

УДК 551.5

На правах рукописи



**Шахаева Елена Викторовна**

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ  
ОБРАЗОВАНИЯ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ И ГРОЗ  
НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Казань – 2016

Работа выполнена на кафедре метеорологии и охраны атмосферы  
в ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

**Научный руководитель:** **Латышева Инна Валентиновна**  
кандидат географических наук, доцент кафедры  
метеорологии и охраны атмосферы  
географического факультета ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Официальные оппоненты:** **Рыхлов Александр Богданович**  
доктор географических наук, профессор, кафедры  
метеорологии и климатологии ФГБОУ ВО  
«Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н.Г.  
Чернышевского»

**Гоголь Феликс Витальевич**  
кандидат географических наук, начальник  
Гидрометцентра ФГБУ «УГМС Республики  
Татарстан»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»

Защита диссертации состоится 23 июня 2016 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании  
Диссертационного совета Д 212.081.20 в Казанском (Приволжском)  
федеральном университете по адресу: 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 5,  
Институт экологии и природопользования КФУ, ауд. 315.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им.  
Н.И.Лобачевского ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный  
университет». Электронная версия автореферата размещена на официальном  
сайте Казанского (Приволжского) федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваши отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 420008,  
г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский (Приволжский) федеральный  
университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843)  
2337867. E-mail: 1aotdel@kpfu.ru.

Автореферат разослан «12» мая 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук, доцент



Ю.Г. Хабутдинов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Конвективная облачность, ливневые осадки и грозы – одни из самых опасных, изменчивых во времени и пространстве, и трудно прогнозируемых метеорологических явлений, сведения о которых представляют актуальность как в научном плане, так и для решения ряда прикладных задач в метеорологии и климатологии. Конвективные явления в атмосфере проявляют себя в различных масштабах, начиная от мезомасштабных процессов развития термической конвекции в неустойчиво стратифицированной атмосфере до развития конвективных облаков фронтального типа, занимающих значительные по площади территории. Во всех случаях существенное влияние на развитие конвекции, образование ливней и гроз оказывает рельеф, определяя довольно неоднородный характер их распределения во времени и в пространстве.

В настоящее время выделяется несколько основных направлений в исследованиях ливней и гроз. Исследуются физика грозовых процессов в атмосфере, климатология ливней и гроз, изучаются метеорологические и синоптические условия их образования. Наиболее перспективным представляется развитие численных моделей прогнозирования атмосферной конвекции, но, несмотря на достигнутые успехи в этом направлении, проблема качественного прогноза развития опасных конвективных явлений в атмосфере остается пока нерешенной. Учитывая сложный физический механизм образования ливневых осадков и гроз, недостаточную изученность закономерностей временной и пространственной изменчивости и тот факт, что конвективным явлениям нередко присущ локальный характер, обусловленный влиянием подстилающей поверхности, неизбежным шагом на пути к решению данных проблем могут быть отнесены региональные исследования.

Климатология ливней и гроз, закономерности их распределения по территории Иркутской области и синоптические условия образования наиболее активно исследовались во второй половине XX века и отражены в работах А.Х. Филиппова, А.А. Кречетова, Д.Ф. Хуторянской и Ю.В. Шаманского. Значительный рост экстремальных характеристик климата на территории Иркутской области в последние десятилетия увеличивает вероятность существующих рисков негативных воздействий интенсивных осадков и гроз на различные стороны деятельности человека (сельское хозяйство, транспорт, системы связи и т.д.). Поэтому представляет интерес исследование закономерностей распределения ливневых осадков и гроз и условий их образования с использованием эмпирических данных последних десятилетий, что позволит глубже изучить и понять физические процессы образования конвективных явлений.

Цель работы: определение закономерностей пространственно-временных вариаций конвективной облачности, ливневых осадков и гроз на территории Иркутской области и исследование синоптических процессов их образования в условиях современных тенденций изменений климата.

В соответствии с поставленной целью сформулированы основные задачи исследования:

– сформировать базу данных и выполнить статистический анализ временных рядов средней месячной повторяемости кучевых форм облачности, количества дней с ливневыми осадками и грозами на территории Иркутской области;

– провести картирование конвективных явлений и выявить вклад орографических и циркуляционных факторов в формирование мезомасштабных неоднородностей пространственного распределения;

– исследовать метеорологические условия образования ливней и гроз в различных синоптико-климатических районах Иркутской области;

– разработать типизацию синоптических процессов образования ливней и гроз на основе комплексного анализа приземных карт и карт барической топографии;

– исследовать механизм образования зимней грозы – редкого погодного явления на территории Иркутской области.

**Таким образом**, настоящая работа объединяет широкий круг задач, решение которых ориентировано на региональные аспекты исследования грозовых процессов и улучшение качества их прогнозирования в Иркутской области, территория которой характеризуется высокой степенью расчлененности рельефа и значительной климатической изменчивостью.

#### Материалы и методика исследования

Основным методом настоящего исследования является физико-статистический анализ данных повторяемости кучевых и кучево-дождевых облаков, месячного количества атмосферных осадков, числа дней с грозой и суточным количеством осадков  $\geq 20$ ,  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 80$  и  $\geq 120$  мм 86 метеорологических станций и 88 метеорологических постов Иркутской области за 2000–2013 гг. Для выявления многолетних тенденций изменения атмосферных осадков и гроз рассматривались временные ряды за период 1961–2013 гг.

Анализ метеорологических данных произведен с помощью пакетов прикладных программ (MATLAB, Excel, Statistica и StatGraphics), включающих в себя стандартные методы обработки рядов наблюдений на основе математической статистики, с использованием оценки достоверности результатов. Для получения выводов применены расчетный метод квартилей по интервальному вариационному ряду, автокорреляционный, трендовый и спектральный анализы, комплексный Вейвлет Морле (Morlet).

На основе построения карт с применением В-сплайн аппроксимации анализировались пространственные особенности распределения ливней и гроз. Исследования синоптических процессов, благоприятных для возникновения и развития гроз, осуществлялись путем анализа синоптических карт.

#### Научная новизна

Проведенное исследование позволило получить новые результаты по важнейшим вопросам формирования грозовых облаков и выпадения ливневых осадков на территории Иркутской области.

1. Впервые на основе современных данных и применения геоинформационных систем получены карты распределения опасных конвективных явлений на территории области.

2. Впервые проведена количественная оценка зависимости грозовой активности от широты, долготы и высоты метеорологических станций.

3. Статистически достоверно установлено наличие циклов различного периода во временном ходе грозовой активности, которые коррелируют с периодичностью повторяемости синоптических процессов.

4. Предложена новая методика исследования синоптических условий образования ливневых осадков и гроз, учитывающая траектории смещения и стадии развития барических образований, термобарическую структуру нижней, средней и верхней тропосферы.

5. Впервые проведено исследование синоптических условий образования гроз и ливневых осадков над значительной площадью территории Иркутской области, представляющее практический интерес для прогноза опасных явлений погоды.

6. Впервые исследован механизм образования зимней грозы – редкого атмосферного явления на территории Иркутской области.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты позволили более глубоко исследовать региональные особенности развития конвективных процессов на территории Иркутской области в условиях меняющегося климата.

Практическая реализация результатов определяется главным образом возможностью использования количественных данных о грозовых процессах и ливневых осадках для уточнения климатических показателей. Типизация синоптических процессов возникновения ливней и гроз применяется в оперативной практике отдела краткосрочных прогнозов ФГБУ «Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» в целях повышения оправдываемости прогнозов ливней и гроз.

Положения, выносимые на защиту:

1. Картирование территории Иркутской области по месячным значениям повторяемости конвективных форм облаков, количества дней с грозой и ливневыми осадками, которое выявило очаговый характер распределения и сезонные различия, проявляющиеся в период господствующего влияния зимних и летних форм атмосферной циркуляции.

2. Наибольший вклад в изменении числа дней с грозой на территории Иркутской области в современный период обеспечивают мезомасштабные особенности атмосферной циркуляции.

