

Текст имеет редакционные неточности, иногда затрудняющих его понимание. Например, на стр. 62: «абсолютный максимум может достигать 20–30 см» - что имеется в виду? (понятие абсолютный максимум не может включать в себя несколько значений). На стр 61: «Наименьшая высота снежного покрова может достигать в Московском регионе 10–15 см.» ( при рассмотрении периода ноябрь – март минимальная высота должна быть равна нулю). Однако все полученные результаты несомненно, важны, интересны и востребованы как в научном, так и в прикладном аспектах.

*Глава 3* посвящена исследованию влияния местных факторов на строение и свойства снежного покрова. Автор на основе стратиграфических описаний, выполненных в различные годы на ряде территорий в Московском регионе проводит исследования для различных пространственных масштабов – от сотни км до десятком см и показывает, что роль местных особенностей рельефа и растительности может кардинально изменить картину сегозалегаия, свойств снежной толщи, сроков снеготаяния на примерно одинаковом фоне влияния погодных условий синоптического масштаба.

В *Разделе 3.1* приведены результаты сравнения структуры толщи снежного покрова в разных точках Московского региона, включая Обсерваторию МГУ, на безлесных открытых территориях. Показано, что в холодные зимы высота и строение снежной толщи идентичны на всех отобранных участках, однако в годы зим с оттепелями различия в структуре и времени разрушения снежного покрова оказались существенными.

*В Разделе 3.2* рассмотрены особенности структуры снежной толщи для различных видов ТПК – открытого поля, сомкнутого лесного покрова, поляны внутри леса, при одинаковых погодных условиях. Выявлены и получены количественные оценки различий для всего периода снегозалежания. Показана роль полян, как «снеганакопителей» в сравнении с полями и сплошными лесными массивами. При этом в тексте целесообразен более полный анализ метеорологических факторов, приведших к выявленным различиям (автор приводит только фактор ветрового уплотнения, однако также важны различия в потоках солнечной радиационных).

*В Разделе 3.3* рассмотрены закономерности формирования свойств снега внутри лесного ТПК, в зависимости от микрорельефа, вида древесной и травяной растительности, удаленности от крон. Автор приводит множество описаний с попыткой выявить закономерности формирования той или иной структуры снега. Текст отличается детальностью и проработкой каждого случая. При этом, с учетом описанной в данном исследовании огромной изменчивости свойств снега, возникает вопрос о соотношении выводов, полученных в разделе 3.2, когда ТПК «Лес» рассматривался как одна точка – какие измерения, на каком расстоянии от крон легли в основу выявленных закономерностей о различиях снегозапасов между лесом, поляной и полем?

*Раздел 3.4.* посвящен оценке «пространственной неоднородности снежного покрова с применением современных методов исследований». По мнению Оппонента, приведенное название раздела неудачно, поскольку все предыдущие описанные в Диссертации результаты исследований также являются современными (проводились в настоящее время в соответствии с действующими регламентами и применением современных способов обработки результатов). Наиболее важные выводы работ данного раздела имеют методический характер и касаются точности дистанционных измерений с БПЛА, обосновывая возможность получения данных о высоте снега на основе аэрофотосъемки с малой высоты, однако точность которой зависит от метеоусловий и характера верхних слоев снега.

*Глава 4* посвящена вопросам численного моделирования процессов формирования и эволюции снежной толщи. В начале главы приводится обзор «существующих моделей снежного покрова», на основе (Etchevers et al., 2004). Описывая «современные сложные модели снега», Автор использует большинство публикаций более чем 15-летней давности. Очевидно, что при этом ряд важных современных работ остался «за кадром». Среди них - модель снежного покрова (публикация 2009г), разработанная специалистами отдела климатологии ИГРАН (Д.В.Турков, А.Б.Шмакин, А.Ю.Михайлов) на базе указанной в тексте диссертации модели суши SPONSOR, совместные разработки сотрудников географического факультета МГУ и Гидрометцентра России (Е.В.Кузьмина, Е.М.Чурюлин, М.М.Чумаков, В.В.Копейкин, И.А.Розинкина) по математическому моделированию водного эквивалента и плотности снега (модель SNOWE) с использованием данных метеостанций, работы специалистов ИВМ В.И.Лыкосова и Е.В.Володиной (Мачульской). Также не учтен ряд новых зарубежных разработок, например, получившая широкую известность модель снега SNOWPOLINO, предназначенная для использования в задачах численного прогноза погоды. Однако в целом выводы по оценке состояния дел оказываются достаточно верными.

