

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное
учреждение высшего образования «Военно-космическая академия
имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации

На правах рукописи

Козлова Наталья Александровна

ОЦЕНИВАНИЕ РЕСУРСОВ ОБЛАЧНОСТИ
НАД ЦЕНТРАЛЬНЫМ РАЙОНОМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ В ЗАДАЧАХ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Специальность: 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном военном образовательном учреждении высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации.

Научный руководитель: **Ефременко Александр Николаевич,**
кандидат технических наук, ФГБВОУ ВО
«Военно-космическая академия имени
А.Ф.Можайского» МО РФ

**Официальные
оппоненты:** **Федченко Людмила Михайловна,**
доктор географических наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГБУ
«Высокогорный геофизический институт»,
г. Нальчик.

Колосков Борис Павлович,
доктор физико-математических наук,
ведущий инженер по активным воздействиям
на гидрометеорологические процессы,
АНО «Агентство атмосферных технологий»,
г. Москва

Ведущая организация: АО «Государственный научно-
исследовательский навигационно-
гидрографический институт», г. Санкт-
Петербург

Защита состоится «__» _____ 2019 г. в __ часов __ минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр.,98, тел. (812) 633-01-82, 372-50-92.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Российского государственного гидрометеорологического университета.

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу 192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, дом 79. Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д.212.197.01, Ученому секретарю.

Автореферат разослан «__» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м.н., доцент

Л. В. КАШЛЕВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В последние годы в России отмечается рост на 6-7% в год опасных явлений погоды (ОЯП), нередко приводящих к гибели людей и наносящих ущерб экономике страны, оцениваемый в среднем около 1% ВВП. Ежегодно в Российской Федерации отмечается 400-500 чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с ОЯП.

Среди неблагоприятных погодных явлений особое место занимают облака, с которыми связаны такие опасные ОЯП как: град, гроза, сильные ливни, паводки, наводнения и др., наносящие большой материальный ущерб.

В связи с вышеизложенным актуальной является задача по поиску и практическому внедрению методов и средств, позволяющих устранить или в значительной мере снизить негативное влияние на деятельность человека ОЯП, связанных с облаками различных форм. В последние десятилетия для этих целей все чаще стали использоваться методы и средства воздействия на атмосферные процессы и явления, и, прежде всего, на облака и туманы.

Теоретические основы воздействия на облака и туманы были заложены в начале XX века (1911-1937 гг.) А. Вегенером, Т. Бергером, В. Финдайзеном, И. Лэнгмюром. В нашей стране первые лабораторные эксперименты по воздействию на облака заряженными частицами песка были проведены в 1921-1924 гг. В.И. Виткевичем. В 30-е годы проводились работы по предотвращению заморозков, гроз, рассеянию туманов и облачности.

Регулярные опыты по воздействию на облака с применением в качестве реагента твердой углекислоты стали проводиться в СССР в 1948 г. Никандровым В.Я. и Чуевым Д.П.

В эти же годы Федоровым Е.К., Никандровым В.Я., Шишкиным Н.С., Качуриным Л.Г., Морачевским В.Г., Сулаквелидзе Г.К. и другими учеными в нашей стране, а также Ж. Хаугтоном, Ж. Симпсоном, В. Шефером, Б. Воннегатом, А. Деннисом и другими зарубежными учеными выполнены теоретические и экспериментальные исследования по проблеме воздействия на облака и туманы.

В советский период работы в данной области проводились в таких организациях, как: Главная геофизическая обсерватория (ГГО) имени А.Ф. Воейкова, Институт прикладной геофизики (ИПГ), Институт экспериментальной метеорологии (ИЭМ) (ныне НПО «Тайфун»), Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО), Высокогорный геофизический институт (ВГИ), Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (НИГМИ), Закавказский НИГМИ, Среднеазиатский НИГМИ, Казахский НИГМИ. Развал СССР привел к значительному ослаблению научных и творческих связей, резкому сокращению фронта экспериментальных исследований и натурных экспериментов, а также существенному сокращению финансирования и др.

Однако с конца XX - начала XXI веков наметились определенные положительные тенденции в области воздействия на облака и туманы как в теоретическом, так и в экспериментальном плане: проведены работы по созданию благоприятных погодных условий над рядом крупных городов как в России (Москва, 1995, 1997), (Ставрополь, 1997), (Санкт-Петербург, 2003), (г. Казань, 2005), так и в странах ближнего зарубежья (Ташкент, 1998, 1999, 2002 г.), (Алма-Аты, 2002, 2003 г.), а также и за рубежом (Сирия, 1999-2000 г.), (Иран, 1991-2001 г.), (Куба), (Португалия) с участием российских ученых.

Организованы и проведены в России ряд Всероссийских научных конференций по воздействию на гидрометеорологические и геофизические процессы (например, в Нальчике, ВГИ в 2001, 2002, 2007, 2008, 2011, 2014, 2017 гг., в Санкт-Петербурге, ВКА имени А.Ф.Можайского в 2012, 2014, 2016, 2018 гг.).

За период с 1990 по 2018 годы успешно защищены ряд докторских (Аджиев А.Х., Мазуров Г.И., Эмба Я.А., Шаповалов А.В., Колосков Б.П., Малкарова А.М., Козлов В.Н., Абшаев М.Т., Шаповалов В.А.) и кандидатских (Федоров О.К., Корнеев В.П., Мамучиев И.М., Шереметьев Р.В., Клейменова А.В., Петрунин А.М., Бычков А.А., Частухин А.В.), посвященные разным аспектам воздействия на облака и туманы (разработке технических и химических средств и методов, математическому моделированию распространению частиц химических реагентов в атмосфере и в облаках и др.).

Вместе с тем, до настоящего времени не выполнено исследований по разработке методов оценивания ресурсов облаков различных форм к воздействию с различными целями в конкретных физико-географических районах (ФГР) России. То есть налицо проблемная ситуация, заключающаяся в необходимости проведения работ по воздействию на облака различных форм в конкретных ФГР России и несовершенстве подходов оценивания ресурсов облачности к воздействию с различными целями (вызывание (интенсифицирование) осадков, рассеяние (стабилизация) облачного покрова).

В силу вышеизложенного актуальность темы диссертационной работы определяется:

- необходимостью выявления закономерностей в распределении характеристик облаков различных форм (расслоенность, фазовая структура, водность и водозапас) в конкретных ФГР страны применительно к проблеме активных воздействий;
- необходимостью устранения (или снижения в значительной мере) негативного влияния связанных с облаками ОЯП на хозяйственную деятельность человека;
- возможностью решения широкого круга хозяйственных и экологических задач при воздействии на облака различных форм;
- необходимостью снижения ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера путем воздействия на облака различных форм в конкретном физико-географическом районе;
- необходимостью повышения качества метеорологического обеспечения хозяйственной деятельности страны за счет расширения диапазона метеорологических условий, поддающихся контролю путем воздействия на облака различных форм;
- возможностью получения экономического эффекта от внедрения в практику метеорологического обеспечения хозяйственной деятельности страны методов и средств воздействия на облака различных форм.

Исходя из этого, **цель** диссертационной работы заключается в оценивании ресурсов переохлажденной облачности¹² над центральным районом Европейской территории России (ЦР ЕТР) применительно к проблеме воздействия на них с определенной целью в интересах решения хозяйственных и экологических задач.

¹ Ресурсность облачности к воздействию – совокупность определенных характеристик различных форм в конкретном физико-географическом районе, позволяющих получать количественные оценки пригодности к воздействию с намеченной целью в интересах решения прикладных задач.

² В диссертации в качестве переохлажденной облачности рассматривается совокупность переохлажденных волнистообразных (только слоистых (St) и слоисто-кучевых (Sc)), слоистообразных (только слоисто-дождевых (Ns) и высоко-слоистых (As)) и конвективных (только мощно-кучевых (Cusong.)) облаков, наблюдающихся над заданным районом.

Для достижения поставленной цели в диссертации поставлены и решены следующие частные задачи исследования:

1. Выполнить анализ современного состояния исследований в области разработки методов и средств воздействия на облака различных форм.

2. Сформировать базу данных для исследования характеристик переохлажденной облачности над ЦР ЕТР применительно к проблеме воздействия на нее на основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы (СЗА) ТАЭ-7,7м за 1954-1964 гг. над аэропортом Внуково.

3. Выявить основные закономерности в распределении характеристик облаков различных форм (расслоенность, фазовая структура, водность и водозапас) применительно к проблеме воздействия (на примере ЦР ЕТР).

4. Получить количественные оценки пригодности переохлажденной облачности к воздействию с различными целями и рассмотреть закономерности распределения таких оценок над ЦР ЕТР.