3. Разработанная региональная методика типизации синоптических процессов образования ливневых осадков и гроз, которая учитывает термобарическую структуру тропосферы, траектории смещения и стадии развития барических образований и позволяет оценивать вклад различных слоев атмосферы в развитие конвекции.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов обеспечивалась применением для анализа больших массивов исходной метеорологической информации, хорошей согласованностью результатов, полученных различными статистическими методами исследования, использованием современных методов синоптического анализа, непротиворечивостью теории образования конвекции в атмосфере Земли и полученных результатов.

Личный вклад соискателя. Автор принимал непосредственное участие в постановке цели работы и разработке методики исследования. Подготовлен электронный массив и проведена статистическая обработка данных 86 метеорологических станций и 88 постов; совместно с руководителем диссертации проведена типизация атмосферных процессов образования гроз и ливневых осадков в Иркутской области.

#### Апробация работы

Основные положения работы и полученные результаты представлены на Всероссийской конференции «Солнечная активность и природа глобальных и региональных климатических изменений» (Иркутск, 2010); Первой Международной научно-методической конференции (Украина, Киев, 2012); Ежегодной научно-практической конференции студентов и аспирантов «Ресурсы Байкальского региона: освоение, состояние, экологические проблемы» (Иркутск, 2015); Конференции, посвященной Всемирному метеорологическому дню, Всемирному дню охраны водных ресурсов и Дню работников гидрометслужбы России (Иркутск, 2014); Научном семинаре кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского (Приволжского) федерального университета (Казань, 2014); Международной конференции «Исследование изменений климата с использованием методов классификации режимов циркуляции атмосферы» (Москва, 2016).

#### Публикации

По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 6 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

#### Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 171 страницу, включая 48 рисунков, 15 таблиц и 4 приложения. Библиографический список включает 207 источников.

Благодарности. Автор выражает признательность своему научному руководителю доценту кафедры метеорологии и охраны атмосферы ИГУ И.В. Латышевой за поддержку на всем протяжении исследовательской работы, доценту ИГУ А.А. Макарову в построении карт; коллективу Иркутского УГМС за большой массив предоставленных данных; заведующему кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ, профессору Ю.П. Переведенцеву за научные рекомендации на заключительном этапе подготовки диссертации; заведующей кафедрой метеорологии и климатологии ТГУ, профессору В.П. Горбатенко за ценные методические и научные рекомендации.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение содержит общие сведения о диссертации, ее актуальности. Сформулированы цели, задачи исследования и основные положения, выносимые на защиту. Изложены научная новизна и практическая значимость результатов работы.

Первая глава посвящена обзору научных публикаций современных методов исследования конвективных облаков и погодных явлений, связанных с ними.

Раздел 1.1. Проведен краткий обзор научных исследований конвективных процессов, выполненных в России и за рубежом. Внимание акцентировано на ранних этапах развития теории атмосферного электричества, образования ливней и гроз. Отмечен вклад крупнейших физиков-теоретиков: М.В. Ломоносова, Б. Франклина, Дж. Дж. Томсона, Я.И. Френкеля. В России важнейшие закономерности изменения характеристик атмосферного электричества описаны в работах И.И. Имянитова, В.П. Колоколова, Т.В. Лободина, Л.Г. Махоткина, П.Н. Тверского, А.Х. Филиппова и др.

Раздел 1.2. Представлен краткий обзор исследований физических процессов, происходящих на разных стадиях развития кучево-дождевого облака. Особое внимание уделено исследованию мезомасштабных особенностей конвективных облаков, с которыми связано возникновение опасных явлений погоды локального характера, представляющих наибольшую трудность для прогнозирования.

Раздел 1.3. Приводятся результаты современных исследований физических и синоптических условий образования ливневых осадков и гроз и методов их прогнозирования. Отмечен вклад Н.А. Багрова, А.А. Бачуриной, Г.К. Веселовой, Н.И. Глушковой, Г.В. Грузы, Н.В. Лебедевой, Е.Н. Морозовой, Е. М. Орловой, Д.А. Педя, Г.Д. Решетова, Г.К. Сулаквелидзе, Л.М. Федченко, Н.С. Шишкина, Р.А. Ягудина и др. в развитие синоптико-статистического направления прогнозирования гроз, М.И. Юдина, А.В. Мещерской и др. в развитие физико-статистических методов прогноза. Установлено, что общий фон для возникновения и развития конвективной облачности, ливневых осадков и гроз на достаточно больших территориях создают макроциркуляционные процессы. Поэтому при анализе синоптических условий образования ливней и гроз широко используются различные типизации атмосферных процессов (Б.П. Мультиановского, А.Л. Каца, Б.Л. Дзердзеевского и др.), учитывающие положение оси планетарной высотной фронтальной зоны, траектории смещения барических образований и данные стратификации атмосферы в точке, откуда ожидается приход воздушной массы. Выявлено, что вероятность гроз существенно выше при циклоническом типе погодных условий, чем при наличии антициклонической завихренности. Современные методы исследования фронтальных гроз показали, что воздушные массы и параметры атмосферы в зоне грозовой деятельности характеризуются многослойностью. Отмечено, что за последние 10–15 лет достигнуты заметные успехи в области гидродинамического моделирования и численного прогнозирования конвективных явлений. Однако главная цель таких моделей – добиться качества (точности) прогнозов опасных явлений погоды, включая очень сильные ливни,

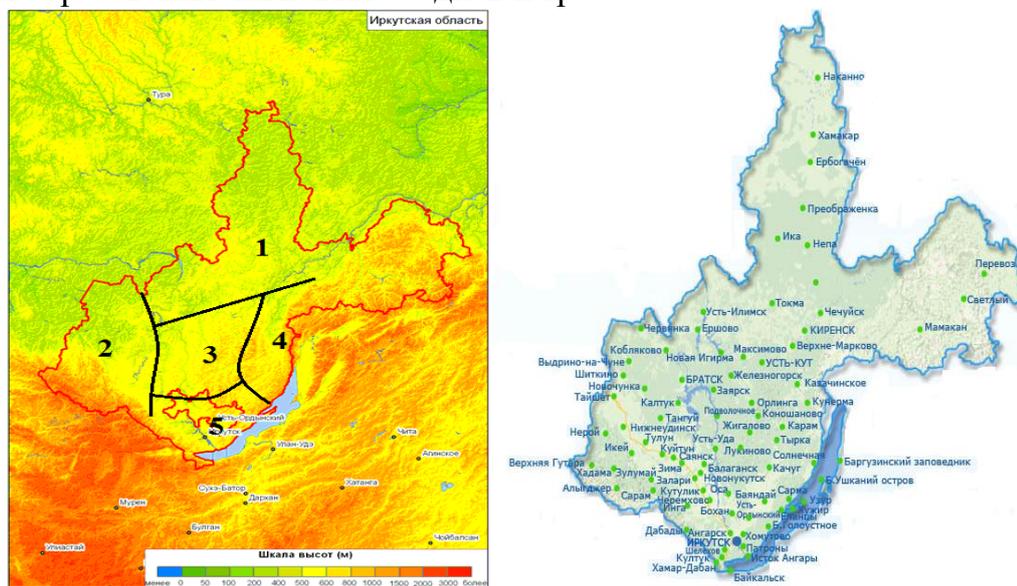
необходимого для оперативного прогнозирования и превентивных мер – пока не достигнута. Поскольку глобальные модели атмосферы даже при высоком пространственно-временном разрешении в настоящий момент не учитывают все локальные особенности территорий, по которым составляется прогноз ливней и гроз, в оперативной практике широко используются синоптико- и физико-статистические методы прогноза, которые нуждаются в уточнении в условиях современных тенденций изменений климата.

Раздел 1.4. Рассмотрены современные тенденции изменений климата и их влияние на экстремальность погодных явлений на территории России. Установлено, что наблюдаемые в последние десятилетия темпы роста средних годовых температур (0,51 °C/10 лет) на территории объекта исследования (Иркутская область) заметно превышают темпы роста средних температур Северного полушария, а выявленные в грозовой активности территории Прибайкалья и побережья оз. Байкал циклы короткого периода (3–4, 5, 8 и 11 лет), скорее всего, связаны с процессами синоптического масштаба.

