

На правах рукописи



Константинова Дарья Александровна

**Пространственное распределение параметров грозовой активности и
конвекции над Западной Сибирью**

Специальность 25.00.30. – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Томск 2013 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный университет»,
заведующая кафедрой
Метеорологии и климатологии, Геолого-географического факультета
Горбатенко Валентина Петровна

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»,
заведующий отделом
Физики облаков и атмосферного электричества
Морозов Владимир Николаевич

канд. геогр. наук
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мониторинга климатических и экологических систем» Сибирского отделения Российской академии наук,
научный сотрудник
лаборатории Физики климатических систем
Поднебесных Наталия Владимировна

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Защита состоится «25» сентября 2013 г. в 14 ч. на заседании совета Д 327.005.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» по адресу 194021 г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «ГГО». Автореферат разослан «20» августа 2013 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, *А. Вещер* А.В. Мещерская
доктор географических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Примерно двадцать миллиардов долларов составляют ежегодные потери народного хозяйства России от погодных условий, среди которых шквал, град, гроза и др. Это связано с тем, что качество и оправдываемость прогноза опасных явлений погоды, связанных с конвекцией, не удовлетворяет запросам практики.

Основная проблема качественного прогноза развития опасных конвективных явлений в атмосфере – отсутствие физической основы для численного моделирования конвективных процессов. Создание такой основы решит одну из важнейших фундаментальных проблем всех разделов физики атмосферы, так называемую проблему параметризации конвекции. Недостаточная изученность закономерностей временной и пространственной изменчивости мезомасштабной конвекции и тот факт, что конвективным явлениям присущ сугубо локальный характер, обусловленный влиянием подстилающей поверхности, создают трудности для ее параметризации и, следовательно, для численного моделирования конвективных процессов.

В настоящее время для характеристики конвекции пользуются индексами, рассчитываемыми по данным аэрологического зондирования, которые широко используются за рубежом в прогностических моделях погоды (например, в негидростатических мезомасштабных моделях MM5, WRF) для прогноза развития грозы, града, шквала и других опасных явлений погоды. Применение подобных моделей для прогноза погоды в России находится на стадии адаптации к региональным особенностям. Отсюда возникает необходимость параметризации конвекции для территорий нашей страны, т.е. определение интервалов значений термодинамических индексов, соответствующих той или иной степени развития конвекции, при достижении которых с разной степенью вероятности в атмосфере будут развиваться опасные явления конвекции.

Целью работы является определение характеристик конвекции в атмосфере Западной Сибири и оценка потенциала для развития опасных явлений погоды, связанных с конвекцией.

Основные задачи исследования:

- корректировка методики определения плотности разрядов молнии в землю как маркера развития конвекции для территорий, не освещенных инструментальными наземными наблюдениями;
- определение закономерностей развития конвекции в зависимости от физико-географических особенностей подстилающей поверхности;
- определение значений индексов неустойчивости атмосферы для исследуемой территории и их градаций по степени развития конвекции в дни с опасными явлениями погоды.

Исходные материалы и методика исследования.

Наличие опасных явлений погоды, таких как гроза, град и шквал послужило информацией о степени развития конвекции. Данные о времени образования и локализации этих явлений за период 1975-2011 гг. были получены от сети метеорологических станций Томской, Новосибирской, Омской, Кемеровской, Тюменской областей, а также от метеостанций Алтайского края и республики Алтай.

Также материалом для исследований являются данные АМСГ Томск (авиаметеорологическая станция в гражданском воздушном флоте) о наличии шквалов на прилегающей территории в летние месяцы с июня по август за исследуемый период.

Все метеорологические станции были территориально отнесены к ближайшим аэрологическим станциям Западной Сибири с учетом направлений ведущих потоков. За те дни, когда на метеостанциях регистрировались опасные конвективные явления, изучались термодинамические характеристики атмосферы, полученные по данным радиозондирования атмосферы аэрологических станций в сроки 00 и 12 часов всемирного скоординированного времени (BCB). Анализировались двадцать четыре характеристики атмосферы. Поскольку в разные месяцы они существенно различаются, то состояние атмосферы для каждого месяца изучалось отдельно.

Кроме того, помимо параметров неустойчивой атмосферы были проанализированы фоновые значения термодинамических характеристик атмосферы Западной Сибири и обнаружена их зависимость от орографических особенностей исследуемых регионов.

