

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»

Актуальность выбранной темы диссертационного исследования несомненна. На фоне изменения климата и увеличивающегося количества опасных явлений погоды, к которым относятся высокоинтенсивные гололедно-изморозевые отложения, возникает необходимость изучения структуры атмосферы – взаимосвязи синоптических, мезометеорологических и микрофизических процессов, приводящей к образованию опасных явлений данного типа.

К новизне следует отнести проведение анализа трехмерной структуры атмосферы в период формирования гололедно-изморозевых отложений высокой интенсивности с использованием синоптического анализа и данных мезомасштабного моделирования с высоким пространственным разрешением; построение карт количества гололедно-изморозевых и высокоинтенсивных отложений на территории России за 1985-2020 гг.

Результаты, полученные в работе, вносят определенный вклад в понимание физики возникновения и развития высокоинтенсивных гололедно-изморозевых отложений. Возможность построения пространственных и временных разрезов тропосферы с помощью гидродинамической модели атмосферы WRF-ARW (которая успешно прогнозирует температуру воздуха на 48 часов) позволит уточнять прогноз замерзающих осадков. Все результаты работы получены автором лично или в соавторстве.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается достаточным количеством статей в рецензируемых российских и зарубежных

научных изданиях и участием соискателя в российских и международных конференциях.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав с 19 разделами, заключения, списка использованных источников, состоящего из 111 наименований, в том числе 54 на иностранном языке. Содержание работы изложено на 178 страницах машинописного текста, включая 100 рисунков и 19 таблиц. В конце каждой главы представлены выводы.

В 1 главе «Гололедно-изморозевые отложения: общие понятия, теории и современные исследования» приводятся соответствующие синонимы опасных гололедно-изморозевых явлений в англоязычных терминах, применяемые в международной синоптической и авиационной практике; подробная классификация гололедно-изморозевых отложений, включая генетико-морфологическую. Рассматриваются наблюдения за гололедно-изморозевыми отложениями; синоптические условия формирования отложений. В этом разделе автор указывает на то, что работ, посвященных условиям формирования высокоинтенсивных гололедно-изморозевых отложений немного, а существующие работы чаще всего рассматривают последствия прохождения ледяных штормов, а не механизмы их формирования. Связано это, в первую очередь, с тем, что такие явления считаются довольно редкими на территории России. Представлена климатология гололедно-изморозевых отложений, подчеркивается важность проблемы методологии наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями, в том числе проводимыми на автоматических метеорологических станциях. Оценивается влияние региональных процессов на формирование отложений и возможности применения численного моделирования для исследования гололедно-изморозевых отложений

В главе 2 «Материалы и методика исследования» описываются параметры, наблюдаемые в момент начала обледенения, так как именно они определяют благоприятные условия формирования гололедно-изморозевых отложений различных видов и интенсивности; приводится подробное

описание методики определения параметров (диаметр, толщина и масса) гололедно-изморозевых отложений на метеорологических станциях и рассматривается оригинальная методика вычисления плотности этих отложений; указывается на важность использования результатов численных экспериментов, проведенных с использованием мезомасштабной модели WRF-ARW в анализе механизмов формирования высокоинтенсивных отложений. Соискатель обосновывает выбор для своих исследований модели WRF-ARW, современной мезомасштабной системы численного прогноза погоды. Выбор именно этой модели обусловлен тем, что исходный код модели находится в свободном доступе, и может быть установлен на персональный компьютер, в связи с этим эксперименты могут проводиться самостоятельно и независимо. К тому же данная модель имеет широкий диапазон выбора начальных данных, настроек запуска и инструментов для обработки полученных расчетов. В подразделе «Конфигурация численных экспериментов» описываются: алгоритм расчетов; включение начальных и граничных условий для запуска численных экспериментов (использовались данные реанализа ERA5 с шагом по пространству $0,25^\circ$); область интегрирования для воспроизведения гололеда и зернистой изморози (она имеет четыре расчетных домена с шагами по пространству от 18 до $0,667$ км). В экспериментах по воспроизведению гололедно-изморозевых отложений наибольшее значение имел выбор параметризации микрофизики и пограничного слоя атмосферы, для чего использовалась двухмоментная схема NSSL, включающая в себя расчет семи типов гидрометеоров: в виде водяного пара, облачных капель, дождя, снега, льда, крупы и града. Модель запускалась на 72-120 часов для каждого высокоинтенсивного отложения с дискретностью в один час. Показано, что методика исследования в диссертационной работе предусматривала верификацию результатов численных экспериментов с фактическими данными с гололедных станков.