5. Разработать комплекс методик по воздействию на переохлажденные волнистообразные, слоистообразные и конвективные облака с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния облачного покрова для решения прикладных задач.

6. Разработать научно-обоснованные рекомендации по применению методов и средств воздействия на переохлажденную облачность в интересах решения хозяйственных и экологических задач.

В качестве **объекта исследования** в диссертации рассматриваются облака различных форм естественного происхождения.

Предметом исследования являются характеристики облаков различных форм, определяющие возможность воздействия на них с определенной целью.

Научная задача: разработка научно-методического аппарата оценивания ресурсов переохлажденных облаков различных форм к воздействию.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней:

- выявлены основные закономерности в распределении характеристик волнистообразных и слоистообразных облаков (расслоенность, фазовая структура, водность и водозапас) применительно к проблеме воздействий на них на основе статистической обработки материалов СЗА над ЦР ЕТР;

- впервые получены количественные оценки пригодности к воздействию переохлажденных волнистообразных, слоистообразных и конвективных облаков, с целью вызывания искусственных и интенсифицирования естественных осадков, а также с целью рассеяния (стабилизации) облачного покрова в интересах решения прикладных задач;

- разработан комплекс методик по воздействию на переохлажденные волнистообразные, слоистообразные и конвективные облака с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния облачного покрова для решения прикладных задач;

- разработан метод определения водозапаса волнистообразных облаков без данных о водности для ЦР ЕТР применительно к проблеме воздействия в интересах решения хозяйственных и экологических задач.

Теоретическая значимость исследований заключается в развитии теоретических основ метеорологического обеспечения хозяйственной деятельности страны в части повышения качества за счет применения средств воздействия на облака различных форм.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в следующем:

- полученные в работе статистические данные о характеристиках волнистообразных и слоистообразных облаков (расслоенность, фазовая структура, водность и водозапас) могут быть использованы для уточнения моделей облачной атмосферы над Центральным районом ЕТР;

- полученные в работе количественные оценки пригодности к рассеянию волнистообразных и слоистообразных облаков и к разрушению конвективных облаков, а также оценки пригодности к вызыванию (интенсифицированию) осадков волнистообразных, слоистообразных и конвективных облаков позволяют, без предварительного проведения экспериментов, оценить целесообразность и необходимость проведения натурных экспериментов в данном районе;

- разработанные в диссертации методики по воздействию на волнистообразные, слоистообразные и конвективные облака могут быть использованы для решения широкого круга хозяйственных и экологических задач (очищение воздушного бассейна мегаполиса от загрязняющих веществ, тушение (профилактика возникновения) лесных пожаров, проведение поисково-спасательных работ и др.).

Методы исследования: в работе использованы методы теории вероятностей и математической статистики, теории эффективности целенаправленных процессов, физики атмосферы и метеорологии.

Обоснованность полученных в диссертационной работе результатов исследований обусловлена всесторонним анализом предшествующих научных работ в области воздействия на облака и туманы, корректностью постановки научной задачи исследования, строгостью принятых допущений и ограничений, аргументированностью исходных положений, логической непротиворечивостью рассуждений, а также корректным использованием современного математического аппарата.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается согласованностью полученных результатов и сделанных выводов с некоторыми частными результатами других авторов, фундаментальными теоретическими положениями и имеющимся эмпирическим материалом, а также широкой апробацией на научных конференциях разного уровня и их реализацией в ряде организаций страны.

Результаты исследований **реализованы** в ВКА имени А.Ф.Можайского, в учебном процессе и двух НИР.

Имеется соответствующий акт о реализации результатов диссертационной работы соискателя.

На задачу выносятся:

1. Закономерности в распределении характеристик волнистообразных и слоистообразных облаков над ЦР ЕТР применительно к проблеме воздействия на них.

2. Оценки пригодности переохлажденных волнистообразных, слоистообразных и конвективных облаков к воздействию с целью вызывания искусственных и интенсифицирования естественных осадков, а также к рассеянию (стабилизации) облачного покрова (на примере ЦР ЕТР).

3. Комплекс методик по воздействию на переохлажденные волнистообразные, слоистообразные и конвективные облака с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния облачного покрова для решения прикладных задач.

4. Научно-обоснованные рекомендации по применению методов и средств воздействия на переохлажденную облачность в интересах решения хозяйственных и экологических задач.

Личный вклад автора.

Постановка научной задачи и выбор методов исследования осуществлены совместно с научным руководителем.

Личный вклад автора состоит в создании базы данных для исследования характеристик переохлажденной облачности над ЦР ЕТР применительно к проблеме воздействия на нее на основе обработки материалов СЗА (обработано 5873 подъемов самолетов-зондировщиков), а также в статистической обработке характеристик волнистообразных и слоистообразных облаков (расслоенность, фазовое состояние, водность и водозапас и др.). Соискателем разработан комплекс методик по воздействию на переохлажденные волнистообразные, слоистообразные и конвективные облака с целью вызывания (интенсифицирования) и рассеяния облачного покрова для решения прикладных задач и получены количественные оценки пригодности. Приведены научно-обоснованные практические рекомендации по применению методов и средств воздействия на рассматриваемые в работе формы облаков. Выполнено оценивание качества мероприятий по воздействию на переохлажденные волнистообразные облака с целью их рассеяния по показателям результативности, оперативности, ресурсоемкости и экологичности.

Кроме того, личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в проведении исследований на всех этапах работы над диссертацией и получении оригинальных теоретических и практических результатов, выносимых на защиту, в апробации результатов исследования, получивших одобрение научной общественности на 12 международных и всероссийских конференциях, семинарах, симпозиумах, и в опубликовании результатов по выполненной работе.

Апробация работы. Различные аспекты результатов диссертационных исследований апробированы на 2 Международных, 10 Всероссийских и Ведомственных научных конференциях.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 5 статьях, рекомендованных ВАК, в 25 статьях, опубликованных в различных изданиях, 2 итоговых отчетах о КНИР.

Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Объем работы. Структурно диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 225 источников, и приложения. Общий объем работы составляет 172 страницы, в том числе 56 рисунков и графиков, а также 37 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** отражена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели диссертации и решаемые задачи, основные положения, выносимые на защиту, обоснованы научная ценность и практическая значимость полученных результатов работы, приведено краткое содержание диссертации.

В **первой главе** диссертации проведен анализ исследований в области разработки методов и средств модифицирования облаков и туманов, включающий в себя:

- актуальность исследования и воздействия на облака и туманы. Показано, что она обусловлена: во-первых, существенным влиянием облаков и связанных с ними опасных

явлений погоды (низкая облачность, плохая видимость, сильные осадки в виде дождя и снега, град и др.) на функционирование многих хозяйственных отраслей страны; во-вторых, возникновением чрезвычайных ситуаций различного характера (наводнения, пожары, снежные заносы и др.), связанных с облаками; в-третьих, необходимостью перераспределения осадков в ряде районов страны; в-четвертых, увеличением внимания со стороны государственных органов регионального и федерального значения, Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Роскомгидромета), научной общественности к вопросам, связанным с влиянием ОЯП на хозяйственную деятельность страны и разработанных средств и методов воздействия на гидрометеорологические процессы; в-пятых, возможностью получения заметного экономического эффекта и решения широкого круга хозяйственных и экологических задач и др.;

- анализ физических основ, методов и средств воздействия на переохлажденные волнистообразные и слоистообразные облака. Показано, что в основе методов воздействия на переохлажденные облака и туманы лежит принцип, главным образом, на неустойчивость фазового состояния воды в атмосфере. Рассмотрен механизм действия таких реагентов как твердая углекислота, йодистое серебро, жидкий пропан. Приведена классификация способов и методов предлагаемых ранее и разработанных к настоящему времени способов, и методов модифицирования переохлажденных волнистообразных и слоистообразных облаков. Показано, что на современном этапе наиболее широкое применение находит химический способ модифицирования переохлажденных облаков, основанный на использовании различных химических реагентов. Рассмотрены наземные (азотный генератор ГМЧЛ-Н, стационарный и мобильный жидко-азотный генератор, пиротехнические аэрозольные генераторы НАГ-07, генератор льдообразующего аэрозоля фейерверочного типа ГЛА-105 и пусковые установки) и авиационные (самолетный азотный генератор ГМЧЛ-А, пиротехнические аэрозольные генераторы, установленные на крыле самолета, горелки для сжигания ацетонового раствора льдообразующего реагента, пиропатроны ПВ-50, самолетные установки КДС-155, установка для воздействия пиропатронами СКВ-УВ-26, самолетные аэрозольные генераторы САК-ПМ-01). Основными типами самолетов, на борту которых устанавливаются перечисленные выше средства диспергирования химических реагентов, являются: АН-12, АН-26, АН-28, АН-30, АН-72, М-101Т «Гжель»;

- анализ физических основ, методов и средств модифицирования переохлажденных конвективных облаков. Показано, что физические основы методов воздействия на конвективные облака, исходя из условий их образования и эволюции, базируются на использовании коллоидальной и фазовой неустойчивостей облаков, а также на вертикальной неустойчивости атмосферы. Это связано с тем, что конвективные облака могут быть как полностью теплыми, так и полностью переохлажденными, либо теплыми в нижней, а переохлажденными в верхней частях облака. Приведена классификация способов и методов модифицирования кучевых, грозовых и градовых облаков. Установлено, что на современном этапе для воздействия на переохлажденные конвективные облака (также, как и на переохлажденные волнистообразные и слоистообразные облака) применяется в основном химический способ, основанный на применении химических реагентов. Технические средства воздействия на конвективные облака с помощью химических реагентов, в основном те же, что и при воздействии на переохлажденные волнистообразные и слоистообразные облака. Для порционного сброса порошкообразного реагента в конвективные облака для их разрушения используются транспортеры на которые устанавливаются упаковки с цементом

(самолеты АН-12, АН-26, АН-72 и др.). В последние годы успешно проведены испытания сброса порошкообразных реагентов с самолета Су-30 с использованием штатных контейнеров КМГУ-2.