В качестве информации о количестве молний из космоса служили ежедневные данные наблюдений спутника «Microlab-1», принадлежавшего NASA и действовавшего в период 1995-1999 гг. Полярно-орбитальный спутник регистрировал разряды молнии над территориями, расположенными между 80° северной и южной широты, с помощью специального детектора OTD (Optical Transient Detector). Такой тип датчиков фиксирует как разряды «облако-земля», так и разряды «облако-облако». Чтобы выделить количество разрядов в землю из общего количества, использовался метод определения плотности разрядов молнии в землю для умеренных широт северного полушария. Для этого, на примере территории Германии, определялась зависимость между общим количеством разрядов, зарегистрированных из космоса, и количеством разрядов молний в землю по данным наземной инструментальной системы LPATS (Lightning Position And Tracking System). Это наземная многопунктовая система местоопределения молний, результаты наблюдений которой предоставлены компанией Siemens AG за 1995-1999 гг. Затем, используя полученную для территории Германии зависимость, рассчитывалось количество разрядов молнии в землю для территории

Западной Сибири, неоснащенной наземными инструментальными наблюдениями за разрядами молний в землю. На основе расчетной информации была построена карта-схема пространственного распределения плотности разрядов молний в землю для территорий Томской, Новосибирской, Кемеровской, Омской, Тюменской областей, а также для Алтайского края и республики Алтай.

Данная карта-схема сравнивалась с картами грозовой активности, построенными по данным многолетних наблюдений метеостанций и по инструментальным наблюдениям счетчиков разрядов молний в землю для территории Томской области.

Методами исследования являются корреляционно-статистический анализ многолетних данных наблюдений за грозами, градом и шквалом. Также проведен дискриминантный анализ значений характеристик неустойчивости атмосферы и оценена возможность их использования для составления альтернативных прогнозов развития опасных явлений погоды, связанных с конвекцией, над юго-восточной территорией Западной Сибири. Обработка данных наблюдений производилась на ПК с помощью пакетов прикладных программ (Statistica, Blitzstatistika, Excel), использующих стандартные методы математической статистики. Для визуализации полученных результатов использовался картографический пакет программы Surfer и другие графические редакторы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Скорректирована методика оценки плотности разрядов молнии в землю по спутниковым данным для территорий умеренных широт, неоснащенных наземными инструментальными наблюдениями.
2. Отдельно для каждого летнего месяца выявлены закономерности изменчивости значений ряда индексов, характеризующих конвекцию, в зависимости от времени ее развития и подстилающей поверхности.
3. Определены интервалы значений термодинамических характеристик атмосферы Западной Сибири в дни, когда наблюдались опасные явления погоды, связанные с конвекцией.

Положения, выносимые на защиту:

1. Откорректированный метод определения плотности разрядов молнии в землю по спутниковым данным позволяет рассчитать значения плотности разрядов молнии на единицу площади при отсутствии наземных инструментальных наблюдений.
2. Закономерности изменчивости ряда индексов, характеризующих конвекцию в зависимости от широты, долготы, высоты над уровнем моря и времени ее развития позволяют создать основу для ее параметризации.

3. При развитии конвекции, преодоление пороговых значений ряда термодинамических индексов является свидетельством развития опасных конвективных явлений.

4. Использование термодинамических индексов состояния атмосферы позволяет оценивать вероятность развития опасных явлений погоды, связанных с конвекцией, над районами Западной Сибири.

Практическая значимость.

Построена оценочная карта плотности разрядов молнии в землю по спутниковым данным для Западной Сибири и Алтая, которая может быть использована при планировании молниезащитных мероприятий.

Концептуальный подход для оценки потенциала атмосферы Западной Сибири может быть использован для альтернативного прогноза опасных явлений погоды, связанных с конвекцией.

Полученные пороговые значения термодинамических характеристик атмосферы, при достижении которых образуются опасные конвективные явления, с определенной степенью вероятности могут быть использованы в альтернативных прогнозах грозы над исследуемыми территориями, в том числе при анализе результатов зондирования атмосферы, получаемых с помощью спектрорадиометра MODIS, установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и EOS PM-1 (Aqua).

Результаты исследования получены при выполнении работ в рамках следующих проектов:

- № 11-05-98009-р_сибирь_а «Молнии как источник лесных пожаров в Томской области» (РФФИ) (2011-2012 гг.). По данному проекту также выполнялась работа в рамках софинансирования Администрации Томской области по договору № 9н от 15.09.2011 г.