*В Разделе 4.2* Приводится описание предложенного авторского алгоритма модели снега, «позволяющей восстанавливать и прогнозировать строение снежного покрова на основе среднесуточных значений стандартных измерений на метеостанциях, без учета составляющих энергетического баланса». Уникальность и ценность алгоритма заключается в том, что он позволяет на каждом шаге по времени (дискретность 1 сутки) отнести каждый слой снега к тому или иному типу и проследить его эволюцию на протяжении всего периода снегозалегания. На основании анализа метеорологических факторов свежеснег относится также к одному из трех типов: сухого либо влажного свежеснега, либо слоя ветрового уплотнения. Алгоритм, по-сути, представляет собой набор логических правил, однако он учитывает большинство физических процессов,

формирующих свойства снега – накопление, уплотнение, метаморфизм, таяние, замерзание, просачивание влаги, ветровое уплотнение и др.

В *Разделе 4.3* приводятся результаты верификации модели. Для этого Автор реализовал систему визуализации результатов, наглядно показывающую эволюцию слоев различных типов в течение всего сезона. Результаты верификации показали неплохое соответствие измеренным параметрам структуры снежной толщи для зим с различными характеристиками для периодов 1955-65 и 2011-2019гг. Однако были выявлены значительные погрешности определения значений водного эквивалента и высоты снега. Очевидно, что используемые в алгоритме для отнесения слоев к различным классам пороговые значения могут быть в будущем откорректированы на основании численных экспериментов.

*Раздел 4.4* посвящен численным экспериментам по прогнозированию структуры снежного покрова в сценарии повышения среднесуточных значений температуры на 1 градус, что ожидаемо привело к повышению доли слоев таяния- замерзания и сокращения слоев с огранкой.

В *Заключении* сформулированы самые важные результаты работы с формулировкой дальнейших планов Автора. В качестве пожелания, можно добавить в планы калибровку и развитие разработанной модели снега.

**Достоверность полученных результатов** не вызывает сомнения, подтверждаясь многочисленными полевыми измерениями, многие из которых были проведены при непосредственном участии автора.

**Новизна** полученных выводов заключается в следующем:

1. Диссертант провел детальный анализ рядов измерений сетевых метеостанций Росгидромета в пределах Московского региона для зимнего периода за последние 60 лет. На этой основе он выявил связь изменений метеорологических величин (приземной температуры, фазовой структуры осадков) и обусловленных ими характеристик снежного покрова (структуры снежной толщи, времени установления, разрушения, значений и времени достижения максимальной высоты снежного покрова).

2. Впервые выполнено сравнение стратиграфических разрезов снежной толщи исследуемой территории и приведение их к единым классам для возможности сопоставления.

3. Впервые разработана логико-математическая модель эволюции формирования и строения снежной толщи на основе данных стандартных метеорологических наблюдений. Данная модель может быть применена для определения характеристик снежной толщи как в прошлом, так в соответствии со сценариями будущего изменения климата, а также- получать текущие сведения о структуре снежного покрова в различных точках Московского региона и близлежащих территориях со схожим погодным режимом.

4. Впервые произведена оценка возможностей определения высоты снежной толщи в Московском регионе методами дистанционного зондирования на основе фотограмметрического подхода с применением БПЛА.

5. По данным детальных измерений впервые были установлены закономерности пространственного распределения характеристик структуры снежного покрова в лесных массивах и получен ряд количественных оценок.

В качестве редакционных замечаний можно отметить следующее:

- в тексте неоднократно упоминается «важность хороших параметризаций снежного покрова для глобальных климатических моделей». Более правильно использовать термин «в задачах численного моделирования атмосферы для задач прогноза погоды и климата», так как в этом случае будет учтен широкий класс задач регионального моделирования высокой детализации (в настоящее время- до 1 км.

- не совсем корректно употребление термина «Московский регион» для «территории с радиусом 150 км вокруг центра Москвы», термин официально используется для объединенной территории Московской области и г. Москвы.

Указанные в отзыве замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации

соответствует паспорту специальности 1.6.8 – «Гляциология и криология Земли» (25.00.31 – «Гляциология и криология Земли») (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, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Комаров Антон Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.8 – «Гляциология и криология Земли» (25.00.31 – «Гляциология и криология Земли»).

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук,  
заведующая лабораторией ФГБУ «Гидрометцентр России»

РОЗИНКИНА Инна Адольфовна

13.09.2022

Дата подписания

Контактные данные:

тел.: 7(985)9063343, e-mail: [inna.rozinkina@mail.ru](mailto:inna.rozinkina@mail.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена  
диссертация: 04.00.22 – «Геофизика»

Адрес места работы:

123376, г. Москва, ул. Большой Предтеченский переулок, д.13 стр.1

ФГБУ «Гидрометцентр России»

Тел.: 8-499-795-23-59; e-mail: [inna.rozinkina@mail.ru](mailto:inna.rozinkina@mail.ru)

ПОДПИСЬ Розинкина И.А.  
ЗАВЕРЯЮ

И.О. Нач. Отдела кадров  
ФГБУ «Гидрометцентр

Циренцева О.П.  
13.09.2022.