В заключение первой главы приведены основные задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена выявлению закономерностей распределения характеристик волнистообразных и слоистообразных облаков за холодный период, включающих: расслоенность, фазовое состояние, водность и водозапас, повторяемость переохлажденных волнистообразных облаков применительно к проблеме активных воздействий (на примере Центрального района европейской территории России). Учитывая специфику решаемой задачи, характеристики рассчитывались для каждого месяца холодного периода с ноября по март, за весь период (ноябрь-март) и за зимний сезон (декабрь-февраль) как для осадконесущих облаков, так и для облаков без осадков. Сформирована база данных для исследования характеристик переохлажденной облачности над ЦР ЕТР применительно к проблеме воздействия на нее на основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы (СЗА) ТАЭ-7,7м за 1954-1964 гг. над аэропортом Внуково. Всего было проанализировано около 6000 подъемов самолетов-зондировщиков.

В таблице 1, в качестве примера, приведены данные, характеризующие расслоенность волнистообразных (слоистых, слоисто-кучевых облаков) над ЦР ЕТР в холодное полугодие.

Таблица 1

Повторяемость (%) расслоенности ВОБЛ (без Ас) (с осадками и без осадков)

Месяц	Число облачных слоев				Число зондирований
	один	два	три	четыре	
ноябрь	66,2	28,7	4,8	0,3	334
декабрь	68,8	29,4	1,8	-	381
январь	68,7	28,0	3,3	-	336
февраль	76,4	20,5	3,1	-	224
март	70,2	24,3	4,5	1,0	198

Показано, что над рассматриваемым районом в холодное полугодие волнистообразные облака являются, как правило, однослойными, повторяемость которых составляет 66-76% (в зависимости от месяца). Наиболее часто такие облака встречаются в феврале (76,4%), а наиболее редко – в ноябре (66,2%). Данная тенденция характерна также и в отношении расслоенности волнистообразных облаков с осадками и без осадков.

Характерной особенностью слоистообразных облаков является их расслоенность (см. таблицу 2).

Следует отметить, что на фронтах с осадками и без осадков преобладающими являются двух и трехслойные облака. Средняя повторяемость двухслойных осадконесущих облаков зимой составляет 34,5%, в холодное полугодие – 33,6%, а трехслойных – 27,3 и 29,1% соответственно. При наличии облачности без осадков аналогичные показатели равны 40,2 и 38,6% для двухслойных облаков, 25,2 и 25,7% – для трехслойных.

Однослойные слоистообразные облака встречаются реже. Повторяемость таких облаков на фронтах с осадками составляет 19,1%, на фронтах без осадков – 24% (холодное полугодие).

Повторяемость (%) расслоенности слоистообразных облаков

Месяц	Число облачных слоев						Число зондирования
	один	два	три	четыре	пять	шесть	
ноябрь	<u>12,5</u>	<u>34,3</u>	<u>35,4</u>	<u>15,6</u>	<u>1,1</u>	<u>1,1</u>	<u>96</u>
	30,0	28,3	28,3	8,3	1,7	3,4	60
декабрь	<u>22,0</u>	<u>29,1</u>	<u>29,8</u>	<u>12,7</u>	<u>5,7</u>	<u>0,7</u>	<u>141</u>
	7,9	52,4	25,4	7,9	6,4	-	63
январь	<u>22,0</u>	<u>40,7</u>	<u>19,3</u>	<u>14,0</u>	<u>2,7</u>	<u>1,3</u>	<u>150</u>
	25,0	40,7	20,3	10,9	-	3,1	64
февраль	<u>23,3</u>	<u>35,9</u>	<u>28,3</u>	<u>9,2</u>	<u>3,3</u>	-	<u>120</u>
	29,9	36,8	24,2	8,0	1,1	-	87
март	<u>20,5</u>	<u>33,8</u>	<u>29,1</u>	<u>12,6</u>	<u>2,4</u>	<u>1,6</u>	<u>127</u>
	27,9	42,7	23,5	5,9	-	-	68

Примечание: В числителе приведены данные, относящиеся к фронтам с осадками, в знаменателе – без осадков.

Полученные в диссертации данные о расслоенности облаков имеют практическое значение, поскольку они во многом будут определять методику и технологию воздействия, выбор химических реагентов для засева и определять количество технических средств для проведения работ в интересах решения той или иной прикладной задачи.

Исследование фазовой структуры волнистообразных облаков показало, что в течение всего холодного полугодия в них преобладающей является жидко-капельная фаза (рис. 1).

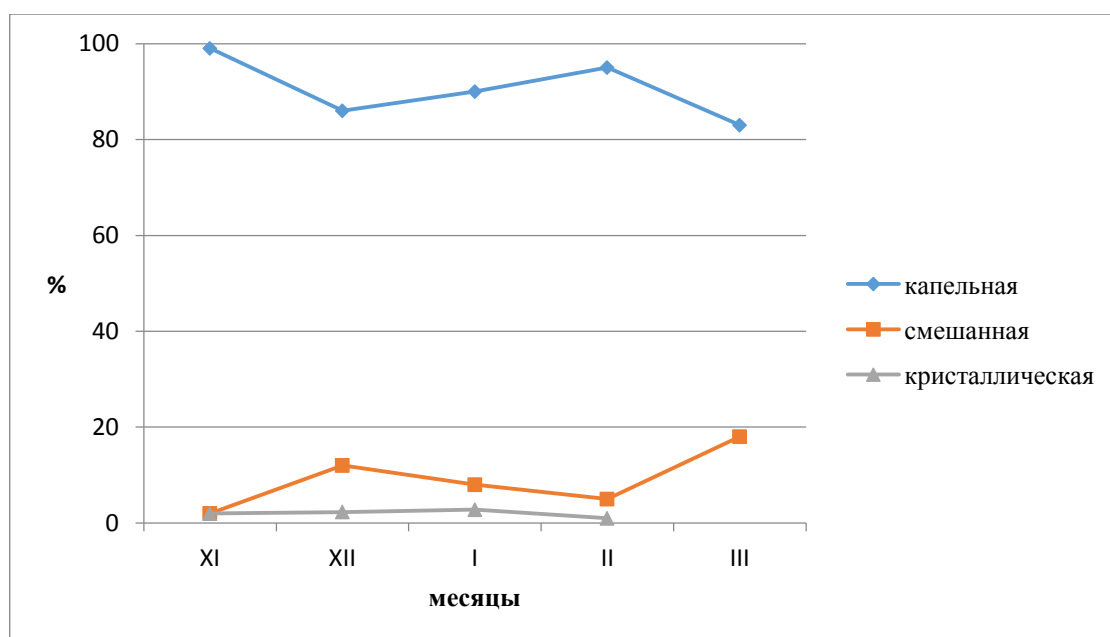


Рисунок 1. Повторяемость (%) фазовой структуры волнистообразных облаков по месяцам

Установлено, что как для слоистых, так и для слоисто-кучевых облаков повторяемость капельной фазы почти одинаковая (около 90%). Выявлено, что фазовая структура слоистых и слоисто-кучевых облаков может быть более сложной, чем описано в литературе (капельная, смешанная и кристаллическая). Показано, что фазовое строение этих облаков может иметь пять видов (в дополнение к перечисленным -

капельное до высоты H , выше – смешанное; смешанное до высоты H , выше – кристаллическое).

