



УДК 551.577.1 (571.53)

## **Конвективные явления на территории Иркутской области в 2000–2013 гг.**

Е. В. Шахаева ([elenash@mail.ru](mailto:elenash@mail.ru))

**Аннотация.** Рассмотрены пространственные закономерности распределения различных форм конвективных облаков, числа дней с грозой и ливневыми осадками на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. Особое внимание уделяется исследованию синоптических условий формирования гроз.

**Ключевые слова:** конвекция, грозы, ливневые осадки.

### **Введение**

В атмосфере широко распространены конвективные движения, которые возникают в результате особого рода неустойчивости атмосферного воздуха, известной как статическая, или конвективная неустойчивость [2].

Конвективная неустойчивость характеризуется тем, что частица, сместившаяся по вертикали относительно исходного уровня (на котором она находилась в равновесии), под действием силы плавучести не возвращается на этот уровень, а продолжает удаляться от него. Конвективные движения черпают свою кинетическую энергию из потенциальной энергии неустойчиво стратифицированного воздуха.

Конвекция неодинаково развивается над морем и сушей, над ровной и гористой местностью. Известно, что, чем однороднее подстилающая поверхность, тем реже над ней развиваются очень интенсивные конвективные очаги. Так, грозы и град над морем бывают значительно реже, чем над сушей. Конвективные облака над сушей более значительно отличаются друг от друга по размерам и интенсивности, чем над морем. Если рассматривать спектры размеров облаков, то над сушей они окажутся более широкими, чем над морем. Даже небольшие возвышенности приводят к интенсификации конвекции, прежде всего к регулярному увеличению конвективных осадков. Высокие горы создают особенно сложные условия для развития конвекции, в ряде случаев сильно увеличивая ее повторяемость и интенсивность [5].

Аналогичный, но более слабый эффект имеет увеличение шероховатости подстилающей поверхности. В частности, интенсивность конвекции заметно увеличена над крупными городами, что проявляется главным образом в увеличении повторяемости сильных ливней, гроз и града [4].

В умеренных широтах образование мощных кучево-дождевых облаков (Cb), как правило, становится возможным при сочетании термических факто-

ров с динамическим подъемом воздуха преимущественно за счет мезомасштабной конвергенции потоков, вызванной изменением шероховатости подстилающей поверхности или прохождением атмосферных фронтов [3].

Эволюция кучево-дождевой облачности определяется характером подстилающей поверхности, степенью термической неустойчивости атмосферы, интенсивностью воздухообмена между облаком и окружающей средой (вовлечения), площадью конвергентной зоны и временем ее существования, выделением скрытой теплоты конденсации и т. д. [15].

Конвективная облачность, ливневые осадки и грозы относятся к погодным явлениям, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на работу транспорта, сельское хозяйство и другие сферы деятельности человека. При этом величины ущерба и жертв, связанных с ними, в настоящее время имеют устойчивый рост по сравнению с XX в. Поэтому проведение региональных исследований метеорологических явлений, связанных с конвекцией, является актуальной задачей синоптической метеорологии и климатологии.

### **Объект и методы исследования**

Современные теоретические исследования конвективной облачности и гроз базируются на многочисленных данных доплеровских содаров и лидаров. Установлено, что грозы связаны с конвективным перемешиванием глубоких слоев атмосферы и возникают в тех областях, где скорость уменьшения температуры с высотой достаточно велика, чтобы вызвать неустойчивость атмосферы, а воздух в нижних слоях достаточно влажен, чтобы возникло его пересыщение, необходимое для конденсации влаги [26].

Согласно принятой Всемирной метеорологической организацией классификации, выделяют три типа кучево-дождевых облаков: одноячейковые, многоячейковые и облака типа сверхъячеек (суперъячеек) [12]. Многоячейковые (мультиячейковые) кластерные грозы – это наиболее распространенный тип гроз, связанный с мезомасштабными (имеющими масштаб от 10 до 1000 км) возмущениями. Часто такие облака развиваются из одноячейкового Сб, которое «засевает» дочерние ячейки ледяными кристаллами. В дальнейшем ячейки объединяются, образуя единое мощное кучево-дождевое облако, которое имеет многокупольную вершину.