Основной вывод по первой главе. Поскольку конвективные процессы локальны, важно их исследование на региональном уровне.

Вторая глава посвящена описанию материалов и методов исследований.

Раздел 2.1. Рассмотрены физико-географические и синоптико-климатические особенности территории Иркутской области (рис.1). Установлено, что исследуемую территорию характеризуют пространственная неоднородность в распределении климатических условий и высокая степень изменчивости циркуляционных факторов на фоне резко расчлененного рельефа, что необходимо учитывать при изучении метеорологических и синоптических условий образования ливневых осадков и гроз.



Районы: 1 – Северный, 2 – Западный, 3 – Центральный,  
4 – Верхне-Ленский, 5 – Южный

Рис.1. Границы синоптико-климатических районов Иркутской области и карта-схема сети метеорологических станций Иркутского УГМС

Раздел 2.2. Дано обоснование материалам и методам исследования. Исходным материалом, использованным в работе, являются многолетние данные визуальных наблюдений за кучевыми, кучево-дождевыми облаками и

грозами 86 метеорологических станций и инструментальных измерений количества атмосферных осадков 86 метеорологических станций и 88 метеорологических постов Иркутской области за период 2000–2013 гг., который характеризует современные особенности климатического режима Иркутской области и по времени согласуется с последним периодом современной циркуляционной эпохи Северного полушария по типизации Б.Л. Дзердзеевского.

Для оценки пространственно-временных особенностей распределения повторяемости конвективных облаков, распределения месячного количества осадков, числа дней с грозами и количеством осадков  $\geq 20$ ,  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 80$  и  $\geq 120$  мм за сутки применялся метод картирования, в основе которого лежит многоуровневая В-сплайн аппроксимация. В-сплайн аппроксимация используется для вычисления непрерывной поверхности через набор нерегулярно расположенных точек и, на наш взгляд, оптимально подходит для территории Иркутской области, которой характерны указанные особенности в расположении метеорологических станций и постов (рис.1).

Для оценки зависимости распределения числа дней с грозой от высоты станции и пространственной ориентации по широте и долготе использовался расчетный метод квантилей по интервальному вариационному ряду. Для оценки долговременных тенденций временных рядов месячных сумм атмосферных осадков и числа дней с грозой использовался трендовый анализ (линейный), значимость которого оценивалась по коэффициентам аппроксимации. В качестве исходных использованы многолетние данные наблюдений на станциях, расположенных в разных синоптико-климатических районах Иркутской области, за период 1961–2013 гг. (данные за более ранние годы отсутствуют на некоторых исследуемых станциях в архиве ИУГМС).

Для выявления циклических закономерностей временных рядов числа дней с грозой применялись методы Фурье-преобразования (single spectrum):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-2j\pi ft} dt \quad (1),$$

где  $t$  – время;  $f$  – частота,  $x$  – сигнал во временной области;  $X$  – сигнал в частотной области и комплексный Вейвлет Морле (Morlet), определяемый по формуле:

$$\Psi(t) = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\pi}}} e^{i\frac{2\pi}{T}t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2),$$

где  $T$  – период осцилляций, определяющий максимальное значение частоты, которую он может обнаружить. Вейвлет Морле дает результаты, наиболее согласованные с терминами Фурье-анализа, но в отличие от Фурье-преобразования локализован как во временной, так и в частотной области, т.е. более информативен для анализа временных метеорологических рядов. Поэтому совместное использование Фурье и Вейвлет-анализа, на наш взгляд, позволяет устранить лишние шумы и повысить информативность анализа временного ряда числа дней с грозой.

Анализ синоптических условий образования ливневых осадков и гроз основан на методах синоптического анализа приземных карт погоды, карт барической топографии и дешифрирования архивных космических снимков облачного покрова ИСЗФ СО РАН (г. Иркутск).

Основной вывод по второй главе. Совместное использование различных статистических методов и учёт особенностей подстилающей поверхности позволяет более достоверно оценить пространственно-временные особенности распределения конвективной облачности, ливневых осадков и гроз в исследуемом регионе.

Третья глава посвящена исследованию пространственно-временных особенностей распределения конвективных явлений в Иркутской области.

Раздел 3.1. Представлен краткий литературный обзор исследований конвективных явлений на территории Иркутской области, выполненных со второй половины XX века. Особое внимание уделено географическим особенностям распределения ливней и гроз. Отмечен вклад А.Х. Филиппова, Д.Ф. Хуторянской, К.Н. Мизандронцевой, Ц.А. Швер и специалистов Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, которыми выявлены локальные очаги максимумов повторяемости ливневых осадков и гроз, связанные с возвышенными формами рельефа. На основе автокорреляционного и спектрального анализов обнаружена скрытая периодичность в колебаниях числа дней с грозой со значимыми циклами короткого и среднего периода (от 2 до 11 лет), указывающими на наличие статистической связи с региональными и крупномасштабными атмосферными процессами.

Раздел 3.2. Представлены результаты впервые выполненных на территории Иркутской области исследований пространственно-временных особенностей распределения кучевых и кучево-дождевых облаков. Установлено, что на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. кучево-дождевые облака в среднем за год наблюдались в три раза чаще кучевых облаков. Отчетливо выражены сезонные и пространственные различия в распределениях максимумов их повторяемости. Основной максимум повторяемости кучевых облаков отмечался при развитии термической конвекции летом (июнь, июль), а основной максимум повторяемости кучево-дождевых облаков наблюдался осенью (октябрь), что можно объяснить более частым прохождением в это время года атмосферных фронтов, с которыми связано развитие вынужденной конвекции и образование фронтальных кучево-дождевых облаков. Локальные очаги максимумов повторяемости кучевых облаков чаще приурочены к пониженным формам рельефа (Прибайкальская впадина, Приангарское плато), а локальные максимумы повторяемости кучево-дождевой облачности преимущественно формировались на склонах горных хребтов. Выявлено, что существенный вклад в образование конвективной облачности в холодный период года на южном побережье оз. Байкал вносит тепляющее влияние водоема.

Раздел 3.3. Впервые для территории Иркутской области проведено картирование месячных сумм атмосферных осадков и числа дней с градациями атмосферных осадков  $\geq 20$ ,  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 80$  и  $\geq 120$  мм/сутки за 2000–2013 гг. Основное внимание уделено анализу орографических и циркуляционных факторов. В распределении месячных сумм атмосферных осадков по территории области отчетливо прослеживаются пространственные различия в период господствующего влияния зимних и летних типов атмосферной

циркуляции. С сентября по март локальные максимумы количества атмосферных осадков выявлены в Северном районе и могут быть обусловлены вкладом процессов циклонического типа, наиболее выраженных по северу области в это время года (рис.2.а). С апреля по август максимумы месячных сумм атмосферных осадков приурочены в основном к возвышенным формам рельефа (рис.2б). Необходимо отметить, что в ноябре и в декабре заметно возрастает количество атмосферных осадков на южном побережье оз. Байкал, где в их увеличении, возможно, сказывается локальный циклогенез над более теплой поверхностью водоема, который поддерживает развитие восходящих потоков и, как следствие, создает благоприятные условия для выпадения атмосферных осадков.

Наибольший интерес с точки зрения возможного негативного влияния на различные сферы деятельности человека представляют атмосферные осадки с количеством от  $\geq 20$  до  $\geq 120$  мм/сут. Установлено, что указанные суммы атмосферных осадков в исследуемый период чаще всего отмечались в летние месяцы в предгорьях Восточных Саян и в Южном Прибайкалье, что хорошо согласуется с пространственными особенностями распределения максимумов месячных сумм атмосферных осадков в это время года на территории Иркутской области.