Слоистообразные (фронтальные) облака имеют более сложную фазовую структуру, но и в ней характерной особенностью являются высокие значения повторяемости жидко-капельных N_s облаков, которые для облачных образований с осадками и без осадков составляют 62,3% и 77,5% соответственно. Впервые выявлено, что фазовое строение этих облаков может иметь девять видов: капельное; капельное до высоты H , выше – смешанное; капельное до высоты H , выше – кристаллическое; смешанное; смешанное до H , выше – капельное; смешанное до H , выше – кристаллическое; кристаллическое; кристаллическое до H , выше – смешанное; капельное до H , выше до H_1 смешанное, выше – кристаллическое. Эти девять типов фазового строения фронтальных облаков наблюдаются как на фронтах с осадками, так и без осадков.

Данные о фазовой структуре облаков будут во многом определять возможность применения тех или иных химических реагентов для засева и решения конкретной прикладной задачи, поскольку она входит в качестве одного из составных параметров в критерий пригодности к воздействию на переохлажденную облачность.

В диссертации получены данные о повторяемости переохлажденных волнистообразных облаков, которые свидетельствуют о том, что в период с ноября по март эти облака с осадками и без осадков, как правило, являются переохлажденными. Повторяемость их практически одинакова и достигает 90-92%, что является благоприятным фактором для проведения воздействия на такие облака.

Получены статистические характеристики водности и водозапаса облаков. Показано, что средние значения этих характеристик для слоистых и слоисто-кучевых облаков находятся в пределах 0,16-0,33 г/м³ и 64-158 г/м², средние значения водности слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков в холодное полугодие составляют 0,22 и 0,16 г/м³, а водозапаса – 260 и 180 г/м².

По материалам самолетного зондирования атмосферы выполнено исследование характеристик конвективных облаков применительно к проблеме воздействия на них с целью решения различных прикладных задач. Показано, что средняя повторяемость наблюдаемых форм конвективных облаков за три летних месяца (июнь-август) составила: для $Cu\ hum.$ 7%, $Cu\ med.$ 8%, $Cu\ cong.$ 85%.

В целом за теплое полугодие облака $Cu\ hum.$ наблюдались в 12% случаев, $Cu\ med.$ – в 13%, $Cu\ cong.$ – в 75% случаев.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что основным объектом воздействия над рассматриваемым районом в теплое полугодие являются облака $Cu\ cong.$

В работе приведены статистические характеристики конвективных облаков (вертикальная протяженность облаков и переохлажденной их части, температура на верхней границе и фазовая структура облаков) применительно к проблеме модифицирования. Показано, что эти характеристики необходимы для получения количественных оценок переохлажденных конвективных облаков, пригодных к воздействию как с целью вызывания искусственных осадков, так и с целью разрушения облаков.

Третья глава диссертации посвящена получению количественных оценок пригодности к воздействию переохлажденных волнистообразных и слоистообразных облаков с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния (стабилизации) облачных слоев.

Так, на рисунке 2 приведены оценки пригодности к рассеянию переохлажденных волнистообразных облаков в холодное полугодие.

Установлено, что переохлажденные волнистообразные облака пригодны к рассеянию зимой в 81,8% случаев, в холодное полугодие – в 76,9% случаев, слоистообразные облака - 10,8% и 10,0% соответственно. Повторяемость волнистообразных облаков, пригодных к вызыванию осадков составляет зимой и в холодное полугодие 40,9% и 37,2%, к интенсифицированию осадков - 45,8% и 43,8% соответственно. Повторяемость слоистообразных облаков, пригодных к вызыванию осадков составляет зимой и в холодное полугодие 26,9% и 23,9%, к интенсифицированию осадков - 59,6% и 59,0% соответственно.

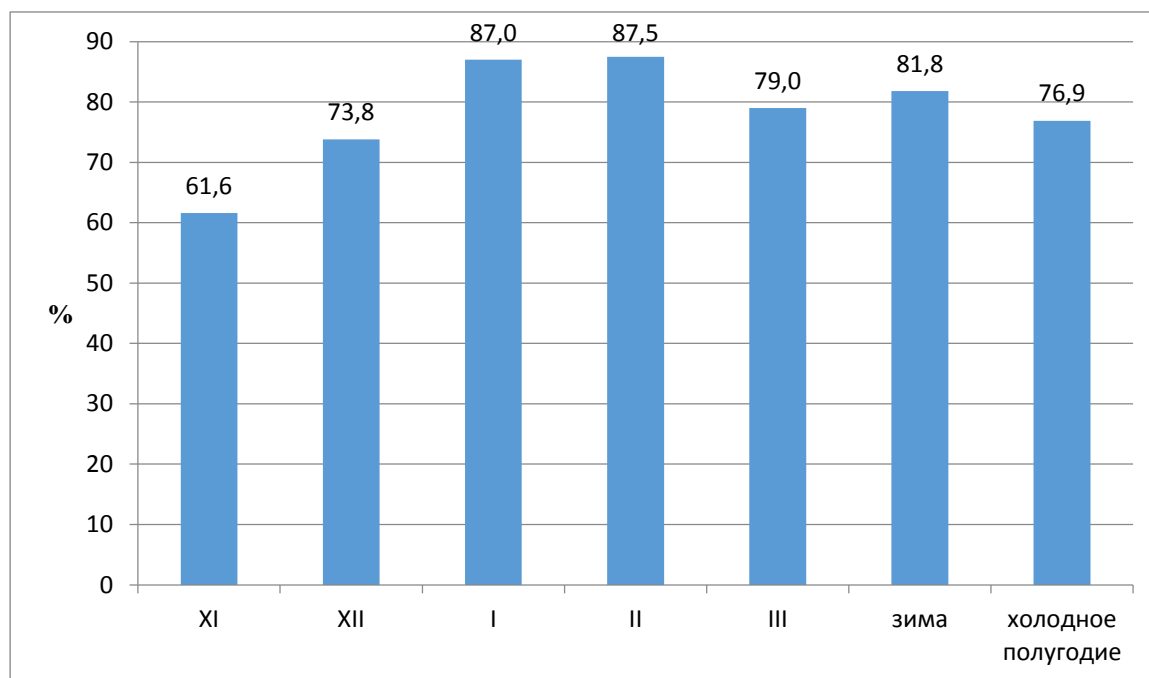


Рисунок 2. Повторяемость (%) пригодных к рассеянию переохлажденных волнистообразных облаков

Конвективные облака пригодны для воздействия с целью вызывания искусственных осадков в среднем за теплое полугодие в 48% случаев (рисунок 3).

Максимум повторяемости 55% наблюдается в мае, минимум 32% – в сентябре. Повторяемость конвективных облаков, пригодных к рассеянию, составляет в среднем в теплое полугодие чуть более 50%, достигая максимума в апреле (68%) и минимума – в июле – (40%).

При расчете этих оценок были использованы критерии пригодности переохлажденных облаков к воздействию. Так, критерий пригодности облаков к рассеянию включал в себя следующие значения характеристик облаков: толщина облачного слоя – не более 1000 м; фазовая структура облака – капельная или смешанная; средняя температура облачного слоя – не выше минус 3°C. Критерий пригодности переохлажденных волнистообразных и слоистообразных облаков к вызыванию искусственных осадков включал в себя следующие значения характеристик облаков: толщина облачного слоя – не менее 300 м; фазовая структура облака – капельная или смешанная; температура на верхней границе облака – не выше минус 4°C; высота нижней границы облаков – не более 1000 м. Критерий пригодности

переохлажденных волнистообразных и слоистообразных облаков к интенсифицированию естественных осадков включал в себя следующие значения характеристик облаков: толщина облачного слоя – не менее 300 м; фазовая структура облака – капельная или смешанная; температура на верхней границе облака – не выше минус 4°С. Критерий пригодности переохлажденных конвективных облаков к вызыванию искусственных осадков включал следующие значения характеристик облаков: толщина облачного слоя – не менее 2 км; фазовая структура облака – капельная или смешанная; температура на верхней границе облака – не выше минус 4 – минус 5°С.