- № 5.4093.2011 Министерства образования и науки РФ

- № 07-05-00668-а «Исследование условий образования опасных метеорологических явлений» (РФФИ) (2007-2008 гг.)

- № 08-08-01016-а «Моделирование и экспериментальное исследование электроразрядного бурения и разрушения горных пород» (РФФИ) (2008-2010 гг.)

Личный вклад.

Непосредственно автором уточнена методика оценки плотности разрядов молнии в землю для территорий умеренных широт, на которых не производятся наземные инструментальные наблюдения за молниями. Построена оценочная карта плотности разрядов молнии в землю по спутниковым данным для территорий Западной Сибири и Алтая. Создана и обработана база данных радиозондирования атмосферы по одиннадцати аэрологическим станциям Западной Сибири. Изучены фоновые значения термодинамических характеристик атмосферы и условия образования опасных

конвективных явлений, таких как гроза, град и шквал над территорией Западной Сибири отдельно для каждого летнего месяца.

Апробация работы.

Результаты исследований докладывались на 22 научных конференциях российского и международного уровня, таких как:

- 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning (China, Chengdu, 2011)
- XIV International Conference on Atmospheric Electricity (Brazil, Rio de Janeiro, 2011)
- I International Conference on Lightning Protection ICLP (Italy, Cagliari, 2010)
- VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству (Санкт-Петербург, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2012)
- VI и VII международный симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды» (Томск, ИМКЭС СО РАН, 2008, 2010)
- Восьмое и девятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу (Томск, ИМКЭС СО РАН, 2009, 2011)
- International Conference and young scientist school on computational information technologies for environmental sciences “Cites” (Красноярск, СФУ, 2009; Томск, ИМКЭС СО РАН, 2011)
- XVI и XVII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Томск, ИОА СО РАН, 2009, 2011)
- Всероссийская научная конференция «Теоретические и практические вопросы современной географии» (Томск, ТГУ, 2009)
- XVI Рабочая группа «Аэрозоли Сибири» (Томск, ИОА СО РАН, 2009)
- II Международная научно-практическая конференция «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления» (Туапсе, РГГМУ, 2011)
- IX, X и XI Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Энергия молодых – экономике России» (Томск, ТПУ, 2008, 2009, 2010)
- VIII и X Всероссийский студенческий научно-технический семинар «Энергетика: экология, надежность, безопасность» (Томск, ТПУ, 2006, 2008)
- X и XV Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (Томск, ТГПУ, 2006, 2011)

Публикации.

Основные результаты исследования отражены в 49 научных публикациях, в том числе 5 в реферируемых журналах: 2 в журнале «Вестник Томского государственного университета», 1 в журнале «Оптика атмосферы и океана» и 2 в журнале «Известия вузов. Физика».

Структура и объем работы.

Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы – 107 наименований. В ней содержится 150 страниц текста, 29 таблиц, 64 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, изложены цель и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость работы, а также определены положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются синоптические условия развития опасных конвективных явлений, таких как гроза, град, шквал и смерч, а также методы их прогноза. Приводятся краткие описания прогноза конвективных явлений по методу Н.И. Глушковой и В.Ф. Лапчевой, а также методов Н.В. Лебедевой, Бейли, Вайтинга, Фауста, Г.Д. Решетова, И.А. Славина, Кокса, Р.А. Ягудина. Из перечисленных методов были выделены основные предикторы, используемые для прогноза опасных конвективных явлений, которые сопоставлялись с параметрами, используемыми для расчета термодинамических характеристик атмосферы.

Вторая глава посвящена определению плотности разрядов молний в землю, как индикатора развития конвекции. Плотность разрядов молний определялась для юго-восточной территории Западной Сибири на основе использования информации, получаемой с искусственных спутников Земли. Построение такой карты представляется возможным на основе сравнения результатов спутниковых и наземных инструментальных наблюдений над разрядами молнии. Для корректировки предлагаемого метода и проверки его на пригодность рассматривалась территория Германии, на которой действуют как наземная система местоопределения молний, так и система регистрации из космоса.