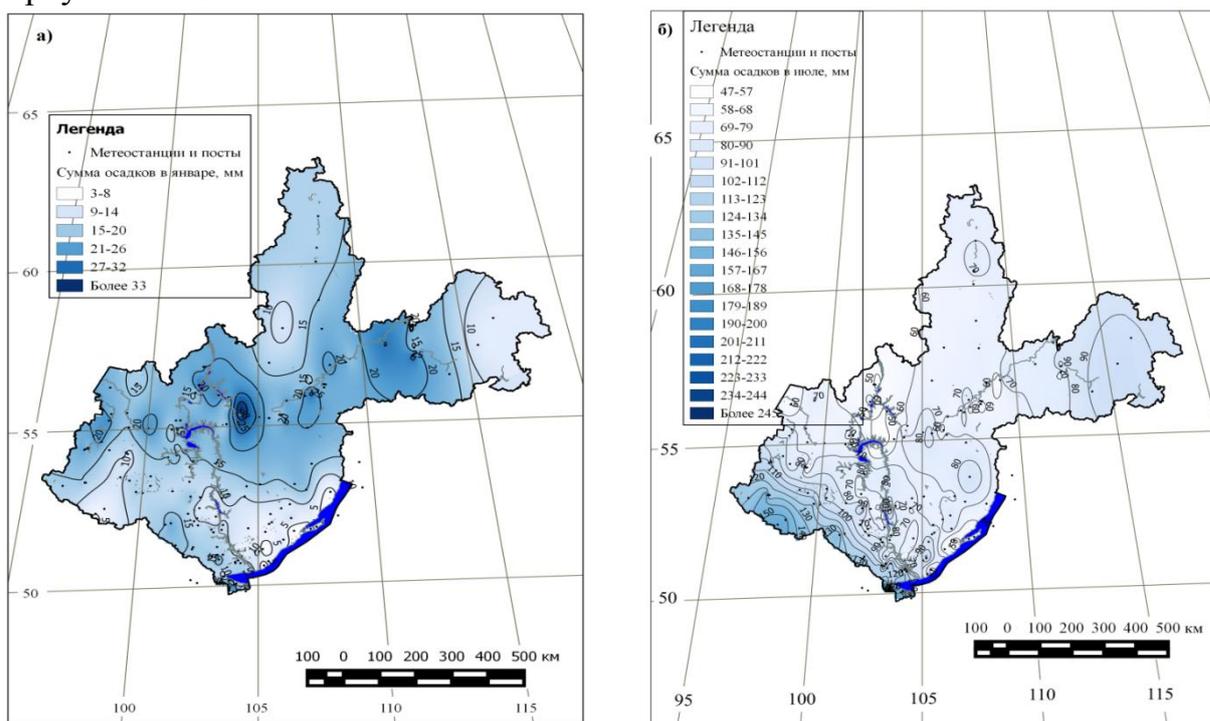


Рис.2 Распределение средних значений месячных сумм атмосферных осадков на территории Иркутской области в январе (а) и июле (б) 2000–2013 гг. (точками показаны метеорологические станции и посты)

Раздел 3.4. Представлены результаты исследования пространственно-временных особенностей распределения среднего месячного числа дней с грозой на территории Иркутской области за 2000–2013 гг. (рис.3). В отличие от ранее проведенных исследований, где выделено три зоны максимальной повторяемости гроз (высокогорная часть Восточного Саяна; Ангарский кряж; обширная часть Лено-Ангарского плато и Прибайкальской впадины), в

исследуемый нами период очерчивается пять зон, где наряду с указанными ранее, выделяется значительная часть Ербогаченской равнины и Патомское нагорье (Северный район). Необходимо отметить, что пространственные особенности распределения среднего числа дней с грозой хорошо согласуются с пространственными особенностями распределения повторяемости кучево-дождевой облачности.

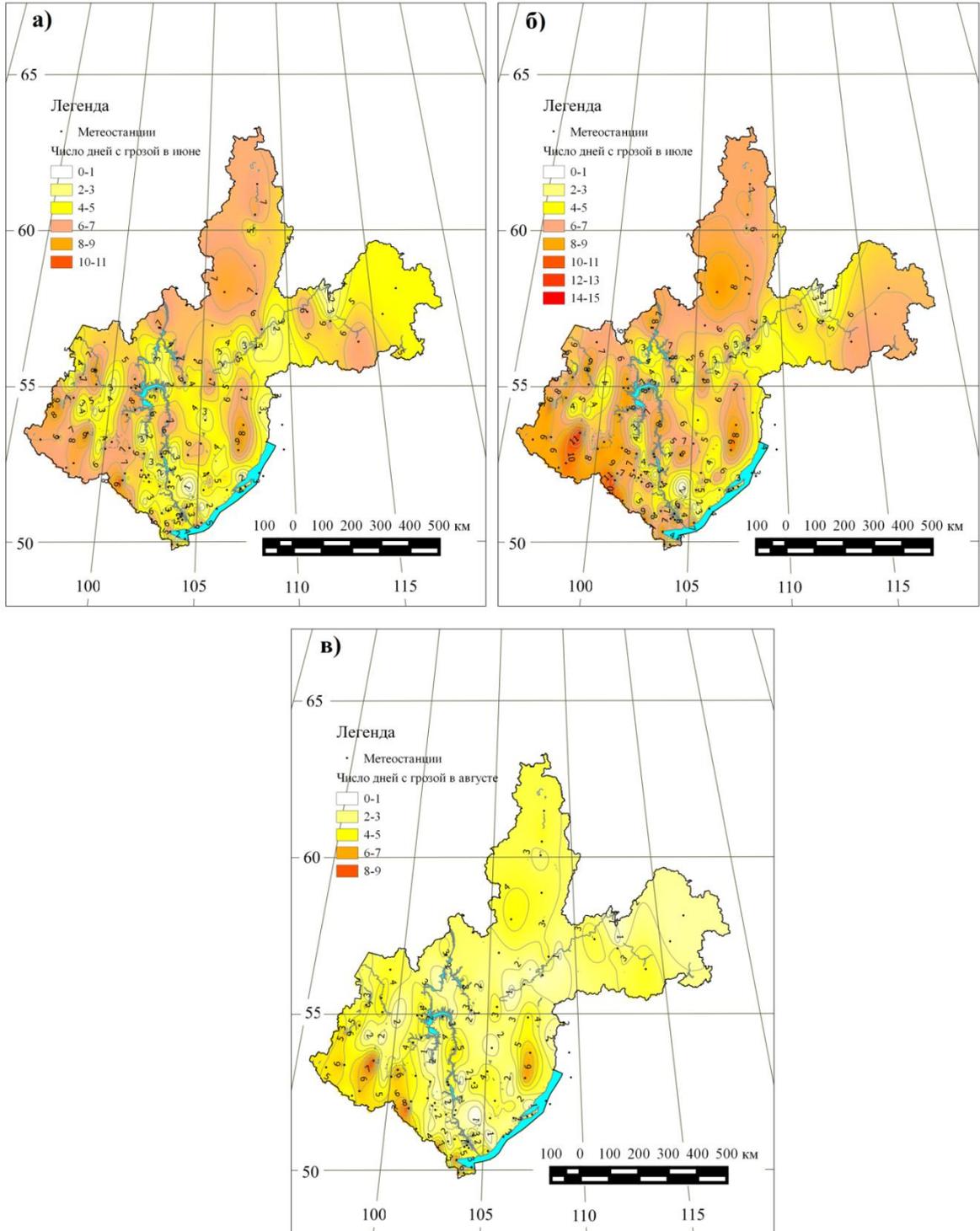


Рис.3 Среднее число дней с грозой на территории Иркутской области в июне (а), июле (б) и августе (в) 2000–2013 гг. (точками показаны метеорологические станции)

Более детальный анализ, выполненный на основе вариационной оценки зависимости числа дней с грозой от расположения метеорологических станций с севера на юг, с запада на восток и от высоты станций, показал отсутствие статистически значимых связей между рассматриваемыми характеристиками.

Оценка многолетних тенденций временных рядов, выполненная на основе линейного тренда, не выявила наличие значимых коэффициентов в исследуемый нами период (1961–2013 гг.). По данным автокорреляционного анализа годового числа дней с грозой, наиболее высокой оказывается корреляция при сдвиге на временные интервалы до 9 лет при квадратической ошибке на исследуемых станциях 0,07–0,08, что, согласно проведенным ранее исследованиям, выполненным А.Х. Филипповым, связывают с инерционностью атмосферы и преемственностью режима увлажнения от года к году. На основе методов Фурье и вейвлет-преобразований в многолетних изменениях числа дней с грозой выделены преобладающие циклы короткого периода (табл.1), которые являются одной из характерных мод межгодовой изменчивости климатических переменных и процессов синоптического масштаба, что указывает на актуальность исследований синоптических процессов образования гроз на территории Иркутской области.