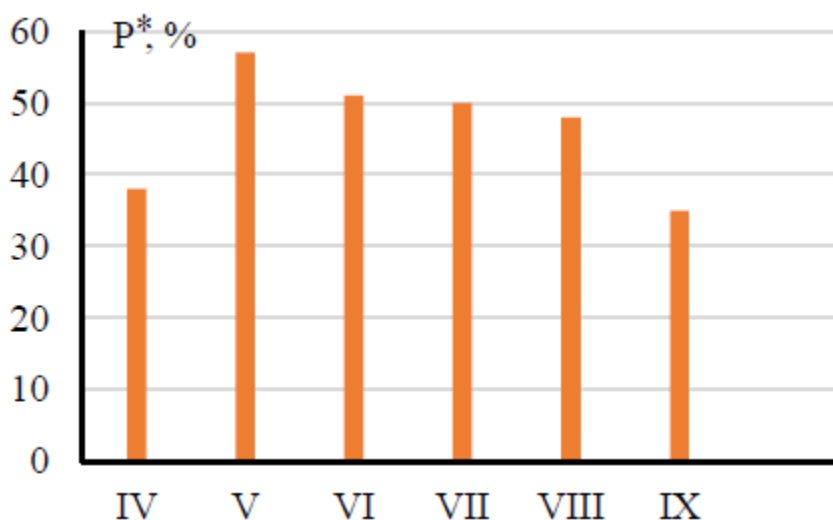


Рисунок 3. Повторяемость (%) конвективных облаков, пригодных для вызывания осадков над центральным районом ЕТР

Полученные в диссертации количественные оценки пригодности переохлажденных облаков различных форм к воздействию позволяют, не проводя непосредственно натурные эксперименты, оценить возможность и целесообразность планирования и подготовки работ по воздействию на облака в конкретном ФГР в интересах решения конкретных прикладных задач.

В **четвертой** главе разработан комплекс методик по воздействию на переохлажденные волнистообразные и слоистообразные облака с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния облачного покрова для решения прикладных задач.

В качестве примера в автореферате представлена методика воздействия на переохлажденные волнистообразные облака с целью их рассеяния в интересах проведения поисково-спасательных работ.

Разработанная методика рассеяния переохлажденных волнистообразных облаков включает в себя схему их засева (например, «восьмерку») и расчет характеристик таких мероприятий.

Расчет характеристик операции по рассеянию облаков включает в себя проведение следующих мероприятий:

1. Расчет рубежа засева от предполагаемого района раскрытия цели, рассчитывается по формуле

$$L_{р.з.} = v_0 \cdot t_{ср}, \quad (1)$$

где $L_{р.з.}$ – рубеж засева от зоны раскрытия цели, км;

v_0 – скорость перемещения облаков, км/ч;

$t_{\text{ср}}$ – время срабатывания реагента, ч. В соответствии с эксплуатационными данными оно составляет в среднем 20 мин. или 1/3 часа.

2. Определение длины линии L_3 засева одним самолетом определяется следующим образом

$$L_3 = v_c \cdot t, \quad (2)$$

где v_c – скорость полета самолета, км/ч;

t – время нахождения самолета на линии засева, ч.

Определение времени t нахождения самолета на линии засева (L_3), которое определяется на основе данных о ширине зоне кристаллизации облачного слоя от одной линии засева $\Delta L_{\text{крист.}}$ и скорости перемещения облачного покрова v_0 . Расчет времени (t) проводится по формуле:

$$t = \frac{\Delta L_{\text{крист.}}}{v_0}. \quad (3)$$

3. Расчет длины линии засева одним самолетом с учетом времени на разворот (t_p) самолета, определяется по формуле

$$L'_3 = L_3 - v_c \cdot t_p \quad (4)$$

или, с учетом (1) и (2),

$$L'_3 = v_0 \left(\frac{\Delta L_{\text{крист.}}}{v_0} - 2t_p \right). \quad (5)$$

4. Расчет площади зоны раскрытия от облачности, в результате одиночного засева определяется путем произведения длины линии засева (L'_3) на ширину зоны кристаллизации ($\Delta L_{\text{крист.}}$)

$$S_{\text{раск.}} = L'_3 \cdot \Delta L_{\text{крист.}}. \quad (6)$$

5. Определение расстояния между линиями засева $L_{\text{ш.л.з.}}$. Расстояние определяется, исходя из данных о температурных характеристиках переохлажденных волнистообразных облаков, применяемого реагента, мощности облаков, скорости их перемещения и эволюции. При мощности облака до 300 м и средней для облачного слоя температуры ($t_{\text{ср. обл.}}$) ниже минус 3°C расстояние между линиями засева (или ширина зоны кристаллизациями – $\Delta L_{\text{крист.}}$) берется равным 3 км. При мощности облаков более 500 м и $t_{\text{ср. обл.}}$ от минус 1,0 до минус 3,0°C расстояние между линиями засева уменьшается до 1,0 ÷ 1,5 км.

6. Определение требуемого числа линий засева ($N_{\text{л.з.}}$) при работе одного самолета рассчитывается по формуле

$$N_{\text{л.з.}} = \frac{T}{t}, \quad (7)$$

где T – требуемое время поддержания района раскрытым от облаков, ч.

7. Оценка требуемого расхода реагента. Количество требуемого реагента определяется, исходя из характеристик переохлажденных волнистообразных облаков, стадии его эволюции, необходимого времени поддержания района раскрытым от облаков, и рассчитывается по формуле

$$Q = Q_{\text{р/км}} \cdot N_{\text{л.з.}} \cdot L_3, \quad (8)$$

где $Q_{p/км}$ – расход реагента на километр полета самолета по линии засева, г(кг)/км.

В работе получены формулы для расчета стоимости мероприятий по рассеянию переохлажденных волнистообразных облаков.

В общем случае стоимость мероприятий ($C_{оп.}$) по рассеянию волнистообразных облаков будет определяться стоимостью реагента (C_p), используемого для засева облаков, а также стоимостью топлива, используемого для проведения операции ($C_{топл.}$), аренды самолета ($C_{ар. сам.}$) и стоимостью услуг, предоставляемых наземными службами обеспечения и управления модифицированием ($C_{наз. сл.}$)

$$C_{оп.} = C_p + C_{топл.} + C_{ар. сам.} + C_{наз. сл.} \quad (9)$$

Рассмотрим более подробно каждое из слагаемых уравнения (9).

Для определения стоимости реагента необходимо знать стоимость одного килограмма реагента C'_p , а также общую массу реагента (M), потребного для засева облаков и находящегося на борту одного самолета, т. е.

$$C_p = C'_p \cdot M \cdot n, \quad (10)$$

где n – число самолетов, необходимых для засева облаков.

Масса реагента M будет определяться массой реагента, идущего на засев одного километра пути самолета в облаке, длиной $L_{л.з.}$, а также общим числом таких линий засева (N). В свою очередь длина линии засева $L'_{л.з.}$ (с учетом времени на два разворота самолета) может быть определена по формуле (5).

Тогда общая масса реагента (M), потребного для засева будет равна

$$M = N \cdot L'_3 \cdot m, \quad (11)$$

где m – расход реагента на один километр пути самолета, кг/км.

В свою очередь число линий засева определяется выражением

$$N = \frac{T_2}{t} = \frac{T_2 \cdot v_0}{\Delta L_{ш. засева}}, \quad (12)$$

где T_2 – время засева химическими реагентами облаков.

Тогда с учетом выражений (5) и (12), выражение (11) примет следующий вид

$$M = v_c \left(\frac{\Delta L_{ш. засева}}{v_0} - 2t_p \right) \cdot m \cdot \frac{T_2 v_0}{\Delta L_{ш. засева}}, \quad (13)$$

Выражение для стоимости реагента C_p , определяемого по формуле (10), примет вид

$$C_p = C'_p \cdot v_c \cdot \left(\frac{\Delta L_{ш. засева}}{v_0} - t_p \right) \cdot m \cdot \frac{T_2 v_0}{\Delta L_{ш. засева}}. \quad (14)$$

Стоимость топлива (керосина) ($C_{топл.}$), необходимого для проведения операции по модифицированию волнистообразных облаков, может быть определена по формуле

$$C_{топл.} = M_T \cdot T \cdot n \cdot C_p, \quad (15)$$

где M_T – расход топлива за один час работы самолета, кг/ч;

n – число самолетов, необходимых для проведения операции по засеву химическими реагентами облаков;

C_p – цена одного кг топлива, руб.;

T – время работы самолета (ч), представляемое в виде

$$T = T_1 + T_2 + T_3, \quad (16)$$

где T_1 – время, необходимое для полета самолета от аэродрома базирования до района засева облаков, ч;

T_2 – время засева ХР облаков, с целью их рассеяния, ч;

T_3 – время, потребное для полета самолета от района засева облаков до аэродрома базирования, ч.

Время T_2 будет определяться временем, необходимым для нахождения над районом проведения работ в состоянии, раскрытым от облаков $t_{тр}$, и запасом времени, необходимым для страховки. Тогда $T_2 = t_{тр} + t_{запас}$.

Промежуток времени $t_{запас}$ определим равным 60 мин. или 1 час.

