

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Леонова Игоря Ивановича
на тему: «Структура атмосферы при формировании
высокоинтенсивных гололедно-изморозевых отложений»
по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате»

Диссертация И.И. Леонова посвящена комплексному исследованию причин, обуславливающих формирование гололедно-изморозевых отложений различной степени интенсивности, но прежде всего, соответствующих критериям опасных явлений (ОЯ) погоды.

В ежегодных докладах Всемирной метеорологической организации, оценочных докладах межправительственной группы экспертов по изменению климата, оценочных докладах Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации отмечается значительный рост частоты наблюдаемых ОЯ за последние десятилетия, обусловленный динамикой климата. Поэтому продемонстрированный в работе И.И. Леонова значительный положительный тренд повторяемости переохлажденных осадков на территории России, представляющих реальную угрозу для населения, отраслей экономики и хозяйствующих субъектов, подтверждает **актуальность** диссертационного исследования.

Оценка диссертационной работы

Структура диссертации: введение, пять глав, заключение, список литературных источников, ссылки на которые приводятся в работе.

Во введении содержится общая характеристика работы, формулируются цели и задачи исследования, обосновываются необходимые для защиты диссертации атрибуты: актуальность работы, ее новизна, научная значимость, достоверность выводов. Четко обозначены выносимые на защиту положения.

В первой главе диссертации подготовлен традиционный обзор предшествующих публикаций, посвященный физическим и синоптическим условиям формирования гололедно-изморозевых отложений. Выполнена эта часть работы максимально объемно, представлены все (без изъятий) подходы для определения гололедно-изморозевых отложений.

К сожалению, автор не отметил, что эта задача не является простой, ведь терминология переохлажденных осадков, представленная как в литературных источниках, так и в руководящих документах Росгидромета, не позволяет однозначно отличить ледяной дождь от ледяной мороси, а на практике даже опытный наблюдатель затрудняется диагностировать, где сформировалась кристаллическая изморозь, а где наблюдается иней. Отмечу, что в дальнейшем двусмысленность исчезает, поскольку рецензируемая работа посвящена определению структуры атмосферы и синоптических ситуаций, приводящих к отложениям, диаметр которых достигает или превышает пороговые значения ОЯ. Детально представлены и классические, и современные представления о механизмах образования всех видов гололеда и замерзающих осадков как в ситуации со сложной стратификацией атмосферного воздуха, так и в полностью холодной атмосфере. Вполне уместно автор проводит аналогию между отечественными и англоязычными терминами.

При анализе литературных источников И.И. Леонов оправданно выделяет два направления, описывающие условия формирования гололедно-изморозевых отложений. Первое направление отражает процессы синоптического масштаба над равнинными территориями, приводящие к формированию отложений, второе – мезометеорологические процессы в районах со сложной орографией.

В завершение этой главы Игорь Иванович приводит исследования последних 10-15 лет, связанные с количественным определением типов и интенсивности замерзающих осадков. Объединение этих работ термином «численные модели» не вполне оправдано. Действительно, вычислительные

эксперименты на базе мезомасштабных моделей, соответствующие понятию численного моделирования, демонстрируют перспективность этого направления. Но другие перечисленные алгоритмы диагностики и прогнозирования физических условий, приводящих как к внутриоблачному, так и поверхностному обледенению, не требуют использования методов приближенного интегрирования уравнений гидродинамики.

Во второй главе описаны и проанализированы используемые для исследования данные наблюдений (ручных, автоматизированных и дистанционного зондирования), а также данные самого совершенного в настоящее время реанализа ERA5.

Считаю важным отметить, что более полного специализированного архива на базе государственной наблюдательной сети Росгидромета, комплектов наблюдений коммерческих метеорологических организаций, банков данных зарубежных структур, не существует. Трудоемкая, методически грамотная работа создания удобной базы данных в последующем позволила автору:

- а) осуществить разнообразный пространственный и временной статистический анализ как сложных зимних отложений, так и факторов, их обуславливающих;
- б) проводить вычислительные эксперименты;
- в) формулировать предположения и выводы, а также верифицировать их в последующих разделах диссертации.