Для сравнения результатов спутниковых и наземных наблюдений над молниями территория Германии была разбита меридианами и параллелями на ячейки, с шагом в 1° по широте и долготе. Количество разрядов молний, над каждой из ячеек пересчитывалось в плотность разрядов молнии в землю на 1 км^2 за год. Поскольку рельеф Германии чрезвычайно разнообразен, выделенные ячейки были отнесены к трем видам рельефа: равнинный (с высотой не более 300 метров над уровнем моря), возвышенности (от 300 до 1000 м над уровнем моря), и горный рельеф (с высотами более 1000 метров над уровнем моря). Для трех типов территорий были построены линейные уравнения регрессии, позволяющие оценить плотность разрядов молнии в землю по результатам спутниковых наблюдений:

Для территории Западной Сибири данные сайта NASA, содержащие информацию о количестве разрядов молний для каждой из ячеек сетки с интервалом в 1° по широте и долготе, пересчитывались в значения плотности разрядов молний на 1 км^2 за год. Полученные значения подставлялись в уравнения для оценки пространственного распределения плотности разрядов молний в землю на исследуемой территории. В результате расчетов были получены значения плотности разрядов молнии в землю для всех ячеек с шагом в 1° и построена оценочная карта-схема плотности разрядов молнии в землю для территорий Томской, Новосибирской, Омской, Тюменской и Кемеровской областей, а также для территорий Алтайского края и Республики Алтай (рис. 1).

За период с 1995 по 1999 гг. плотность разрядов молнии на территории Кемеровской области распределялась следующим образом: максимальное значение плотности разрядов молний в землю наблюдалось на северо-западе области в районе Анжеро-Судженска и Мариинска; минимальное значение плотности разрядов молнии наблюдалось на юго-востоке области, в районе п. Таштагол. В общем, по территории области значения плотности разрядов уменьшались в направлении с северо-запада на юго-восток.

Для южной территории Тюменской области значения плотности разрядов молний изменялись от 0,9 до 2,8 разр./ км^2 год. Самые высокие значения плотности разрядов молнии были приурочены к заболоченному северу (в окрестностях населенного пункта Уват – 2,5 разр./ км^2 год), а также к крупным рекам, например, в пункте Вагай, расположенном на реке Иртыш, – 2,8 разр./ км^2 год.

Над территориями Алтайского края и Республики Алтай значение плотности разрядов молнии изменялись от 1,5 до 3,5 разр./ км^2 год. Наибольшая плотность наблюдалась на территории Алтайских гор, на высоте 2000 – 3000 м над уровнем моря в районе п. Шебалино. А наименьшее значение плотности – на северо-западе исследуемой территории.

В целом, анализируя распределение плотности разрядов молнии в землю для всей территории Западной Сибири, можно отметить, что наибольшие значения (3,5 разр./ км^2 год) характерны для южной части территории (Республика Алтай), в то же время довольно высокие значения до 2,8 разр./ км^2 год, зафиксированы и для более северной Тюменской области. Вышеуказанное подтверждает значительную очаговость грозовой активности, которая обусловлена не только широтой места, но и местными особенностями рельефа, направлением воздушных потоков, состоянием подстилающей поверхности и другими факторами.

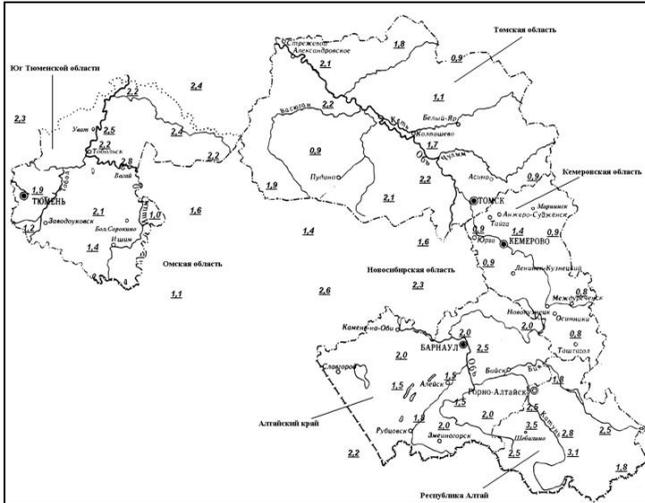


Рис. 1. Пространственное распределение значений плотности разрядов молнии над территорией Западной Сибири

Представленная карта-схема сравнивалась с картами грозовой активности, построенными по данным многолетних наблюдений метеостанций и по инструментальным наблюдениям счетчиков разрядов молнии в землю для территории Томской области.

На основании приведенного материала можно заключить, что откорректированная спутниковая информация о молниях, с достаточно хорошей точностью может использоваться для оценки пространственного распределения плотности разрядов молнии в землю для территорий, неоснащенных инструментальными измерениями молниевой активности или только приступивших к измерениям.