Многоячейковый кластер состоит из группы грозовых ячеек, которые имеют поперечные размеры ~ 20–40 км, двигаются как единое целое, хотя каждая ячейка в кластере находится на разных стадиях развития грозового облака. Каждая отдельная ячейка в многоячейковом кластере находится в зрелом состоянии около 20 мин.; сам многоячейковый кластер может существовать в течение нескольких часов. Грозовые ячейки, находящиеся в стадии зрелости, обычно располагаются в центральной части кластера, а распадающиеся ячейки – с подветренной стороны кластера. В передней части многоячейкового грозового очага располагается зона восходящих потоков. Атмосферные осадки выпадают восточнее этой зоны, так что нисходящий

поток, вызванный интенсивными осадками, и восходящий поток граничат друг с другом. Растекание холодного воздуха нисходящих потоков у поверхности Земли обуславливает возникновение зоны усиленных, порывистых ветров (фронта порывистости или линии шквалов).

Многоячейковые облака развиваются преимущественно на основных и вторичных холодных фронтах; их вершины смещены относительно основания в направлении сдвига ветра в окружающем воздухе. С многоячейковыми облаками Сb связаны сильные ливни, грозы, град. Продолжительность жизни таких конвективных очагов составляет в среднем около 1,5 ч. На их долю приходится до 30 % всех градовых очагов [11].

При высоких запасах энергии неустойчивости и больших вертикальных градиентах скорости ветра могут возникнуть суперъячейковые Сb или сверхочаговые грозы, которые представляют собой линию гроз с продолжительным, хорошо развитым фронтом порывов ветра вдоль передней линии фронта. Термин «сверхочаг» был введен Браунингом в 1962 г. в связи с очень сильной грозой, сопровождавшейся градом, которая нанесла огромный ущерб в районе, находящемся недалеко от г. Уокингема в Англии, в июле 1959 г. [12]. Основной особенностью, отличающей суперъячейковое облако от конвективных облаков других типов, является наличие вращающегося восходящего потока (в радарной терминологии называемого мезоциклоном), который создает экстремальные по силе погодные явления, такие как гигантский град ( $\geq 5$  см в диаметре), шквальный ветер  $\geq 40$  м/с и сильные разрушительные смерчи. Для его образования требуются: значительный прогрев подстилающей поверхности ( $\geq 27\text{--}30$  °С) и сильная конвективная неустойчивость, но главным необходимым условием является ветер переменного направления, вызывающий вращение, что достигается при наличии сдвига ветра в средней тропосфере.

Приведенная классификация различной очаговой структуры кучево-дождевого облака не является исчерпывающей. Только около 50 % всех наблюдаемых очагов интенсивной конвекции можно уверенно отнести к какому-либо из перечисленных типов, в остальных случаях конвективные очаги не соответствуют критериям, принятым для выделения основных трех типов. Они имеют сложную структуру и образуют комплексы, нерегулярно изменяющиеся во времени и пространстве.

Конвекция может сопровождаться целым спектром явлений погоды, потенциально опасных для различных сфер деятельности человека [6; 16; 18; 22]. Во время грозы присутствует вероятность сильных вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра, с которыми связаны турбулентность и болтанка воздушных судов. Поэтому для авиации важно, чтобы прогнозы гроз имели высокую заблаговременность и оправдываемость [27].

Важным аспектом в исследованиях гроз является учет неоднородного рельефа, который в одних случаях может усиливать процессы развития кучево-дождевой облачности, а в других, наоборот, способствовать размыванию полей конвективной облачности и ливневых осадков [17; 20; 31]. Отмечается увеличение повторяемости гроз в крупных городах, где в качестве

причины, вызывающей усиление конвекции, рассматривают влияние городского острова тепла и наличие дополнительных ядер конденсации [21; 23; 25; 28–30].