В главе 3 «Гололедно-изморозевые отложения на территории России» представлены результаты исследования пространственного

распределения гололедно-изморозевых и высокоинтенсивных отложений на территории России и метеорологических условий их образования, полученные по данным инструментальных наблюдений за 1985-2020 гг. Повторяемость тех или иных видов отложений объясняется И.И. Леоновым с позиций циркуляционных и физико-географических особенностей различных регионов нашей страны. При рассмотрении метеорологических условий образования гололедно-изморозевых отложений соискателем построены дифференциальные функции распределения температуры воздуха и скорости ветра в момент начала обледенения, функции распределения продолжительности фазы нарастания обледенения и диаметра отложения, а также диаграммы рассеяния для гололедно-изморозевых явлений, которые являются наглядными и информативными. Автор указывает на то, что в качестве критерия опасности в типовом перечне опасных и неблагоприятных явлений погоды принят диаметр отложения, хотя фактически на опасность гололедно-изморозевых отложений влияет их масса, зависящая от плотности отложения. В разделе 3.3 представлены результаты оценки плотности гололедно-изморозевых отложений различных видов. Опираясь на полученные в работе значения плотности гололеда Игорь Иванович указывает на то, что среднее значение плотности составляет 492 кг/м^3 (наиболее часто от 275 до 656 кг/м^3), в то время как по литературным данным плотность гололеда часто принимается близкой к 900 кг/м^3 . Объясняется это, в первую очередь тем, что за плотность гололеда часто принимается плотность чистого льда, а во-вторых, несовершенством метода расчета по величине диаметра и толщины отложения и погрешностью в расчетах из-за неточностей в измерении диаметра отложений. Соискатель полагает, более целесообразно считать опасными отложения зернистой изморози и мокрого снега, достигающие диаметра 35 мм . В то время как, для кристаллической и для зернистой изморози критерием опасного явления в настоящее время является диаметр 50 мм .

В главе 4 «Результаты синоптического анализа» представлен синоптический анализ случаев высокоинтенсивных отложений отдельно для гололеда, зернистой изморози и мокрого снега на территории Российской Федерации. Детально изучено развитие атмосферных процессов, вызвавших образование отложений с привлечением всего имеющегося материала (аэрологические данные, синоптические карты приземные и высотные, данные реанализа) рассмотрены случаи выпадения замерзающих дождей в декабре 2010 и ноябре 2016 года в Центральной России, в ноябре 2020 года в Приморском крае; условия формирования зернистой изморози на территории горного массива Рай-Из в Ямало-Ненецком автономном округе; случаи образования высокоинтенсивных отложений в виде мокрого снега на примере трех, произошедших на Дальнем Востоке и на территории Большого Кавказа. При анализе развития процессов образования замерзающих отложений автор указывает на один из отличительных признаков возникновения опасных отложений - двухстороннюю адвекцию температуры, проявляющуюся в аномальном искривлении изотерм в подфронтальной холодной воздушной массе, что определяет протяженность зоны гололедных явлений теплого фронта.