Таблица 1

Периодичность числа дней с грозой  
на станциях Иркутской области в 1961–2013 гг.

Синоптико-климатический район	Станция	Фурье-преобразование (годы)	Вейвлет-преобразование (Морле)				
			Периоды (лет)				
			0–1	2–4	5–8	9–16	17–32
Северный	Киренск	3, 4, 13, 27		+		+	+
Центральный	Братск, обс.	27, 3, 2, 5			+	+	+
Западный	Нижнеудинск	27, 4, 2		+	+	+	
Верхне-Ленский	Качуг	2, 4, 5, 3, 27		+		+	
Южный	Иркутск, обс.	27, 3, 9, 4		+		+	+
	Исток Ангары	27, 5, 3, 13		+		+	
	Хужир	6, 27, 5, 8	+		+		
	Хамар-Дабан	27, 18, 5, 7		+	+	+	
	Сарам	27, 4, 2, 13		+	+		+

Основной вывод по третьей главе. Отсутствие статистически значимых зависимостей числа дней с грозой от высоты станций, широты и долготы и наличие циклов короткого периода в изменении числа дней с грозой, которые свойственны повторяемости синоптических процессов, указывает на проявление мезомасштабных форм атмосферной циркуляции в распределении гроз на территории Иркутской области в условиях неоднородного рельефа.

Четвертая глава посвящена исследованию метеорологических и синоптических условий образования ливневых осадков и гроз на территории Иркутской области в 2000–2013 гг.

Раздел 4.1. Представлены результаты региональных синоптических исследований ливневых осадков и гроз на территории Иркутской области, выполненных во второй половине XX и начале XXI века. Установлено, что в основу типизации синоптических процессов заложен принцип выделения господствующего типа атмосферных процессов на высоте ведущего потока (3–5 км), отражающего характер адвекции воздушной массы и преобладающего типа процессов у поверхности Земли (фронтальный или внутримассовый). Выявлено, что чаще всего грозы и ливни в Иркутской области носили фронтальный характер и были связаны с адвекцией холодной влажной воздушной массы в зонально ориентированные потоки на высотах.

Раздел 4.2. Представлены результаты выполненных автором исследований синоптических и метеорологических условий образования гроз, сопровождаемых выпадением ливневых осадков в теплый период (IV–IX) за 2000–2013 гг. в трех синоптико-климатических районах Иркутской области, которые были выбраны аналогично ранее проведенным исследованиям второй половины XX века. Всего было проанализировано 260 случаев образования гроз на ст. Иркутск (Южный район), 244 на ст. Киренск (Северный район) и 256 на ст. Нижнеудинск (Западный район). Выявлено, что в большинстве случаев ( $\geq 40\%$ ) при образовании гроз, сопровождаемых выпадением ливневых осадков, на высоте ведущего потока АТ–700 гПа (3 км) во всех исследуемых синоптико-климатических районах области наблюдалась передняя часть высотной ложбины, где отмечались адвективно-динамические факторы падения давления, благоприятные для развития восходящих движений теплого воздуха с юга и юго-запада. Реже всего (2–8%) грозы с ливневыми осадками отмечались при прохождении осей высотного гребня, где преобладали адвективно-динамические факторы роста атмосферного давления (табл.2).

Таблица 2

Средние значения изменений геопотенциальных высот АТ–700 гПа (джм/12 ч.) при грозах с ливневыми осадками в Иркутской области в 2000–2013 гг.

Синоптико-климатический район	Тип высотного барического поля					
	ложбина			гребень		
	передняя часть	ось	тыловая часть	передняя часть	ось	тыловая часть
Южный	–3,8	–3,2	+0,9	+1,3	+3,2	+2,2
Западный	–3,6	–3,8	–0,2	+3,3	+1,5	+0,9
Северный	–3,1	–2,7	+0,3	+1,4	+1,6	+1,1

С учетом траекторий смещения барических образований грозы с ливневыми осадками в Южном и Западном районах чаще всего отмечались при смещении циклонов с юга и запада, либо на восточной и северо-восточной перифериях антициклонов; в Северном районе при смещении ныряющих и западных циклонов, в размытых барических полях пониженного или повышенного атмосферного давления (рис.4).

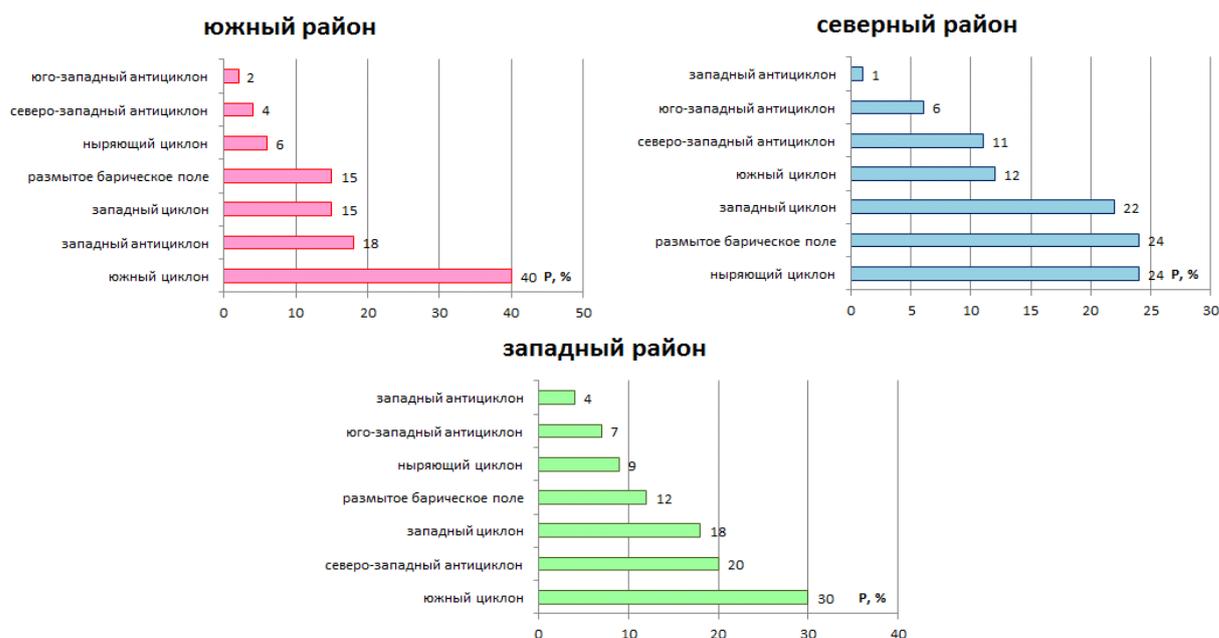


Рис.4 Средняя повторяемость (%) типов приземного поля давления для случаев гроз с ливневыми осадками в Иркутской области в 2000–2013 гг.

Выявлено, что фронтальные грозы с ливневыми осадками во всех исследуемых синоптико-климатических районах Иркутской области чаще всего наблюдались при прохождении основных и вторичных холодных фронтов (46–77%), что согласуется с результатами исследований, полученных ранее. В то же время в последние годы на территории Иркутской области увеличилась повторяемость гроз с выпадением ливневых осадков на фронтах окклюзии, в Северном районе – в зоне теплых атмосферных фронтов (табл.3).

Таблица 3

Средняя повторяемость (%) различных типов атмосферных фронтов для случаев гроз с ливневыми осадками в Иркутской области в 2000–2013 гг.