При анализе синоптических условий образования внутримассовых и фронтальных гроз широко используют различные типизации атмосферных процессов, учитывающие положение оси планетарной высотно-фронтальной зоны, центров циклонов и антициклонов, данные стратификации атмосферы в точке, откуда ожидается приход воздушной массы [13]. Возникновение мощных гроз и линий шквалов чаще всего связывают с адвекцией теплого воздуха в передней части циклонов и усиливающейся адвекцией холодного воздуха в тыловой части циклона [24; 29]. В работе [9] проведено исследование особенностей формирования приземной тепловой конвекции в атмосфере при наличии горизонтального градиента температуры.

С появлением суперкомпьютеров появилась возможность исследовать в численном эксперименте детальную турбулентную структуру полей конвективных облаков, отслеживать развитие каждого отдельного облака и всего конвективного поля в целом (рис. 1). Одним из таких методов является LES-моделирование (Large Eddy Simulation – метод больших вихрей) [1; 7].

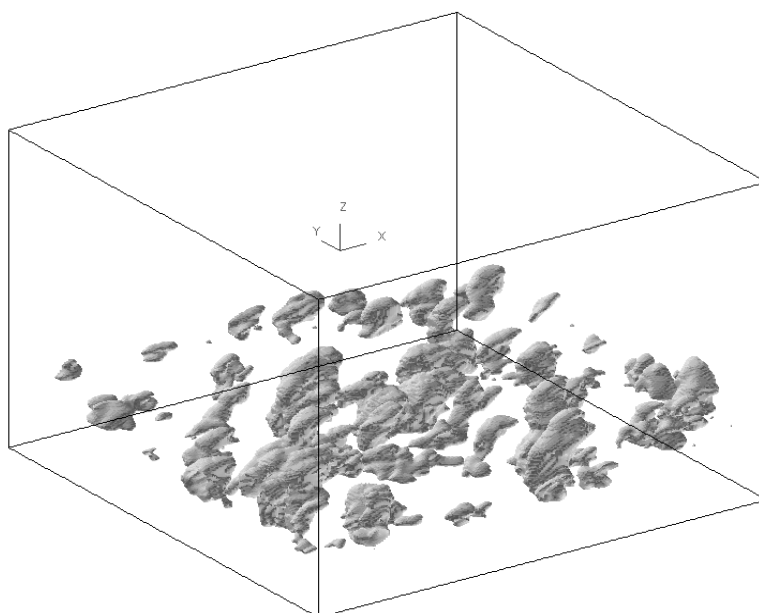


Рис. 1. Расчетная изоповерхность влажности (кг/кг) в момент времени 2,5 ч (сетка 192×192×280)

Спутниковое дистанционное зондирование играет решающую роль в исследовании мезомасштабных конвективных систем, которые из-за редкой сети метеорологических наблюдений, особенно над морями, быстро формирования, небольших размеров и короткого жизненного цикла обычно не выявляются в поле давления и наносятся на приземные синоптические карты по спутниковым данным. Оперативная идентификация таких систем, а также определение стадии их «жизненного» цикла позволяют осуществлять диагноз и сверхкраткосрочный прогноз конвективных явлений. В качестве примера в работе [8] выполнено исследование мезомасштабных конвективных комплексов над территорией Европы по данным геостационарного спутника Meteosat-8 за период 2008–2011 гг. (рис. 2).