В третьей главе анализируются такие фоновые характеристики конвекции, как латентная нестабильность атмосферы, конвективный потенциал атмосферы, наличие сдвигов ветра в средней тропосфере, комплексные характеристики, описывающие одновременно стабильность и влагосодержание атмосферы над юго-восточной частью Западной Сибири.

Для исследуемой территории проанализированы значения следующих характеристик состояния атмосферы:

- Индекс SHOW (Showalter index) основан на свойствах уровней 850 и 500 гПа. SHOW оценивает подъем частицы сухоадиабатически с уровня 850 гПа до уровня конденсации, затем влажноадиабатически до уровня 500 гПа:

$$\text{SHOW} = T_{500} - T_p, \quad (1)$$

T_{500} – температура на уровне 500 гПа, °С; T_p – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 850 гПа, °С.

- Индекс LIFT оценивает степень стабильности, которая измеряется разностью между температурами поднимающейся частицы и окружающей среды на уровне 500 гПа. Он объединяет влажность и вертикальный градиент в одном индексе, который менее чувствителен к наблюдениям только уровня давления. Однако LIFT оценивает уровень, от которого частица поднимается, и восстанавливает график температуры окружающей среды выше уровня конденсации и ниже уровня 500 гПа, который нельзя рассмотреть детально:

$$\text{LIFT} = T_{500} - T_{p2} \quad (2)$$

Где: T_{p2} – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 500 метров над земной поверхностью при среднем давлении, температуре и точке росы, °С.

- Индекс KIND (K Index) описывает температурно-влажностное состояние атмосферы в слое 850-700 гПа, °С. KIND оценивает возможность возникновения конвекции, основанную на вертикальном градиенте температуры и вертикальной протяженности слоя наибольшего влагосодержания:

$$\text{KIND} = (T_{850} - T_{500}) + \text{TD}_{850} - (T_{700} - \text{TD}_{700}), \quad (3)$$

Где: T_{700} и T_{850} – значения температуры на уровнях 700 и 850 гПа, °С, TD_{700} , TD_{850} – значения температуры точки росы на уровнях 700 и 850 гПа, °С.

- Индекс TOTL (Total Totals index) оценивает как статическую стабильность, так и влажность на уровне 850 гПа. Но может быть неприемлемым в случае, если уровень конвекции расположен ниже 850 гПа. К тому же конвекция может существовать вопреки высоким значениям TOTL, если наблюдается значительная инверсия в верхних слоях:

$$\text{TOTL} = (T_{850} - T_{500}) + (\text{TD}_{850} - T_{500}). \quad (4)$$

- Индекс SWEAT (Severe WEATHER Threat index) оценивает потенциал (вероятность) неблагоприятных явлений погоды, объединяя несколько параметров в одном индексе: слой наибольшего влагосодержания (точка росы на уровне 850 гПа), нестабильность (TOTL), скорость ветра на уровне 850 и 500 гПа, адвекцию теплого воздуха. Таким образом, это попытка объединить

кинематическую и термодинамическую информацию в одном индексе. По существу, SWEAT может использоваться для оценки возникновения неблагоприятных метеословий:

$$\text{SWEAT} = 12 \cdot \text{TD}_{850} + 20 \cdot (\text{TOTL} - 49) + 2 \cdot \text{SKT}_{850} + \text{SKT}_{500} + \text{SHEAR}, \quad (5)$$

Где: SKT_{850} и SKT_{500} – скорости ветра в узлах на уровнях 850 и 500 гПа; SHEAR – сдвиг ветра между уровнями 500 и 850 гПа.

- Индекс CAPE (Convective Available Potential Energy) – конвективная потенциальная энергия атмосферы, Дж/кг, оценивается по следующей формуле:

$$\text{CAPE} = g \cdot \int_{\text{LFCT}}^{\text{EQLV}} \frac{T_p - T_e}{T_e} \cdot dz, \quad (6)$$

Где: g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; LFCT – уровень свободной конвекции, гПа; EQLV – высота выравнивания температур, гПа; dz – толщина слоя между уровнями LFCT и EQLV, гПа. T_e – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$.

- Индекс CINS (Convective Inhibition Energy) – энергия задерживающего слоя, Дж/кг, оценивается по следующей формуле:

$$\text{CINS} = g \cdot \int_{\text{ML}}^{\text{LFCT}} \frac{T_p - T_e}{T_e} \cdot dz, \quad (7)$$

Где: ML – высота слоя перемешивания, гПа; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; dz – толщина слоя между уровнями LFCT и ML, гПа.