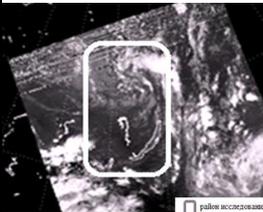
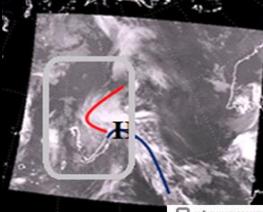
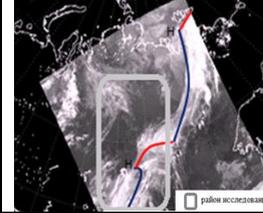
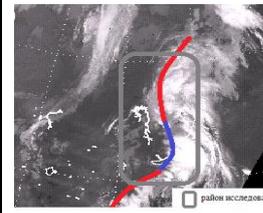
Синоптико-климатический район	Тип атмосферного фронта				
	теплый		холодный		окклюзии
	теплый	с волнами	основной	вторичный	
Южный	4	6	59	18	13
Западный	5	4	71	11	9
Северный	12	28	37	9	14

Анализ характеристик воздушных масс, определяемых по значениям адвективных изменений температуры воздуха за сутки, показал, что образование внутримассовых гроз с ливневыми осадками в Северном и Южном районах Иркутской области чаще всего происходило в местной неустойчивой воздушной массе в послеполуденные и вечерние часы суток (42–54%). В Западном районе Иркутской области они чаще наблюдались в холодной (38%) или местной (36%) неустойчиво стратифицированных воздушных массах.

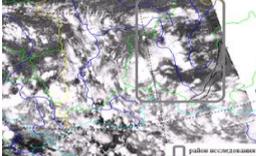
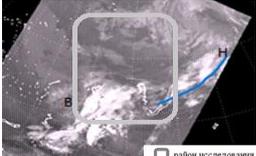
На основе анализа синоптических карт и дешифрирования космических снимков были выделены синоптические признаки атмосферных процессов, сопровождавшихся грозами с выпадением ливневых осадков в Иркутской области в 2000–2013 гг. В табл.4 и 5 в качестве примера показаны синоптические признаки фронтальных и внутримассовых ливней и гроз.

Таблица 4

Характерные особенности синоптических условий образования фронтальных гроз с ливневыми осадками в Иркутской области в 2000–2013 гг.

Тип барического образования	Преобладающая стадия развития барического образования	Особенности термобарического поля	Вид на космических снимках
западный циклон	окклюдование циклона	холодная ветвь широтно-ориентированной, динамически значимой ( $\geq 8$ °C/1000 км) высотной фронтальной зоны	форма облачной запятой 
ныряющий циклон		центр или тыловая часть высотного циклона, ориентированная с северных районов Восточной Сибири или Якутии с положительными значениями изаллогипс (до +13 дкм/сут.)	
южный циклон (с Черного, Каспийского моря, Средней Азии, Казахстана)	регенерация циклона	холодная ветвь арктического или полярного фронтов ориентирована в направлении с юго-запада на северо-восток	обширная зона облачности
южный циклон (с территории Монголии)	максимальное развитие	глубокая термическая ложбина ориентирована с Новой Земли или полуострова Таймыр на южные районы Иркутской области, Монголию и Забайкалье; передняя часть высотной ложбины	хорошо выражена система облаков теплого и холодного фронта 
объединение ныряющего и южного циклонов	углубление циклона	глубокая термическая ложбина часто с двумя самостоятельными очагами холода по северу и югу; ось высотной ложбины либо замкнутые центры циклонов по северу и югу	обширная меридионально ориентированная система фронтальной облачности, вытянутая с юго-запада на северо-восток 
блокирование на востоке		наличие блокирующего антициклона или гребня над Забайкальем в нижнем 5-км слое; глубокая меридионально ориентированная термическая ложбина	малоподвижный холодный фронт или его волнообразование, уплотнение облачности 

Характерные особенности синоптических условий образования внутримассовых гроз с ливневыми осадками в Иркутской области в 2000–2013 гг.

Тип барического образования	Преобладающая стадия развития барического образования	Особенности термобарического поля	Вид на космических снимках
малоградиентное барическое поле		отсутствие зоны бароклинности и высоких температурных градиентов на карте АТ–850 гПа; мезоциклон в слое Земля–700 гПа; интенсивные восходящие токи (в среднем: -88 гПа/12 ч. на АТ–700 гПа и -116 гПа/12 ч. – на АТ–850 гПа)	очаговый характер 
восточная периферия антициклона	максимальное развитие или регенерация антициклона	глубокая термическая ложбина над Восточной Сибирью или ориентированная с севера Якутии; тыловая часть высотной ложбины или передняя часть высотного гребня	разрозненные очаги и скопления кучево-дождевых облаков 

Исследование метеорологических условий образования ливней и гроз в теплый период (IV–IX) 2000–2013 гг. позволило выделить преобладающие градации температуры, влажности воздуха и скорости ветра на момент их образования (рис.5). Во всех исследуемых районах в большинстве случаев температура воздуха у поверхности Земли составила [16–20 °С] и [21–25 °С]. Максимальные значения повторяемости в распределении дефицитов точки росы и относительного влагосодержания в Южном районе приходятся на градации [2–3 °С] и [81–100%], в Западном районе [6–7 °С] и [51–70%], в Северном [11–14 °С], [61–70%] и [81–90%]; средней скорости ветра во всех районах на градации [2–3 м/с]. Штормовые ветры со средней скоростью  $\geq 15$  м/с на момент образования ливней и гроз отмечались в среднем в 1–5% случаев.

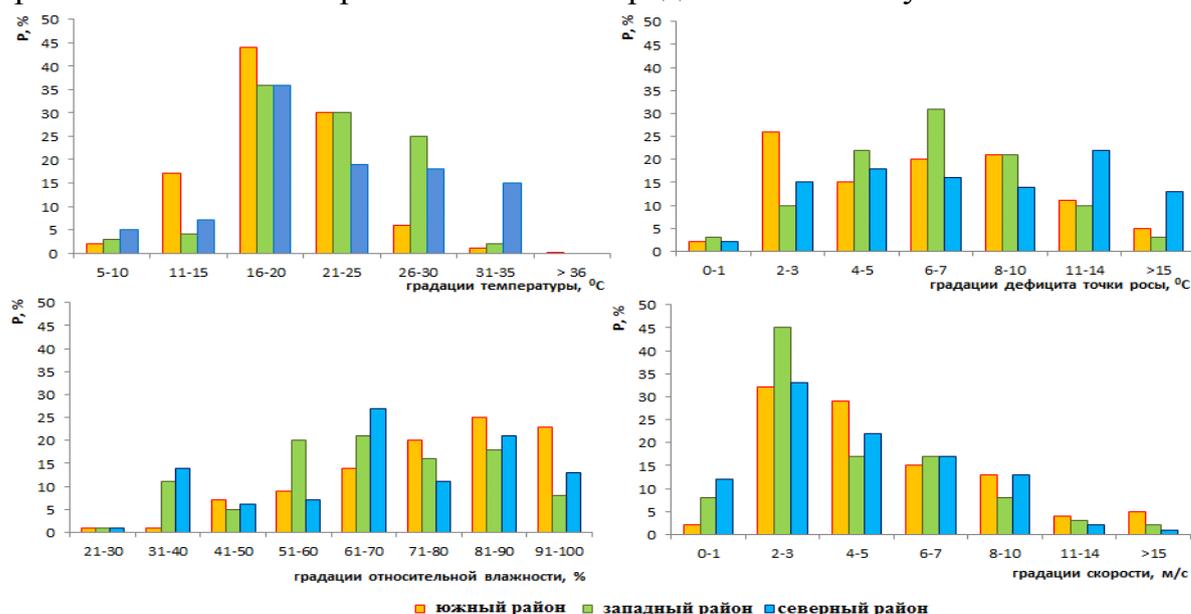


Рис.5 Средняя повторяемость (%) градаций метеорологических величин у поверхности Земли в синоптико-климатических районах Иркутской области на момент образования гроз с ливневыми осадками в теплый период (IV–IX) 2000–2013 гг.