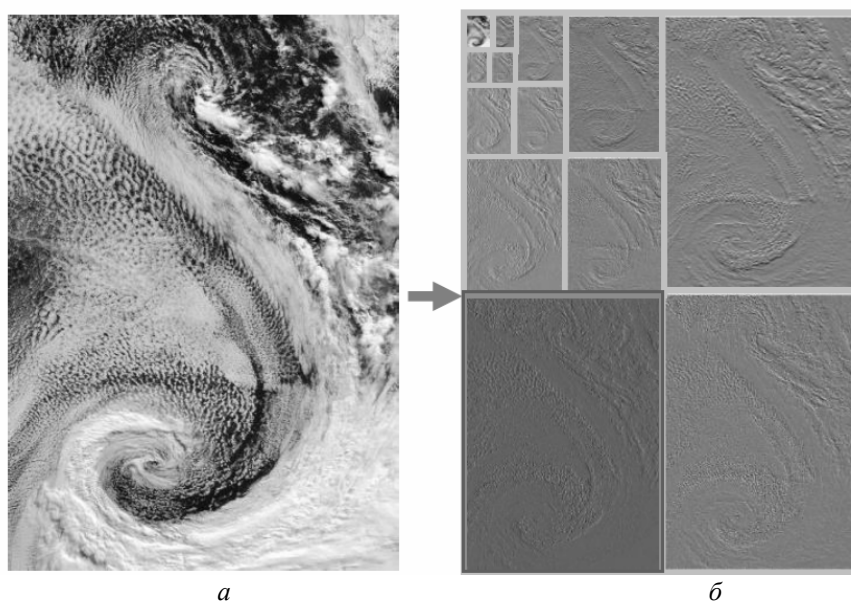


Рис. 2. Вейвлет-преобразование спутникового снимка: а) исходный снимок видимого диапазона, MODIS/Terra, 29.04.2009, 600×860 пиксел, пространственное разрешение 250 м; б) четыре уровня вейвлет-декомпозиции

На территории Иркутской области последние исследования условий образования конвективной облачности, ливней и гроз проводились в середине 1980-х гг. специалистами Иркутского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [10]. Установлено, что грозовая деятельность на территории области наблюдается как при широтных, так и при долготных типах элементарных циркуляционных процессов. В большинстве случаев (51 %) грозы на территории Иркутской области возникают в тыловых частях циклонов либо на восточной периферии антициклонов и связаны с вторичными холодными фронтами.

С орографическими особенностями территории Иркутской области тесно связано распределение числа дней с грозой. Можно выделить три района с наиболее частой повторяемостью гроз [14]:

а) высокогорная часть Восточного Саяна, включая Передовой хребет, где среднее число дней с грозой изменяется от 21 на северо-западе (ст. Нижнеудинск) до 28–30 на юго-востоке. В центре этого максимума (ст. Сарам) отмечается наибольшее число гроз (36 дней/год);

б) обширная часть Лено-Ангарского плато и Прибайкальской впадины, где среднее число дней с грозой изменяется от 20 на севере (ст. Преображенка) до 18 на юге (ст. Тулун, Балаганск, Усть-Ордынский). В центре этого максимума, на северо-востоке Лено-Ангарского плато (ст. Казачинское, Головское), наблюдается 25–26 дней с грозой;

в) Ангарский кряж с примыкающими к нему с запада Бирюсинским плато и с северо-запада Ковинским кряжем, где среднее число дней с грозой изменяется от 27 на юге до 21 на севере.

Таким образом, практически вся центральная часть территории Иркутской области окружена мощным кольцом активной грозовой деятельности, вытянутым в северо-восточном направлении. Зоны минимальной повторяемости гроз характерны для западных и частично южных районов Иркутской области.

### **Обсуждение результатов исследования**

Так как кучевая облачность оказывает существенное влияние на климатический режим, а связанные с ней ливневые осадки во многом определяют режим увлажнения территории, необходимо проводить регулярные исследования конвективной облачности. В задачи исследования входил пространственно-временной анализ распределения средней за месяц повторяемости различных форм конвективной облачности на территории Иркутской области по данным непрерывных наблюдений 86 метеорологических станций за период 2000–2013 гг.

Описание конвективных явлений на территории Иркутской области выполнено с учетом синоптико-климатического районирования [10]. В пределах территории Иркутской области выделяют пять основных районов: Северный, Западный, Южный, Центральный и Верхне-Ленский (рис. 3).

В годовом распределении максимум повторяемости кучевой облачности отмечался в июне и июле, минимум – в декабре и январе, что повторяет годовое распределение средних температур. Можно предположить, что кучевые облака на территории Иркутской области носят в основном термический характер, так как чаще всего образуются при развитии конвекции в летние месяцы в дневные и послеполуденные часы. В пространственном отношении в летние месяцы можно выделить несколько основных максимумов повторяемости кучевых облаков: в Южном районе – ст. Баяндай (24 %) и байкальская станция Исток Ангары (23 %); в Северном районе – ст. Ика (16 %); в Западном районе – ст. Червянка (17 %). Минимальная повторяемость (5 %) отмечалась на метеорологических станциях: Большой Ушканий, Усть-Илимск, Мамакан, Максимова, Кунерма и Алыгджер.