Стоимость аренды самолета ($C_{ар. сам.}$) будет складываться из стоимости оплаты экипажа ($C_{опл. экип.}$), стоимости амортизации бортового вычислительного комплекса ($C_{выч. комп.}$), используемого для проведения засева облака, а также стоимости амортизации средств диспергирования химического реагента ($C_{ср. дисп. ХР}$), т.е

$$C_{ар. сам.} = C_{опл. экип.} + C_{выч. комп.} + C_{ср. дисп. ХР}. \quad (17)$$

В случае использования нескольких самолетов (n) выражение (17) примет следующий вид

$$C_{(ар. сам.)n} = n(C_{опл. экип.} + C_{выч. комп.} + C_{ср. дисп. ХР}). \quad (18)$$

Наконец, стоимость эксплуатации наземных служб ($C_{наз. сл.}$) будет включать в себя, главным образом, стоимость услуг по прогнозированию облачной обстановки и анализу данных текущей ситуации ($C_{син. обс.}$), стоимость оплаты работников наземных служб ($C_{опл. наз. сл.}$) и стоимость оплаты эксплуатации наземных технических средств ($C_{эксп. наз. ср.}$) (в частности, МРЛ-5), т. е.

$$C_{наз. сл.} = (C_{син. обс.} + C_{опл. наз. сл.} + C_{эксп. наз. ср.}). \quad (19)$$

Тогда, с учетом входящих в уравнение (9) слагаемых, определяемых соответствующими уравнениями (10), (15), (18), (19), оно примет следующий вид

$$C_{оп.} = C'_p \cdot \frac{T_2 \cdot v_0}{\Delta L_{ш. засева}} \cdot v_c \left(\frac{\Delta L_{ш. засева}}{v_0} - 2t_p \right) \cdot m + M_T (T_1 + T_2 + T_3) n \cdot C_p + \quad (20)$$

$$+ n(C_{опл. экип.} + C_{выч. комп.} + C_{ср. дисп. ХР})T + n(C_{син. обст.} + C_{опл. наз. сл.} + C_{эксп. наз. сл.})T$$

Таким образом, подставив в формулу (20) все необходимые данные, можно рассчитать стоимость мероприятий по засеву переохлажденных волнистообразных облаков.

В этой же главе соискателем получены аналитические выражения для расчета количества искусственных (интенсифицированных) осадков из переохлажденных волнистообразных и слоистообразных облаков. Выполнена предварительная оценка количества искусственных и интенсифицированных осадков из переохлажденных волнистообразных и слоистообразных облаков. Так, количество искусственных осадков из волнистообразных облаков может составить зимой – 18,4 мм, а в холодное полугодие – 26 мм. Для слоистообразных облаков количество искусственных осадков в эти

периоды составляют 4,4 и 5,4 мм соответственно. Количество интенсифицированных осадков из переохлажденных облаков может составить зимой 67 мм и в холодное полугодие – 114 мм (или 50% от нормы для этих периодов года).

В пятой главе содержатся научно-обоснованные рекомендации по применению методов и средств воздействия на переохлажденную облачность в интересах решения хозяйственных и экологических задач.

Разработана методика подготовки и проведения мероприятий по модифицированию переохлажденных волнистообразных облаков с целью рассеяния в интересах проведения поисково-спасательных работ и приведена ее общая структура (рисунок 4).

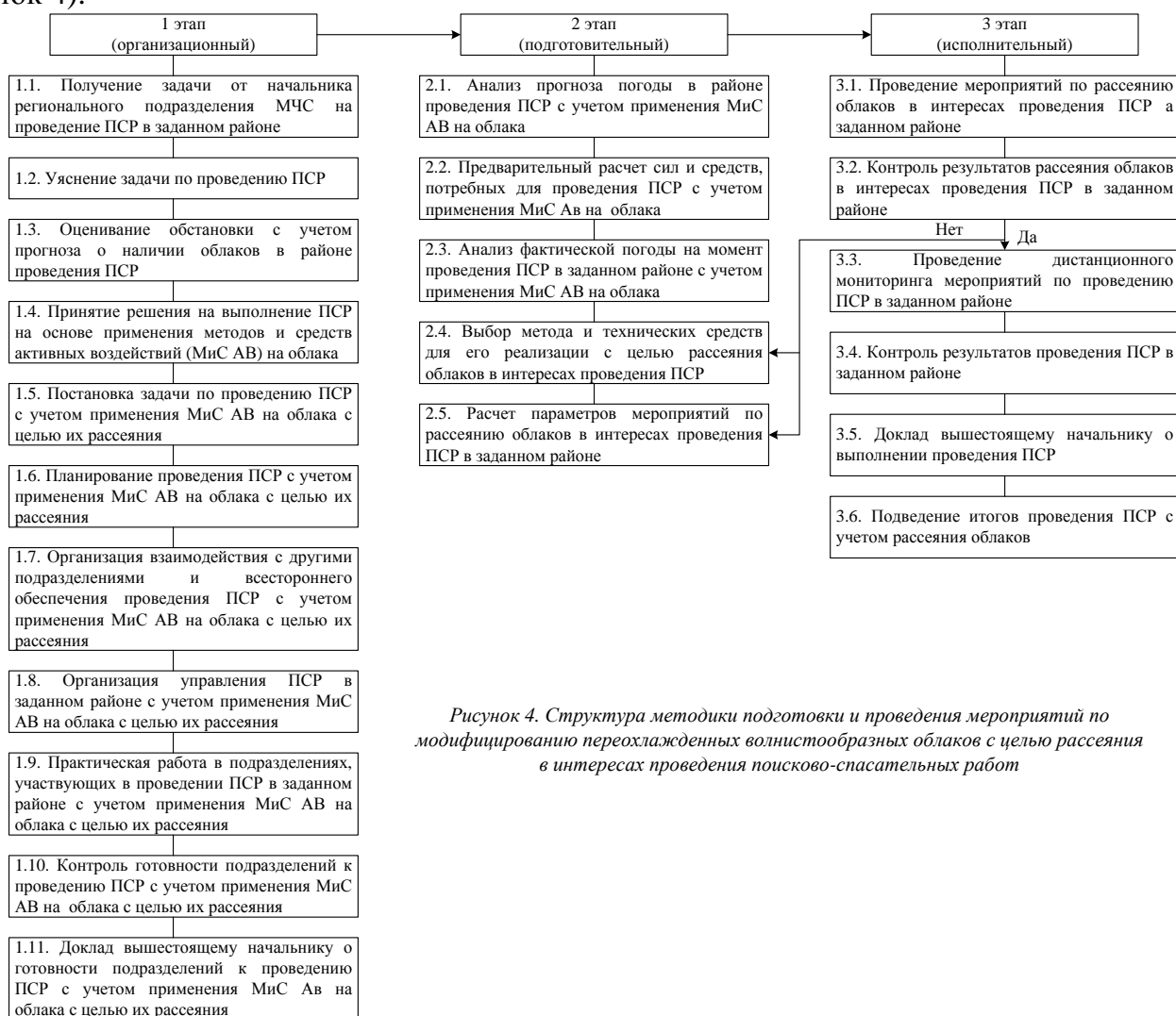


Рисунок 4. Структура методики подготовки и проведения мероприятий по модифицированию переохлажденных волнистообразных облаков с целью рассеяния в интересах проведения поисково-спасательных работ

Из анализа данных, представленных на рис. 4 видно, что методика включает в себя три этапа: организационный, подготовительный и исполнительный, каждый из которых содержит ряд подэтапов, подробно рассмотренных в п. 5.1 диссертации.

Проведено оценивание качества мероприятий по рассеянию переохлажденных волнистообразных облаков по таким показателям как: результативность, оперативность, ресурсоемкость и экологичность³.

Обоснованы технико-экономические требования к методам и средствам воздействия на переохлажденные волнистообразные, слоистообразные и конвективные

³ Экологичность (средств воздействия) – качество применяемых при воздействии на облака и туманы химических средств с целью оценивания их возможного негативного влияния на окружающую природную среду.

облаков. Показано, что разрабатываемые химические реагенты, используемые для засева облаков должны удовлетворять как общим, так и специфическим требованиям, характеризующимися конкретными показателями.

Разработаны научно-обоснованные рекомендации по практическому применению методов и средств воздействия на переохлажденные волнистообразные облака на основе полученных в диссертации данных об их расслоенности, фазовой структуре, повторяемости.

Разработан метод определения водозапаса волнистообразных облаков без данных о водности для Центрального района ЕТР по 21 паре метеорологических величин. Установлено, что наиболее тесно водозапас таких облаков связан с их мощностью (коэффициент корреляции 0,84); построены соответствующий график такой взаимосвязи и уравнение регрессии (рисунок 5).