Раздел 4.3. Представлены результаты синоптического анализа условий образования ливневых осадков и гроз, наблюдавшихся одновременно не менее чем в трех синоптико-климатических районах, т.е. конвективных явлений, занимавших значительную часть территории Иркутской области. Такое исследование в Иркутской области проводится впервые. Его актуальность обусловлена тем, что при указанных атмосферных процессах возникают наибольшие сложности для безопасности движения автотранспорта, деятельности авиации (отсутствие запасных аэродромов для взлета и посадки воздушных судов), сельского хозяйства (вероятность возможного поражения ливнями и градом значительных площадей) и т.д. Всего за 2000–2013 гг. на территории области было проанализировано 120 таких случаев с грозой, 133 случая выпадения ливневых осадков в теплый (IV–IX) и 83 случая выпадения ливневых осадков в холодный (X–III) периоды года.

Установлено, что чаще всего грозы над значительной частью территории Иркутской области в 2000–2013 гг. формировались в малоградиентных полях пониженного атмосферного давления у поверхности Земли и в средней тропосфере (38–39%). Из них в 64% случаев они носили нефронтальный характер и в 57% случаев отмечались при наличии термического гребня на уровне АТ–850 гПа. Далее по повторяемости случаев следуют грозы при прохождении вторичных холодных фронтов на восточной периферии антициклонов (19%) и грозы на северной периферии южных циклонов (17%), наблюдавшиеся преимущественно в передней части высотных ложбин (49–72%). Реже всего грозы над значительной частью территории области были зафиксированы в теплой воздушной массе, сформировавшейся в деформационных барических полях (2%). Установлено, что в 71% случаев, грозы на космических снимках имели вид ячеек, объединенных в ряды или комплексы.

Ливневые осадки, выпадающие в теплый период года (IV–IX) над значительной площадью территории Иркутской области, чаще всего носили фронтальный характер (66–100%). Они отмечались на восточной периферии антициклонов (40%), вдоль осей барических ложбин ныряющих циклонов (20%) и в тыловых частях циклонов (20%). Далее по повторяемости следуют случаи выпадения ливневых осадков в малоградиентных полях пониженного атмосферного давления (12%). Реже всего такие осадки отмечались в теплой воздушной массе на северной периферии южных циклонов (4%) и в холодной воздушной массе в центре заполняющихся ныряющих циклонов (4%). На космических снимках чаще всего ( $\geq 78\%$ ) отмечался массив фронтальных слоистообразных облаков с вкраплениями облаков конвекции.

Ливневые осадки, выпадающие в холодный период года (X–III) над значительной площадью территории Иркутской области, чаще всего наблюдались при прохождении холодных фронтов вдоль осей ложбин ныряющих циклонов (35%). Далее по повторяемости следуют случаи выпадения ливневых осадков на восточной периферии антициклонов (18%) и в местном циклоне (15%). Реже всего они наблюдались в холодной воздушной массе в условиях деформационного поля (2%) и в теплой воздушной массе на северной периферии южного циклона (1%).

Раздел 4.4. Проведен анализ синоптических условий образования зимней грозы в г. Иркутске – аномально редкого погодного явления на территории исследуемого региона.

Отмечается, что в условиях меняющегося климата Иркутской области возрастает вероятность редких погодных явлений, в том числе зимних гроз, которая наблюдалась в г. Иркутске 3 декабря 2013 г. (до этого времени зимняя гроза отмечалась всего один раз – в январе 1932 г.). Как показал синоптический анализ, образование зимней грозы 3 декабря 2013 г. связано со смещением южного циклона с территории Казахстана в южные районы Иркутской области в направлении юго-западных потоков на высотах. Образованию зимней грозы предшествовал аномальный прогрев (до 5,3 °С) нижележащих слоев атмосферы в дневные часы 2 декабря 2013 г. Исследованы мезомасштабный, адвективно-динамический и вихревой факторы ее образования. Мезомасштабный фактор зимней грозы проявлялся в ее локальном характере. Адвективно-динамический фактор в смене господствующей южной умеренной воздушной массы на арктическую (рис.6а,б) и развитии вертикальных движений в зоне атмосферного фронта с вытеснением более холодным и сухим воздухом на высотах теплого и богатого по абсолютному влагосодержанию воздуха у поверхности Земли (рис.6в). Вихревой фактор проявлялся в наличии струйных течений в средней и верхней тропосфере (рис.6г).

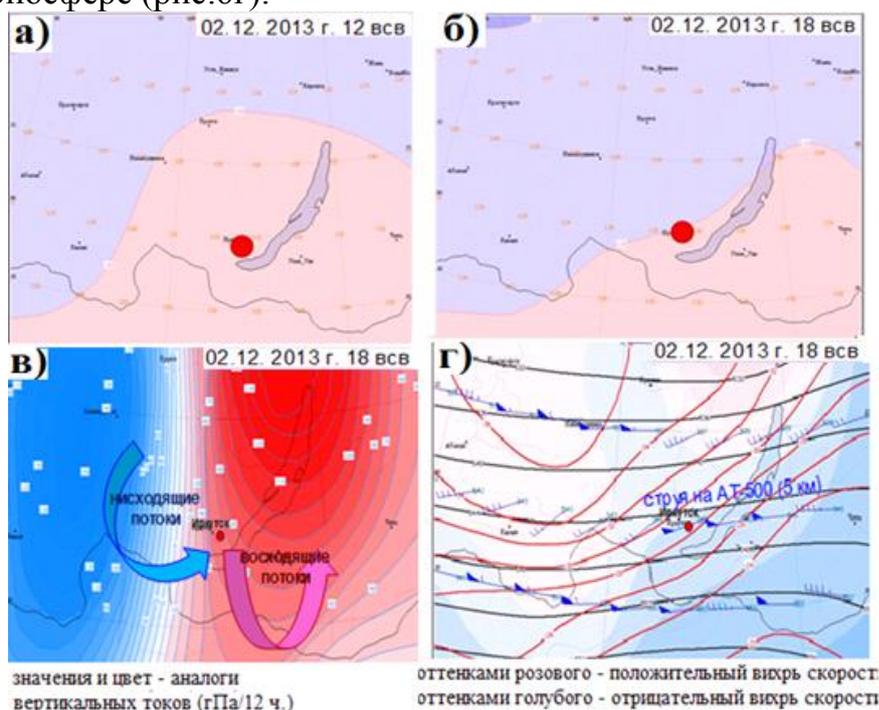


Рис.6 Фактические и прогностические карты ГИС «Океан»: относительная топография (OT500/1000) 02.12.2013 г. (а, б), аналоги вертикальных токов АТ–850 гПа (в) и АТ–500 гПа (г) 02.12.2013 г. на момент образования зимней грозы в г. Иркутске

Основной вывод по четвертой главе. В работе впервые проведен комплексный анализ приземных и высотных барических карт для случаев образования гроз и выпадения ливневых осадков над значительной площадью территории Иркутской области, представляющий интерес для гидрометеорологического обеспечения различных отраслей народного хозяйства и транспорта.

## Заключение

В настоящей работе выполнено детальное физико-статистическое и синоптико-метеорологическое исследование явлений, связанных с развитием конвекции на территории Иркутской области, которое может характеризоваться как одно из направлений региональных исследований, при разработке которого были получены следующие результаты.

1) На однородном материале сети метеорологических станций, расположенных в разных физико-географических и синоптико-климатических районах Иркутской области, изучена статистическая структура атмосферных явлений, связанных с развитием конвекции в последнее десятилетие (2000–2013 гг.).

2) Впервые получены месячные карты повторяемости кучевых и кучево-дождевых облаков, числа дней с грозой и суточным количеством атмосферных осадков  $\geq 20$ ,  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 80$  и  $\geq 120$  мм, проанализированы пространственно-временные особенности их распределения и более детально, чем это делалось ранее, выделен вклад орографических и циркуляционных факторов в формирование локальных максимумов по территории области.

3) Показано, что вклад орографических факторов наиболее выражен в теплый период года (апрель–сентябрь) и проявляется в увеличении повторяемости кучевых облаков в пониженных формах рельефа (Прибайкальская впадина, Приангарское плато); кучево-дождевых облаков, числа дней с грозой и максимальным количеством осадков на наветренных склонах горных хребтов Восточного Саяна и Южного Прибайкалья. Термическое влияние оз. Байкал наиболее выражено в конце осени и в начале зимы и проявляется преимущественно на южном побережье, где на фоне отепляющего воздействия озера происходит увеличение повторяемости конвективных форм облаков и количества атмосферных осадков.