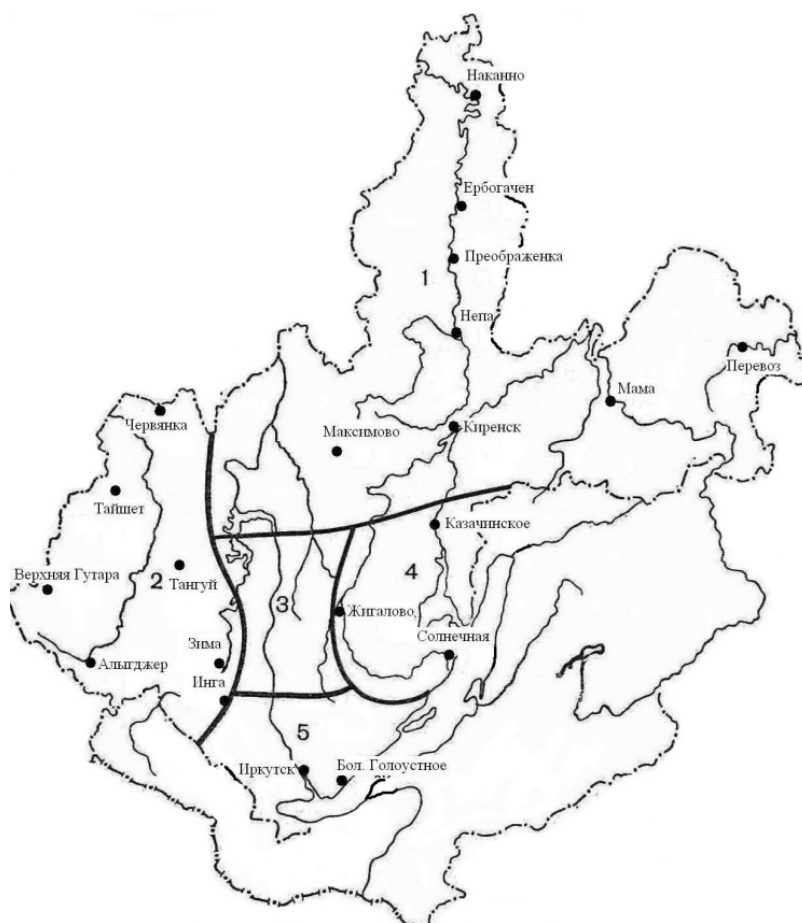


Рис. 3. Синопτικο-климатическое районирование территории Иркутской области. Районы: 1 – Северный, 2 – Западный, 3 – Центральный, 4 – Верхне-Ленский, 5– Южный

В годовом распределении кучево-дождевых облаков прослеживается увеличение повторяемости в период с января по октябрь, что указывает на совместный вклад в их образование термического фактора (в основном в летние месяцы) и вынужденной конвекции при прохождении атмосферных фронтов (в основном в переходные сезоны года). В пространственном отношении максимальная повторяемость кучево-дождевой облачности в 2000–2013 гг. приходится на станции Северного района – Новая Игирма (42 %) и Западного района – Икей (40 %), а минимальная повторяемость отмечалась на байкальской станции Сарма (3 %).

Наиболее значительные атмосферные осадки (120 мм/сут.) отмечались на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. только в летние месяцы. В июне такие суммы осадков были зафиксированы только в Южном районе (Черемхово, Хамар-Дабан, Байкальск, Мангутай, Утулик), что составляет

~3 % от общего числа метеорологических станций и постов на территории области. В июле 2000–2013 гг. число метеорологических станций с количеством выпавших атмосферных осадков 120 мм/сут. возрастает до 20, что составляет около 12 % от их общего числа. Такие осадки отмечались преимущественно в Южном районе (Ангарск, Савватеевка, Иркутск, Тальяны, Хайта, Новожилкино, Раздолье, Большебелъск, Хамар-Дабан, Большой Ушканий, Маритуй, Мурино, Выдрино), реже – в Северном (Железногорск, Тунгусы, Верхнекарелина, Дубынино), Западном (Нерой, Саянск) и Верхне-Ленском районах (Большая Торель). В августе 2000–2013 гг. число метеорологических станций и постов с количеством атмосферных осадков 120 мм/сут. уменьшается до 8, что составляет ~5 % от их общего числа. Такие осадки наблюдались в основном в Южном (Усть-Ордынский, Ахины, Савватеевка, Хамар-Дабан, Олха, Мангутай, Выдрино) и Северном районах (Бур).