В главе 5 «Результаты численного моделирования», рассмотренные в предыдущих главах метеорологические и синоптические условия возникновения высокоинтенсивных гололедно-изморозевых отложений, воспроизводятся с помощью численных экспериментов с использованием атмосферной модели WRF-ARW; рассматриваемые метеорологические поля имеют более высокое пространственно-временное разрешение. Несомненно, наибольший интерес представляют вертикальные разрезы тропосферы, которые позволяют, с большей точностью по сравнению с аэрологическими данными, оценить температурно-влажностное состояние атмосферы до высоты 5 км. Так, в результате эксперимента было воспроизведено состояние атмосферы во время ледяного шторма 2020 года в Приморском крае (из-за сильного обледенения не проводилось радиозондирование и не измерялся

ветер) и получено поле максимального диаметра гололедных отложений (в результате постпроцессинга выходных данных модели WRF-ARW). Относительно высокое пространственное разрешение модели позволило воспроизвести процесс гололедообразования высокой интенсивности на о. Русский. Полученные результаты неплохо согласуются с фактической картиной развития и последствий «ледяного шторма» (обледенение проводов линий электропередачи, различных вертикальных поверхностей, ветвях деревьев и вантах моста через пролив Босфор Восточный), об этом свидетельствуют многочисленные фотографии жителей города Владивосток. В целом, данные моделирования состояния атмосферы с помощью модели WRF-ARW хорошо описывают реальную наблюдаемую картину временного хода скорости и направления ветра, адвекции температуры; пространственное распределение максимального диаметра отложений гололеда.

Во время проведения численных экспериментов были также воспроизведены мезомасштабные условия атмосферной циркуляции, приводящие к формированию отложений зернистой изморози - данные показали, что модель WRF-ARW воспроизводит направление ветра намного точнее, чем реанализ ERA5. Увеличение разрешения моделирования до 667 м позволяет более точно описать рельеф и, как следствие, воспроизвести мезометеорологические процессы. Важным результатом является близкое к данным наблюдений смоделированное время начала обледенения, в первую очередь, необходимое для предупреждения негативных воздействий на хозяйственную деятельность человека. Успешное воспроизведение времени начала обледенения было получено и для не столь интенсивных случаев образования зернистой изморози в городах Надым и Новый Уренгой, произошедших в январе 2016 года.

В заключении приведены основные выводы, которые указывают на отличительные особенности состояния трехмерной структуры атмосферы во

время возникновения и развития разных типов высокоинтенсивных гололедно-изморозевых отложений.

Замечания. При оппонировании диссертационной работы были отмечены некоторые неточности, замечания, которые носят в основном редакционный характер:

- не совсем детально объяснены на рис. 1.1б возможные типы осадков на теплом атмосферном фронте – стр.19;
- формула 2.3, приведенная на стр.58 (коэффициент ослабления E) повторяет формулу 1.5, помещенную на стр. 40;
- формула 1.7 (стр.41) идентична формуле 2.5 (стр.58);
- в таблице 3.5 – Параметры выборок рассчитанной плотности гололедно-изморозевых отложений – не указаны единицы измерения плотности (стр.80);
- на рис. 4.18 и 4.20 (стр.98 и 100) отсутствуют изотермы на AT_{850} , что не подтверждает утверждение в тексте о том, что температуры на AT_{850} – были положительными.
- по экспертной оценке сотрудников департамента наук о Земле ДВФУ, модель WRF-ARW воспроизвела несколько завышенную площадь выпадения гололеда с максимальным диаметром. Возможно, увеличение разрешения моделирования до 667 м позволило бы учесть сложный рельеф, значительно влияющий на распределение опасного гололеда.

Вместе с тем 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 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.

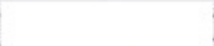
Таким образом, соискатель **Леонов Игорь Иванович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

Официальный оппонент:

кандидат географических наук, доцент,
доцент департамента наук о Земле
Института Мирового океана
ФГАОУ ВО «Дальневосточный
федеральный университет»

ВАСИЛЕВСКАЯ Любовь Николаевна  «17» апреля 2023 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(), e-mail: vasilevskaya.ln@dvfu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
11.00.09 – «Метеорология, климатология, агрометеорология»

Адрес места работы:

690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10,
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Институт
Мирового океана, департамент наук о Земле

Тел.: +7(800)550-38-38, e-mail: rectorat@dvfu.ru

Подпись сотрудника департамента наук о Земле Института Мирового океана ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» Л.Н. Василевской удостоверяю:





lvz