Инструментальные наземные наблюдения, а также данные дистанционного зондирования не всегда позволяют детально проанализировать условия формирования и развития изучаемых объектов. Поэтому в исследования были вовлечены данные реанализа ERA5, позволяющие с хорошим временным разрешением описывать состояние атмосферы, что особенно важно для адекватного представления метеорологических характеристик в регионах с невысокой плотностью наблюдательной сети. Кроме того, данные реанализа использовались в

качестве начальных и краевых условий для старта мезомасштабной модели. Вычислительные эксперименты на основе модели WRF-ARW по воспроизведению обледенения при различных конфигурациях модели и в блоках микрофизики также представлены во второй главе.

Этот раздел диссертации дает полнокровное представление об использованной технике подготовки архивов, аналитических, статистических методах обработки этих архивов, а также методологии синоптических подходов и численных экспериментов для анализа особенностей формирования гололедных отложений большой интенсивности.

Естественным продолжением работы являются представленные в **третьей главе** результаты применения описанных выше методологий. Статистическая обработка плотности всех видов отложений позволяет четко дифференцировать их отличие, особенно в случае высокоинтенсивных отложений. Единственное исключение – небольшие отличия плотности зернистой изморози и мокрого снега. В этом случае диссертант предлагает (вполне оправданно) использовать для диагностики не плотность, а диаметр отложения.

Результатом применения методов математической статистики является пространственное распределение всех видов гололедно-изморозевых отложений. Их картированное представление дает новые сведения о районировании отложений; их региональной вероятности. Оказывается, на территории страны наиболее часто фиксируется кристаллическая изморозь. Однако пространственное распределение высокоинтенсивных отложений демонстрирует преобладание сильного гололеда и мокрого снега, достигающего критерия ОЯ.

С научной и методической точек зрения в третьей главе наиболее интересен проведенный диссертантом анализ метеорологических условий формирования гололедно-изморозевых отложений.

Анализируется состояние приземного слоя воздуха:

- а) в начальный момент образования отложений;
- б) фазы нарастания гололедно-изморозевых отложений.

Существовавшие до сих пор качественные представления получили количественное подтверждение. А именно: формирование гололеда, соответствующего критерию ОЯ, в начальный момент времени связано с сильным ветром; опасные отложения изморози и мокрого снега связаны с большой интенсивностью этого вида осадков и, как следствие, обусловлены прохождением атмосферных фронтов глубоких циклонов. Продолжительность фазы нарастания наиболее значимо влияет на диаметр зернистой и кристаллической изморози и др.

Многоаспектность исследования условий формирования гололедно-изморозевых отложений подтверждается глубоким синоптическим анализом причин возникновения и развития экстремальных характеристик этих явлений. Содержание каждого case study представлено **в четвертом разделе** диссертации.

Для случаев рекордно сильного гололеда выделена главная особенность: вблизи верхней границы пограничного слоя температура воздуха положительная, а выше и ниже – отрицательная. Такая необычная температурная стратификация обусловлена крупномасштабным процессом выхода глубокого южного циклона.

При анализе синоптических условий формирования опасных отложений зернистой изморози И.И. Леонов приходит к выводу, что начало и последующая интенсификация этого явления обусловлены атмосферными процессами существенно меньшего масштаба, особенно в горных районах.

Проанализированные в работе случаи образования экстремальных отложений мокрого снега свидетельствуют о высокой культуре синоптического анализа диссертанта. Все возможные факторы, влияющие на начало и динамику этого вида опасных отложений глубоко и детально проанализированы. Отмечу, что детальность должна иметь границы, не

нужно объяснить, на стр. 85, что 20-ти градусный контраст температуры соответствует девяти изотермам, кратным 2.

В пятой главе представлены результаты гидродинамического моделирования экстремальных отложений: замерзающих осадков, зернистой изморози, мокрого снега. Результаты каждого эксперимента подробно проанализированы и верифицированы. Общий вывод – модель WRF вполне адекватно воспроизводит температурный режим тропосферы в период формирования замерзающих осадков. Продемонстрированы эффекты влияния городского острова тепла на диаметр отложений. Приведены оценки моделирования как метеорологических характеристик (температуры, ветра, влажности), так и размера гололеда.