4) Определено, что влияние циклонической деятельности наиболее выражено в холодный период года (октябрь–март) и проявляется в увеличении повторяемости кучево-дождевых облаков и числа дней с ливневыми осадками, особенно в Северном районе Иркутской области, где чаще проходят траектории ныряющих циклонов вдоль северной периферии Азиатского максимума.

5) На основе методов Фурье и вейвлет-преобразований (Морле) в различных по условиям орографии районах Иркутской области выделены преобладающие циклы короткого периода (3–8 лет), что согласуется с результатами исследований, выполненных А.Х. Филипповым во второй половине XX века. По данным за 1961–2013 гг. установлено, что максимальные значения спектральной мощности приходятся на 1990-е годы, начиная с которых наряду с циклами короткого периода ( $\leq 10$  лет) в распределении числа дней с грозой стали выделяться циклы среднего (9–16 лет) и длинного (17–32 лет) периодов. Выделенные циклы короткого, среднего и длинного периодов неплохо согласуются с межгодовой изменчивостью климатических и циркуляционных факторов, что определяет актуальность региональных исследований синоптических процессов образования гроз на территории Иркутской области.

б) В этой связи впервые для территории Иркутской области предложена синоптическая типизация гроз и ливневых осадков теплого (IV–IX) и холодного (X–III) периодов года, учитывающая траектории смещения и стадии развития барических образований, термобарическую структуру нижней, средней и верхней тропосферы, на основе которой проведен сравнительный анализ синоптических условий их образования в 2000–2013 гг.:

- выделено 7 типов синоптических процессов образования гроз, 7 синоптических типов для случаев выпадения ливневых осадков в теплый период года (IV–IX) и 8 синоптических типов для случаев образования ливневых осадков в холодный период года (X–III);

- наибольшая повторяемость гроз приходится на синоптические типы «малоградиентные барические поля пониженного атмосферного давления» (38–39%), «восточная периферия антициклонов» (19%) и «северная периферия южных циклонов» (17%), которые в большинстве случаев сопровождались прохождением передней части высотной ложбины (49–72%), где наблюдались адвективно-динамические факторы падения давления, способствующие развитию конвекции;

- наибольшая повторяемость ливневых осадков в теплый период года (IV–IX) выявлена на восточной периферии антициклонов (40%), вдоль осей барических ложбин ныряющего циклона (20%) и в тыловой части циклонов (20%), а в холодный период (X–III) вдоль осей ложбин ныряющего циклона (35%) и на восточной периферии антициклонов (18%);

- образованию ливневых осадков в теплый период чаще соответствовало прохождение высотных фронтальных зон, характеризующихся большими запасами потенциальной энергии, в холодный период года осей струйных течений, характеризующихся большими запасами кинетической энергии.

7) Впервые проведен сравнительный анализ синоптических условий образования гроз, носящих локальный характер, и гроз, занимающих значительную площадь территории Иркутской области:

- грозы локального характера в большинстве случаев носят фронтальный характер. В Северном районе Иркутской области они чаще всего связаны со смещением ныряющих и западных циклонов, находящихся в стадии окклюдирования (46%), а в Южном и Западном районах с прохождением южных углубляющихся циклонов (30–40%);

- наиболее благоприятные условия ( $\geq 40\%$ ) для образования гроз, занимающих значительную площадь территории Иркутской области, существуют при наличии малоградиентных барических полей пониженного атмосферного давления в нижней и средней тропосфере и термического гребня на уровне АТ–850 гПа.

8) По сравнению с исследованиями, выполненными во второй половине XX века, в 2000–2013 гг. на территории Иркутской области:

- увеличилась повторяемость ливней и гроз на фронтах окклюзии, в Северном районе – в зоне теплых атмосферных фронтов;

- выделены новые типы синоптических процессов образования ливней и гроз («объединение ныряющего и южного циклонов» и «блокирование на

востоке»), для которых характерно углубление циклонов и обострение атмосферных фронтов, как факторов, способствующих развитию конвекции.

9) Исследованы метеорологические параметры образования гроз в различных синоптико-климатических районах Иркутской области, которые имеют прогностическое значение. Установлено, что в Северном районе по сравнению с Южным и Западным, грозы, сопровождаемые ливнями, чаще отмечались при градациях более высоких температур и более низкой относительной влажности, т.е. в более теплой и сухой воздушной массе.

10) Впервые проведен детальный анализ метеорологической информации и синоптических карт для редкого погодного явления – зимней грозы в г. Иркутске, на основе которого выделены мезомасштабный, адвективно-динамический и вихревой факторы грозообразования.

Таким образом, наиболее важной как в научном, так и в прикладном отношении является сформулированная и решённая автором задача проведения региональных исследований синоптических условий образования ливневых осадков и гроз на основе комплексного анализа синоптических карт и спутниковых данных.

#### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

##### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Шахаева Е. В.** Конвективные явления на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. / Е. В. Шахаева // Известия Иркутского государственного университета Сер. «Науки о Земле». – 2015. – Т. 12. – С. 136 – 152.
2. **Шахаева Е. В.** Исследование гроз на территории Иркутской области / Е.В. Шахаева, И. В. Латышева, К. А. Лощенко // Известия Иркутского Государственного Университета. Сер.: «Науки о Земле». – 2012. – Т. 5. – № 2. – С. 163 – 175.
3. **Шахаева Е. В.** Аномальные погодные явления в г. Иркутске в 2013–2014 гг. / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, Е. В. Шахаева и др. // Известия Иркутского государственного университета, Сер. «Науки о Земле». – Т. 7. – 2014. – С. 84–99.
4. **Шахаева Е. В.** Циркуляционные особенности аномальных погодных явлений на территории России летом 2013–2014 гг. // Е. В. Шахаева, И. В. Латышева, К. А. Лощенко и др. // Известия Иркутского Государственного Университета. Сер.: «Науки о Земле». – 2013. – Т. 6. – № 1. – С. 106 – 121.
5. **Шахаева Е. В.** Исследование динамики Азиатского антициклона и холодных циркуляционных периодов на территории Иркутской области / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, Е. В. Шахаева // Известия Иркутского госуниверситета Сер. «Науки о Земле». – 2011. – Т.4. – № 2. – С.161 – 171.
6. **Шахаева Е. В.** Циркуляционные условия внезапных стратосферных потеплений в Северном полушарии в XXI веке / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, Е. В. Шахаева // Известия Иркутского госуниверситета Сер. «Науки о Земле». – 2013. – Т.6. – № 1. – С. 125 – 137.

опубликованные в других изданиях:

1. **Шахаева Е. В.** Тропосферно-стратосферное взаимодействие в периоды внезапных стратосферных потеплений / И. В. Латышева, О. С. Кочеткова, Е. В. Шахаева // Метеоспектр. – 2013. – № 4. – С. 93 – 104.
2. **Шахаева Е. В.** Оценка засушливых явлений на территории Иркутской области / И. В. Латышева, Е. В. Шахаева // Тезисы докладов «Всероссийская конференция Солнечная активность и природа глобальных и региональных климатических изменений». Иркутск 19–22 июня. – Иркутск. – 2010. – С. 12 – 15.
3. **Шахаева Е. В.** Исследование атмосферных осадков на территории Иркутской области. Сборник научных трудов Первой Международной научно-методической конференции «Междисциплинарные исследования в науке и образовании» / И. В. Латышева, В. Л. Макухин, В. Л. Потемкин, Е. В. Шахаева // Междисциплинарное исследование в науке и образовании. – Киев. – 2012. – С.18 – 24.
4. **Шахаева Е. В.** Зимние погодные аномалии на территории Северного полушария в 2011–2012 гг. / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, Н. С. Домбровская, Е. В. Шахаева // Междисциплинарные исследования в науке и образовании: Наука о Земле. Сборник трудов Первого Международного научно-практического симпозиума. – Иркутск. – 2012. – С. 13 – 22.