Аналогично проведено исследование пространственно-временных особенностей распределения числа дней с грозой по данным наблюдений 86 метеорологических станций и 85 метеорологических постов в период 2007–2013 гг. (до 2007 г. не было данных по метеорологическим постам). В апреле число дней с грозой на метеорологических станциях и постах Иркутской области обычно не превышало одного дня, т. е. грозы в апреле – достаточно редкое погодное явление. Они имели в основном локальный характер, отмечались преимущественно в Южном и Западном районах, чаще всего в предгорьях Прибайкальского хребта и на наветренных склонах горных систем Хамар-Дабан и Восточного Саяна. Максимальное число дней с грозой (1) в апреле 2007–2013 гг. отмечалось на метеорологических постах Куреть и Мангутай, расположенных на побережье оз. Байкал, а также на ст. Кутулик, что в пределах Иркутско-Черемховской равнины.

В мае 2007–2013 гг. на метеорологических станциях Иркутской области чаще всего отмечался один день с грозой. Максимальное число дней (2) было зарегистрировано в предгорьях Восточного Саяна (Талая, Сарам). На станциях Кунерма, Качуг и на метеорологическом посту Коношаново, которые расположены в Центральном и Верхне-Ленском районах, а также на ст. Томпа, которая находится на северо-восточном побережье оз. Байкал, грозы в мае в исследуемый период не отмечались.

В июне 2007–2013 гг. на метеорологических станциях и постах Иркутской области чаще всего отмечалось 5 дней с грозой. Максимальное число дней (10) в исследуемый период зафиксировано в Западном районе Иркутской области в предгорьях Восточного Саяна (Дабады, Георгиевка). В единичном случае за весь исследуемый период грозы отмечались на метеопосту Маритуй и ст. Баргузинский заповедник, расположенных на побережье оз. Байкал, а также на станциях и метеопостах: Свирск, Ахины, Заваль и Октябрьск, которые расположены по долине р. Ангары.

Июль – самый «грозоопасный» месяц на территории Иркутской области. В 2007–2013 гг. на метеорологических станциях и постах чаще всего отмечалось 7 дней с грозой (рис. 4). Наибольшее число дней (15) выявлено в предгорьях Восточного Саяна (Дабады), несколько меньшее число дней



отмечалось на высокогорных станциях Сарам (13) и Георгиевка (12). Выделяется очаг увеличения числа дней с грозой в Западном районе на ст. Выдрино-на-Чуне (11) и ст. Шиткино (10). Минимальное число дней с грозой (1) отмечалось на ст. Чанчур.

В августе 2007–2013 гг. на метеорологических станциях и постах Иркутской области отмечалось в основном 3 дня с грозой, что в два раза реже по сравнению с июлем. Выявлено увеличение числа дней с грозой в Западном районе, а также локальные очаги повышенного количества гроз на метеорологических станциях, расположенных по долине р. Ангары. Максимальное число дней с грозой (11) отмечалось в предгорьях Восточного Саяна на ст. Дабады, а минимальное (~1) – на метеопосту Чанчур и ст. Ахины.