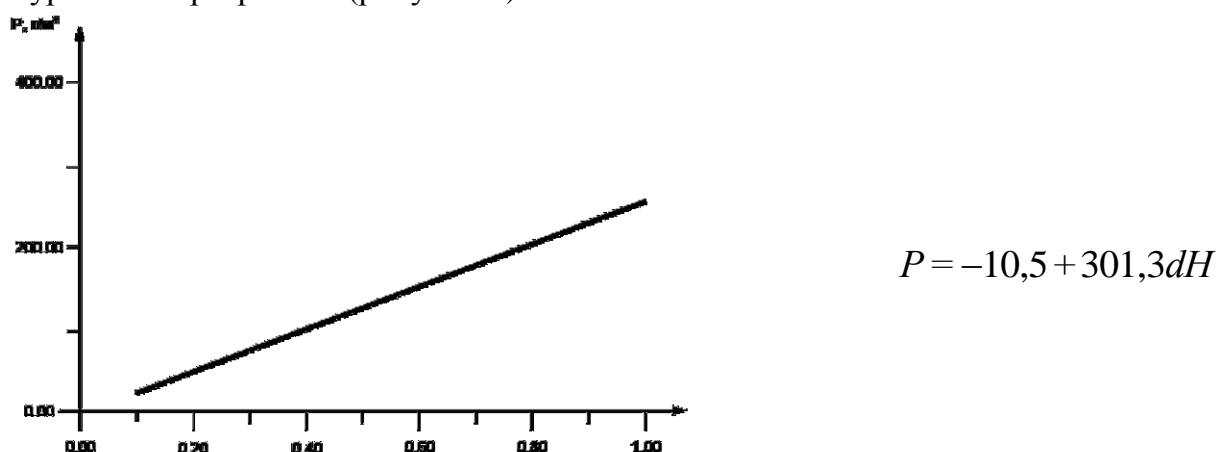


Рисунок 5 – Зависимость водозапаса волнистообразных облаков от их мощности

Обоснованы перспективы и направления дальнейших исследований в области модифицирования переохлажденных волнистообразных, слоистообразных и конвективных облаков.

В заключение сформулированы основные результаты и выводы по работе.

1. Сформирована база данных для исследования характеристик переохлажденной облачности (переохлажденных волнистообразных, слоистообразных и конвективных облаков) применительно к проблеме воздействия на нее на основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы ТАЭ-7,7м над аэропортом Внуково за 1954-1964 гг. Всего обработано около 6000 (5873) подъемов самолетов-зондировщиков.

Исследованы закономерности распределения характеристик (расслоенность, фазовая структура, водность и водозапас и др.) волнистообразных и слоистообразных облаков на основе их статической обработки. Учитывая специфику решаемой задачи, характеристики облаков рассчитывались для каждого месяца холодного периода с ноября по март, за весь период и за зимний сезон (декабрь-февраль) как для осадконесущих облаков, так и для облаков без осадков.

Установлено, что волнистообразные облака в холодное полугодие (ноябрь-март) чаще являются однослойными (повторяемость составляет 66-76% в зависимости от месяца), жидкокапельными (при этом как для слоистых, так и для слоисто-кучевых облаков повторяемость капельной фазы почти одинакова и составляет не менее 88% для St и 91% для Sc облаков) и переохлажденными (величины повторяемости для облаков с осадками и без осадков практически одинаковы и составляют 90-92%).

Слоистообразным облакам, напротив, присуща значительная расслоенность. Общим для всех месяцев является преобладание двухслойных облаков. Повторяемость таких облаков зимой составляет 36,5%, в холодное полугодие – 35,3%. Существенна повторяемость одно- и трехслойной облачности. Так, повторяемость однослойных облаков изменяется в пределах 17,6-26,1%, а трехслойных – от 19,6 до 32,7%. Четырехслойные облака встречаются не чаще, чем в 13% случаев. Еще реже наблюдается пяти- и шестислойная облачность, на долю которой приходится 6 и 2% соответственно. Слоистообразные облака также имеют и сложную фазовую структуру. Соискателем выявлено девять типов фазового строения слоистообразных облаков (как с осадками, так и без осадков).

2. Получены количественные оценки пригодности волнистообразных и слоистообразных облаков с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния (стабилизации) облачных слоев. Установлено, что переохлажденные волнистообразные облака пригодны к рассеянию зимой в 81,8% случаев, в холодное полугодие – в 76,9% случаев, слоистообразные облака - 10,8% и 10,0% соответственно. Повторяемость волнистообразных облаков, пригодных к вызыванию осадков составляет зимой и в холодное полугодие 40,9% и 37,2%, к интенсифицированию осадков - 45,8% и 43,8% соответственно. Повторяемость слоистообразных облаков, пригодных к вызыванию осадков составляет зимой и в холодное полугодие 26,9% и 23,9%, к интенсифицированию осадков - 59,6% и 59,0% соответственно.

Конвективные облака пригодны для воздействия с целью вызывания искусственных осадков в среднем за теплое полугодие в 48% случаев. Максимум повторяемости (55%) наблюдается в мае, минимум (32%) – в сентябре. Оценки повторяемости пригодных к рассеянию конвективных облаков показывают, что чаще всего условия для воздействия на облака отмечаются в апреле (68%). В июле таких облаков наблюдается меньше всего – 40%. В целом в теплое полугодие повторяемость пригодных к рассеянию конвективных облаков составляет чуть более 50%.

3. Разработаны методики воздействия на волнистообразные и слоистообразные облака с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния (стабилизации) облачных слоев.

Разработана методика расчета стоимости мероприятий по рассеянию переохлажденных волнистообразных облаков.

4. Разработана методика подготовки и проведения мероприятий по воздействию на переохлажденные волнистообразные облака с целью рассеяния в интересах проведения поисково-спасательных работ, включающая три этапа: организационный, подготовительный и исполнительный. Каждый из них содержит ряд подэтапов, подробно рассмотренных в диссертации.

5. Проведено оценивание качества мероприятий по рассеянию переохлажденных волнистообразных облаков по таким показателям, как: результативность, оперативность, ресурсоемкость и экологичность. Установлено, что по указанным показателям проведение мероприятий по рассеянию волнистообразных облаков в интересах проведения поисково-спасательных работ в условиях наличия низкой облачности, исключающей применение самолетов, вертолетов и беспилотных летательных аппаратов целесообразно и может быть использовано на практике. Сделан вывод о том, что оперативность проведения поисково-спасательных работ с учетом рассеяния низкой облачности может быть повышена в среднем от 1,5 – 2 до 7 – 10 раз (в зависимости от продолжительности нахождения облаков над районом поиска – от 10 – 14 до 48 -72 часов).

6. Разработан метод определения водозапаса волнистообразных облаков без непосредственного измерения водности облаков, по 21 паре метеорологических величин. Установлено, что наиболее тесно водозапас волнистообразных облаков связан с их мощностью (коэффициент корреляции – 0,84). Построены график и уравнение регрессии такой зависимости.

7. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по применению методов и средств модифицирования переохлажденных волнистообразных, слоистообразных и конвективных облаков.

8. Обоснованы перспективы и направления дальнейших исследований в области модифицирования переохлажденной облачности. Показано, что дальнейшие исследования целесообразно продолжить в направлении разработки средств контроля за результатами воздействия на облака и оценивания общего эффекта воздействия.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в российских рецензируемых научных журналах

1. Козлова, Н.А. Исследование фазового состояния слоистообразной облачности над центральными районами России применительно к проблеме модифицирования / Н.А. Козлова, А.П. Доронин, В.М. Петроченко, С.А. Шмалько, О.И. Дидык, // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – № 651. – С. 91–97.

2. Козлова, Н.А. Эмпирические модели водности и водозапасов волнистообразных и слоистообразных облаков над Центральным районом Европейской территории России / Н.А. Козлова, А.П. Доронин, В.М. Петроченко, А.Б. Лебедев, С.А. Шмалько // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – № 658. – С. 54–61.

3. Козлова, Н.А. Исследование характеристик конвективных облаков над центральным районом европейской территории России применительно к проблеме профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними/ Н.А. Козлова, А.П. Доронин, И.В. Гончаров, В.М. Петроченко, А.С. Тимощук // Ученые записки РГГМУ. – 2017. – №50. – С. 28–40.

4. Козлова, Н.А. Методика модифицирования переохлажденных волнистообразных облаков с целью вызывания искусственных осадков / Н.А. Козлова, А.П. Доронин, В.М. Петроченко, Г.Г. Щукин // Ученые записки РГГМУ. – 2018. – № 53. – С. 9-18.

5. Козлова, Н.А. Метод локализации выбросов вредных веществ в местах крупных аварий и пожаров в населенных пунктах с помощью искусственных облаков и туманов / Н.А. Козлова, А.П. Доронин, В.М. Петроченко, Н.Б. Толстоброва // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2018. – № 662. – С. 196–200.