Проведена оценка влияния физико-географических особенностей местности на конвективный потенциал атмосферы на юго-восточной территории Западной Сибири. Поскольку термодинамические характеристики атмосферы региона в разные месяцы различаются существенно, ее состояние для каждого месяца изучалось отдельно.

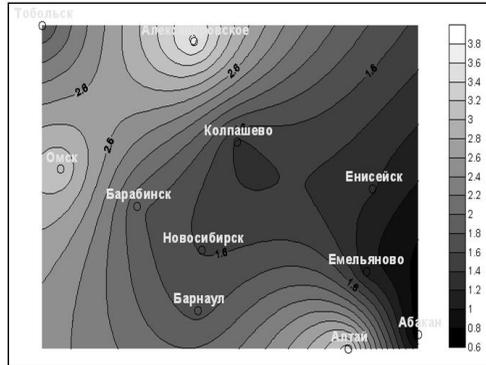


Рис. 4. Средние значения индекса LIFT

На основе анализа значений индексов SHOW, LIFT и SWEAT замечено, что обширный очаг неустойчивости атмосферы расположен в центре исследуемой территории (рис. 4). Данный очаг сохраняется в течение всех летних месяцев, достигая наибольшего развития в июле. В июне и августе расположение центра основного очага сохраняется, но уменьшается его площадь. При этом наблюдается выделение еще нескольких изолированных очагов неустойчивости на северо-западе по направлению до Тобольска и на северо-востоке до Енисейска.

Анализ значений индексов, характеризующих насыщенность атмосферы влагой (KIND, TOTL), позволил обнаружить, что очаги повышенного влагосодержания тропосферы расположены над территориями, занятыми болотами Западной Сибири, которые, играют важную роль в формировании очагов влажной конвекции в атмосфере.

Для решения задачи параметризации конвекции были исследованы корреляционные зависимости между климатическими значениями индексов и физико-географическими характеристиками района зондирования. Отмечается, что ночью наблюдается более тесная корреляционная зависимость значений индексов от географической широты и орографических неоднородностей местности. Днем влияние орографии становится более сложным, поскольку включаются механизмы конвекции, вызванные неравномерностью нагревания в зависимости от угла падения солнечной радиации на тот или иной участок земной поверхности. В соответствии с этим, меняются характеристики влажности в приземном слое атмосферы. Особенно сильно влияние орографии сказывается на высоте нижней и верхней границы развития конвекции.

Значения индексов CINS, EQLV и LFCT зависят от высоты станции (коэффициенты корреляции значимы с вероятностью не менее 95%), при этом значения индекса LFCT обнаруживают и широтную зависимость. Последняя зависимость также прослеживается у индекса CAPE. Индексы SHOW и LIFT, описывающие латентную нестабильность, зависят от местных (мезомасштабных) особенностей (наблюдаются значимые коэффициенты корреляции с вероятностью не менее 95%).

В четвертой главе анализировались данные радиозондирования атмосферы для юго-восточной территории Западной Сибири в дни, когда наблюдались грозы, град, шквалы и смерчи. Было отмечено, что:

- В дни с наличием, как грозы, так и града, все рассматриваемые характеристики имеют выраженный сезонный ход с экстремумами в июле (рис. 5). Значения индексов отличаются в разные месяцы, что следует учитывать при составлении альтернативных прогнозов опасных конвективных явлений.
- Средние значения параметров, характеризующих разницу температур окружающей среды и поднимающейся частицы (SHOW и LIFT), в дни с градом принимают меньшие значения, чем в дни с грозой, что соответствует физической картине развития грозовых и градовых облаков (рис. 5).

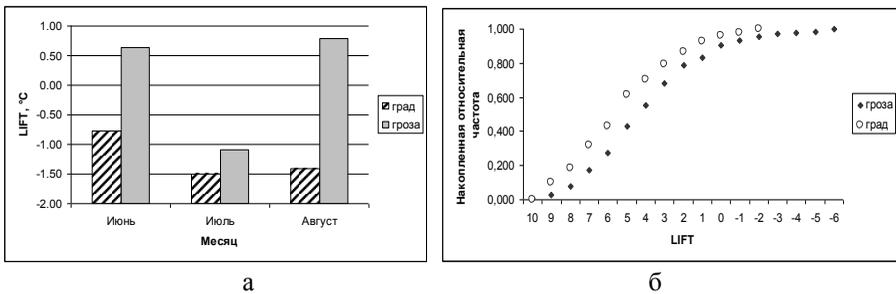


Рис. 5. Характеристики индекса LIFT за срок 12 часов ВСВ в дни с грозой и градом; а – средние значения индекса для станции Новосибирск; б – кумулятивные кривые