Аналогичные результаты приводятся и для двух других видов экстремальных отложений. Важно отметить, что результаты моделирования существенно дополняют и детализируют выводы синоптического анализа ситуаций, описанных в предшествующей главе. Очень интересно сопоставление выходной продукции модели, ERA5 и фактических данных. Продемонстрирована более высокая достоверность результатов, воспроизведенных моделью, по сравнению с реанализом.

Замечания по итогам этой главы сводятся к следующему. Автор отмечает зависимость качества выходной продукции от разрешения моделей. Но ведь улучшение разрешения (шаг сетки уменьшается от 18 км до 667 м) связано с описанием и включением новых физических факторов, представлением в модели более сложных атмосферных процессов, прежде всего, негидростатических. Этот вопрос в диссертации не обсуждается.

Во-вторых, хорошо известна следующая проблема. При моделировании негладких метеорологических параметров происходит увеличение ошибок при уменьшении шага по сетке за счет так называемых двойных штрафов.

В приведенных экспериментах по воспроизведению гололеда этот эффект отсутствует, что целесообразно было бы обсудить в работе. С моей

точки зрения, наиболее вероятное объяснение – недостаточный объем выборки.

Еще одно замечание. Автор справедливо отмечает, что успешность воспроизведения массы отложений зернистой изморози существенно повышается при улучшении разрешения. Но даже при сеточном шаге 667 м фактические и модельные значения отличаются в 5-15 раз. Объяснение этого различия было бы уместно в тексте диссертации.

Научная новизна работы обусловлена следующими позициями.

1. Впервые исследовано и представлено распределение по территории России гололедно-изморозевых отложений, достигающих критериев ОЯ.

2. Впервые проведен анализ как макромасштабных синоптических процессов, так и выходной продукции модели атмосферной циркуляции для ограниченной территории для представления метеорологических условий, способствующих началу и интенсификации гололедно-изморозевых отложений в целом и опасных, в частности.

3. Впервые продемонстрирована значимость моделирования мезомасштабных процессов для адекватного описания экстремальных гололедно-изморозевых отложений, в особенности для регионов со сложной орографией.

4. Впервые получены количественные оценки дифференцированных метеорологических условий формирования отдельных видов высокоинтенсивных отложений (гололеда, зернистой изморози и мокрого снега).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием огромного объема гидрометеорологической информации из всех доступных (но надежных) источников, отличными профессиональными знаниями автора, применением в работе современных методов синоптического анализа и математической статистики, вычислительными экспериментами на основе мезомасштабного атмосферного моделирования, апробацией работы на международных и

всероссийских метеорологических форумах, широким опубликованием основных результатов диссертационной работы в профессиональных изданиях.

Считаю целесообразным отметить высокий уровень выполненного И.И. Леоновым исследования, которое значительно расширяет существующие знания о климатологии гололедно-изморозевых отложений и условиях формирования каждого вида опасных (экстремальных) отложений. С учетом того факта, что разработанность технологии прогноза сложных зимних отложений заметно уступает аналогичным технологическим прогностическим линиям других видов ОЯ, полагаю, что результаты оппонируемой диссертационной работы могут быть востребованы в учреждениях Росгидромета.

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 1.6.18 – «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, и оформлена согласно приложениям № 8, 9 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Леонов Игорь Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент,
научный руководитель
ФГБУ «Гидрометеорологический
научно-исследовательский центр
Российской Федерации»

ВИЛЬФАНД Роман Менделевич _____ 15 мая 2023 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(499)795-22-33, e-mail: vilfand@mecom.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
20.02.09 – «Гидрометеорологическое и геодезическое обеспечение боевых действий войск»

Адрес места работы:

123376, г. Москва, Бол. Предтеченский пер., д. 13, стр. 1,
ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации»

Тел.: +7(499)252-34-48, e-mail: hmc@mecom.ru

Подпись: *Вильфанд Роман Менделевич*

3/

И.о. Н.
Ф

Сизова И.Т.