Публикации в других изданиях

1 Козлова, Н.А. Метод очищения воздушных бассейнов крупных городов от загрязняющих примесей искусственными осадками из облаков / А.П. Доронин, Н.А. Козлова, К.О. Фролов и др. // Естественные и антропогенные аэрозоли : материалы IX междунар. научн. конфер. - СПб., 2014. - С.27-29.

2 Козлова, Н.А. Основные результаты и перспективы работ в области модифицирования атмосферных процессов и явлений в интересах решения хозяйственных и экологических задач / О.И. Дидык, А.П. Доронин, Н.А. Козлова и др. // Экология и космос : тр. II Всерос. науч. конф. имени академика К.Я. Кондратьева. – СПб : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2015. – С. 214 – 221.

3 Козлова, Н.А. Научно-методологические основы проблемы модифицирования геофизических процессов и явлений в интересах решения экологических и хозяйственных задач / А.П. Доронин, А.Н. Ефременко, Н.А. Козлова // Экология и космос : тр. II Всерос. науч. конф. имени академика К.Я. Кондратьева. – СПб : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2015. – С. 221 – 229.

4 Козлова, Н.А. Расслоенность внутримассовых слоистообразных облаков над центральными районами России применительно к проблеме модифицирования в интересах решения экологических и хозяйственных задач / А.П. Доронин, А.Н. Ефременко, С.А. Шмалько // Экология и космос : тр. II Всерос. науч. конф. имени академика К.Я. Кондратьева. – СПб : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2015. –С. 234 – 241.

5 Козлова, Н.А. Расслоенность слоистообразных облаков над центральными районами России применительно к проблеме модифицирования в интересах решения прикладных задач / Н.А. Козлова, А.Н. Ефременко, А.П. Доронин, С.А. Шмалько // Проблемы повышения эффективности управления авиационными частями и соединениями ВВС : сб. ст. по материалам Всероссийской ежегодной научной конференции (9 – 10 апреля 2015 г.) : в 5-ти ч. – Воронеж : ВУНЦВВС «ВВА», 2015. – Ч. 4. – С. 267 – 273.

6 Козлова, Н.А. Метод очищения воздушных бассейнов крупных городов от загрязняющих примесей путем вызывания искусственных осадков из переохлажденных внутримассовых слоистообразных облаков / А.П. Доронин, В.М. Петроченко, Н.А. Козлова, С.А. Шмалько // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства : межвузовский научно-практический семинар, 16 апреля 2015 г. – СПб. : ВВИ(ИТ) ВА МТО, 2015. – С. 69 – 74.

7 Козлова, Н.А. Повторяемость переохлажденных внутримассовых слоистообразных облаков над различными районами России применительно к проблеме модифицирования / А.П. Доронин, Н.А. Козлова, К.О. Фролов и др. // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга : тр. II Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 36 – 40.

8 Козлова, Н.А. Фазовое состояние внутримассовой слоистообразной облачности над различными районами России в интересах решения прикладных задач / А.П. Доронин, Н.А. Козлова, К.О. Фролов, С.А. Шмалько // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга : тр. II Всероссийской научно-практической конференции.– Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015.–С. 40 – 43.

9 Козлова, Н.А. Расслоенность внутримассовых слоистообразных облаков над различными районами России применительно к проблеме модифицирования в интересах решения прикладных задач / А.П. Доронин, Н.А. Козлова, К.О. Фролов, С.А. Шмалько // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга : тр. II Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 43 – 47.

10 Козлова, Н.А. Оценки пригодности к рассеянию переохлажденных внутримассовых слоистообразных облаков над различными районами России интересах решения прикладных задач / А.П. Доронин, Н.А. Козлова, К.О. Фролов, С.А. Шмалько // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга : тр. II Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 194 – 198.

11 Козлова, Н.А. Исследование повторяемости конвективных облаков над центральными районами России в интересах решения прикладных задач / А.П. Доронин, И.В. Гончаров, Н.А. Козлова, В.М. Петроченко // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды : материалы IV Всероссийской науч.конф. – СПб : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2016. – С. 52 – 56.

12 Козлова, Н.А. Методика расчета параметров операции по рассеянию волнистообразных облаков для решения хозяйственных и экологических задач / А.П. Доронин, Н.А. Козлова и др.// Экология и космос : тр. III Всерос. конф. имени академика К.Я. Кондратьева. – СПб : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2017. –С. 184 – 188.

13 Козлова, Н.А. Экологические аспекты, связанные с работами по созданию искусственных атмосферных образований в интересах решения хозяйственных и экологических задач / А.П. Доронин, Н.А. Козлова и др.// Экология и космос : тр. III Всерос. конф. имени академика К.Я. Кондратьева. – СПб : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2017. –С. 221 – 225.

14 Козлова, Н.А. Перечень экологических проблем, решение которых возможно при модифицировании облаков и туманов естественного и искусственного происхождения / А.П. Доронин, Н.А. Козлова и др.// Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2015) : материалы IX Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. – СПб.: СПОИСУ, 2015. – С. 245.

15 Козлова, Н.А. Технология модифицирования облачности / А.П. Доронин, Н.А. Козлова и др.// Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017) : материалы IX Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. – СПб.: СПОИСУ, 2017.

16 Козлова, Н.А. Модифицированные геофизической среды в интересах решения связанных с чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера экологических проблем / А.П. Доронин, Н.А. Козлова и др.// Региональная информатика и информационная безопасность : сб.трудов. – СПб. : СПОИСУ, 2018. – Вып. 5. – С. 413–416.

17 Козлова, Н.А. (Тихомирова, Н.А.) Регулирование грозовой деятельности в задачах обеспечения народного хозяйства и вооруженных Сил России / А.П. Доронин, Н.А. Тихомирова и др.// Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология : материалы XIV Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. – Казань, 2002. – Ч.II. – С. 266 – 268.

18 Козлова, Н.А. (Тихомирова, Н.А.) Очищение воздушного бассейна промышленных районов от загрязняющих примесей путем рассеяния внутримассовой слоистообразной облачности / А.П. Доронин, Н.А. Тихомирова и др.// Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология : материалы XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. – Казань, 2001. – Ч.II. – С. 305 – 306.

19 Козлова, Н.А. (Тихомирова, Н.А.) Повторяемость условий, благоприятных для вызывания осадков из слоистых, слоисто-кучевых облаков над Москвой и Санкт-Петербургом с целью вымывания из атмосферы загрязняющих аэрозолей / А.П. Доронин, Н.А. Тихомирова и др.// Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология : материалы XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. – Казань, 2001. – Ч.II. – С. 306 – 307.

20 Козлова, Н.А. (Тихомирова, Н.А.) Исследование фазовой структуры внутримассовой слоистообразной облачности над Москвой и Санкт-Петербургом для решения задач космического мониторинга / А.П. Доронин, Н.А. Тихомирова и др.//

Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология : материалы XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. – Казань, 2001. – Ч.II. – С. 307 – 308.

21 Козлова, Н.А. (Тихомирова, Н.А.) Характеристика расслоенности внутримассовой слоистообразной облачности над Москвой и Санкт-Петербургом для решения задач космического мониторинга / А.П. Доронин, Н.А. Тихомирова и др.// Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология : материалы XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. – Казань, 2001. – Ч.II. – С. 308 – 309.

22 Козлова, Н.А. (Тихомирова, Н.А.) Модифицирование конвективных облаков с целью решения экологических проблем, связанных с лесными пожарами / А.П. Доронин, Н.А. Тихомирова, И.В. Гончаров, Е.А. Чихонадских// Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология : материалы XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. – Казань, 2001. – Ч.II. – С. 309 – 310.

23 Козлова, Н.А. Методика расчета стоимости мероприятий по модифицированию переохлажденных волнистообразных облаков / А.П. Доронин, В.М. Петроченко, Н.А. Козлова, А.С. Тимощук, С.А. Шмалько, П.В. Шабалин // Естественные и антропогенные аэрозоли : сборник докладов XI научно-прикладной международной конференции. – СПб.: Астерион, 2018. –С. 183 – 190.

24 Козлова, Н.А. Косвенный метод определения водозапаса волнистообразных облаков / А.П. Доронин, В.М. Петроченко, Н.А. Козлова, А.С. Тимощук, С.А. Шмалько, П.В. Шабалин // Естественные и антропогенные аэрозоли : сборник докладов XI научно-прикладной международной конференции. – СПб.: Астерион, 2018. – С. 191 – 198.

25 Козлова, Н.А. К вопросу информационного и операционного обеспечения экологической безопасности / А.П. Доронин, Г.Г. Щукин, В.М. Петроченко, Н.А. Козлова, А.С. Тимощук, С.А. Шмалько // Естественные и антропогенные аэрозоли : сборник докладов XI научно-прикладной международной конференции. – СПб.: Астерион, 2018. –С. 199 – 203.