- Поскольку с уменьшением значений индекса LIFT неустойчивость атмосферы увеличивается, для нас представляет интерес кумулятивная кривая распределения (рис. 5), которая дает наглядное представление, как меняется накопленная относительная частота гроз и града при изменении значений индекса LIFT. Анализируя распределение, представленное на рисунке 5, можно утверждать, что около 55% всех гроз случаются при значениях LIFT от -7 до 0°C, а гроз с градом – 70%.

- Значения влажности атмосферы как в слое 700-850 гПа, так и на уровне 850 гПа в дни с грозой и градом имеют статистически значимые различия. Средние значения KIND и TOTL в дни с градом больше значений этих же характеристик в дни с грозой. Эта разница для значений KIND меняется на 9°C в разные месяцы и сроки, а для индекса TOTL до 6°C.

- При одинаковых значениях индексов накопленная относительная частота гроз и града не одинаковая, следовательно, и вероятность возникновения этих явлений будет отличаться. Например, при значениях индекса TOTL не меньше 46, наблюдалось около 29% всех дней с градом, а дней с грозой отмечено 51%.

- Определены пороговые значения термодинамических характеристик атмосферы для разной степени вероятности грозы и града (табл. 1).

- Значения термодинамических характеристик атмосферы SHOW, LIFT, KIND, TOTL и CAPE в дни со шквалом сравнимы со значениями этих же характеристик в дни с грозой и градом, и, следовательно, для прогноза шквалов над юго-востоком Западной Сибири необходимо искать дополнительные признаки.

- Средние значения характеристики, включающей в себя информацию о наличии сдвигов ветра (SWEAT), принимают наибольшие значения при шквалах, несколько меньшие значения в дни с градом и наименьшие значения – в дни с грозой. Разница между значениями индекса SWEAT достигала 80 единиц и статистически значима. Следовательно, учет сдвига ветра особенно актуален при составлении прогноза развития шквалов.

Таблица 1

Пороговые значения индексов для различной степени вероятности гроз и града

Индекс	Гроза		
	50%	70%	90%
SHOW	<2	<0	<-1
LIFT	<1	<-1	<-3
SWEAT	>125	>150	>225
KIND	>28	>30	>34
TOTL	>46	>48	>52
CAPE	>100	>300	>1000
	Град		
SHOW	<1	<0	<-2
LIFT	<-1	<-3	<-5
SWEAT	>150	>150	>225
KIND	>28	>30	>34
TOTL	>48	>50	>52
CAPE	>200	>600	>1200

Индексы SHOW, LIFT, KIND, TOTL, CAPE, CINS и SWEAT с учетом выделенных пределов для каждого из явлений перспективны для использования при составлении прогноза грозы и града над юго-восточной территорией Западной Сибири.

В заключении по результатам работы были подведены итоги и сделаны следующие выводы.

Использование откорректированной методики определения плотности разрядов молнии в землю с достаточно хорошей точностью можно применять для оценки пространственного распределения плотности разрядов молнии в землю для территорий, неоснащенных инструментальными измерениями молниевой активности или только приступивших к измерениям.

Определены закономерности пространственно-временных изменений термодинамических характеристик атмосферы в зависимости от физико-географических особенностей подстилающей поверхности.

Получена классификация состояний атмосферы для исследуемой территории в зависимости от величин термодинамических характеристик атмосферы.

Определены значения индексов неустойчивости атмосферы для исследуемой территории, выделены интервалы значений термодинамических характеристик состояния атмосферы для опасных конвективных явлений.

Также в заключении указывается направление дальнейшего развития исследования. Несмотря на то, что применение моделей типа WRF для прогноза погоды в России находятся на стадии адаптации к региональным особенностям, определение пороговых значений индексов, характеризующих степень развития конвекции над регионами России, может способствовать созданию новых методик распознавания гроз и града. Например, характеристики состояния атмосферы, получаемые с помощью спектрорадиометра MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и EOS PM-1 (Aqua) позволяют оценивать значения следующих индексов неустойчивости атмосферы: KIND, TOTL и LIFT. Параметры атмосферы, регистрируемые спектрорадиометром MODIS, имеют высокое пространственное разрешение (5×5 км в надире) и приемлемую для идентификации конвективных ячеек погрешность измерений. Значения индексов, характеризующих степень неустойчивости атмосферы в дни с грозой, рассчитываемые по данным спутникового и аэрологического зондирования, хорошо согласуются между собой.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Константинова Д.А., Горбатенко В.П. Условия образования шквала над юго-восточной территорией Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета, 2010. – № 337. – С. 189-193
2. Константинова Д.А., Горбатенко В.П. Результаты регистрации молний над юго-восточной территорией Западной Сибири // Изв. вузов. Физика. – 2011. – № 11/3.– С. 156-162
3. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана, 2009, №12, Т. 22, С.17-21.
4. Горбатенко В.П., Ершова Т.В., Константинова Д.А. Пространственное распределение плотности разрядов молнии в землю над территорией Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета, 2009. – № 329. –С. 251-256
5. Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Золотухина О.И., Тунаев Е.Л. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере Западной Сибири // Изв. вузов. Физика. – 2011. – № 11/3.– С. 148-155
6. Konstantinova D.A., Gorbatenko V.P., Ershova T.V. Spatial distribution of lightning discharges density on Western Siberia // 30 International Conference on Lightning Protection – ICLP 2010 – Cagliari, 13-17.09.2010. – Cagliari: University of Cagliari. 2010. – P. 1091-1-1092-5
7. Gorbatenko V., Konstantinova D. Convective parameters during thunderstorm, hail and squall days // XIV International conference on atmospheric electricity APL 2011, Rio De Janeiro, Brazil – August 8-12, 2011. – Sao Paulo: National Institute of Space Research, 2011. – PP. 992-996
8. Gorbatenko V.P., Konstantinova D.A. Mesoscale convection and dangerous weather phenomena in southeast of Western Siberia // 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning, November 1-4, 2011, Chengdu, China. Beijing: Tsinghua University, 2011. – PP. 160-164
9. Константинова Д.А., Горбатенко В.П. Молнии над юго-востоком Западной Сибири // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству: Сборник трудов – СПб: Изд-во Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2012. – С.133-135
10. Константинова Д.А., Горбатенко В.П., Ершова Т.В. Сравнение характеристик конвекции над равниной и горами в дни с грозой // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству: Сборник трудов – СПб: Изд-во Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2012. – С.135-137

11. Константинова Д.А., Горбатенко В.П., Ершова Т.В. Характеристика конвективного слоя атмосферы Западной Сибири в дни с грозой // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству: Сборник трудов – СПб: Изд-во Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2012. – С. 137-139

12. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Временная структура грозовой активности над Западной Сибирью и Алтаем // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству: Сборник трудов – СПб: Изд-во Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2012. – С. 53-54

13. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Результаты автоматической регистрации молний над юго-восточной территорией Западной Сибири // Климатология и гляциология Сибири: материалы Международной научно-практической конференции (г. Томск, 16-20 октября, 2012 г.) / под общ. ред. В.П. Горбатенко, В.В. Севастьянова. – Томск: Изд-во ЦНТИ, 2012. – С. 91-93

14. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Характеристики конвекции над горным Алтаем в дни с грозой // Климатология и гляциология Сибири: материалы Международной научно-практической конференции (г. Томск, 16-20 октября, 2012 г.) / под общ. ред. В.П. Горбатенко, В.В. Севастьянова. – Томск: Изд-во ЦНТИ, 2012. – С. 94-95

15. Константинова Д.А., Горбатенко В.П., Золотухина О.И. Термодинамические характеристики атмосферы в дни с опасными конвективными явлениями // Девятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Мат-лы рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Агаф-пресс, 2011. – С. 135-136

16. Константинова Д.А., Горбатенко В.П., Тунаев Е.Л. Конвекция в атмосфере Западной Сибири // Девятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Мат-лы рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Агаф-пресс, 2011. – С. 126-128

17. Konstantinova D.A. Determination of lightning discharged density on the territory of Western Siberia // Computational Information Technologies for Environmental Sciences: Selected and reviewed papers presented at the International Young Scientists School and Conference CITES-2011, Tomsk, Russia, July 3-13, 2011. – 2011: Томский ЦНТИ, 2011. – P. 199-201

18. Konstantinova D.A. Lighting discharges density on the Tomsk region's territory //International Conference on Computational information technologies for Environmental Sciences (CITES-2009) – Krasnoyarsk, July 11-15, 2009. – 2009: Томский ЦНТИ, 2009. – P. 74-75