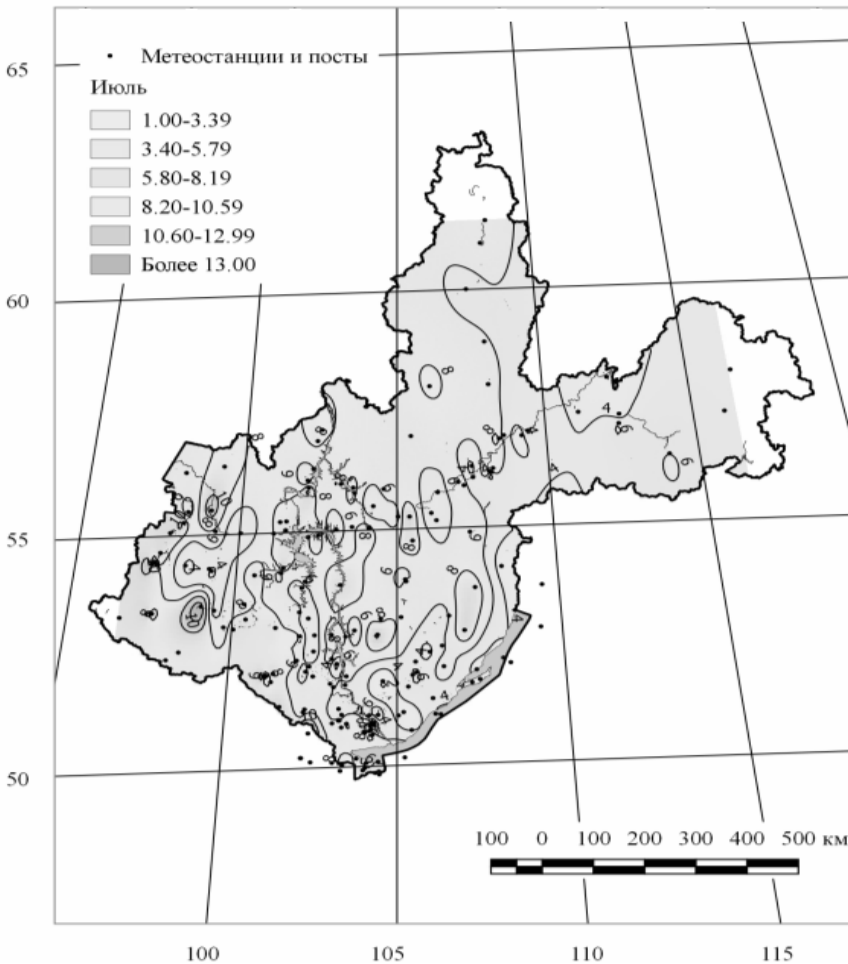


Рис. 4. Среднее число дней с грозой на территории Иркутской области в июле 2007–2013 гг.

В сентябре 2007–2013 гг. чаще всего число дней с грозой не превышало 1. Максимум числа дней с грозой наблюдался на высокогорной станции Хамар-Дабан (2). Выделяются максимумы числа дней (1–2) в Северном районе (Ербогачен, Перевоз, Усть-Кут), Западном районе (Шиткино, Новочунка), а также в предгорьях Восточного Саяна. В сентябре за весь исследуемый период грозы не отмечались только на ст. Чанчур, расположенной в Верхне-Ленском районе в предгорьях Байкальского хребта в долине р. Чанчур.

Для оценки долговременных тенденций были рассчитаны величины коэффициентов линейного тренда числа дней с грозой по данным сети метеорологических станций и постов за период 1987–2013 гг. Следует отметить, что значимость коэффициентов линейного тренда, оцениваемая через коэффициенты детерминации, не превышала 0,5, т. е. была  $\leq 25\%$ .

Следовательно, на территории Иркутской области в 1987–2013 гг. не выявлено значимых линейных изменений многолетнего числа дней с грозой. Можно лишь отметить некоторые общие тенденции. Для большинства исследуемых станций в первой половине XXI в. по сравнению со второй половиной XX в. число дней с грозой несколько увеличилось в июне и июле и уменьшилось в августе. Наглядно это видно на примере ст. Иркутск (рис. 5).

На станции Большой Ушканий, расположенной на побережье оз. Байкал, высокогорной станции Хамар-Дабан и ряде станций, расположенных в Западном районе в предгорьях Восточного Саяна (Дабады, Червянка) в последнее десятилетие отмечалось увеличение числа дней с грозой в период с июня по сентябрь (рис. 6).

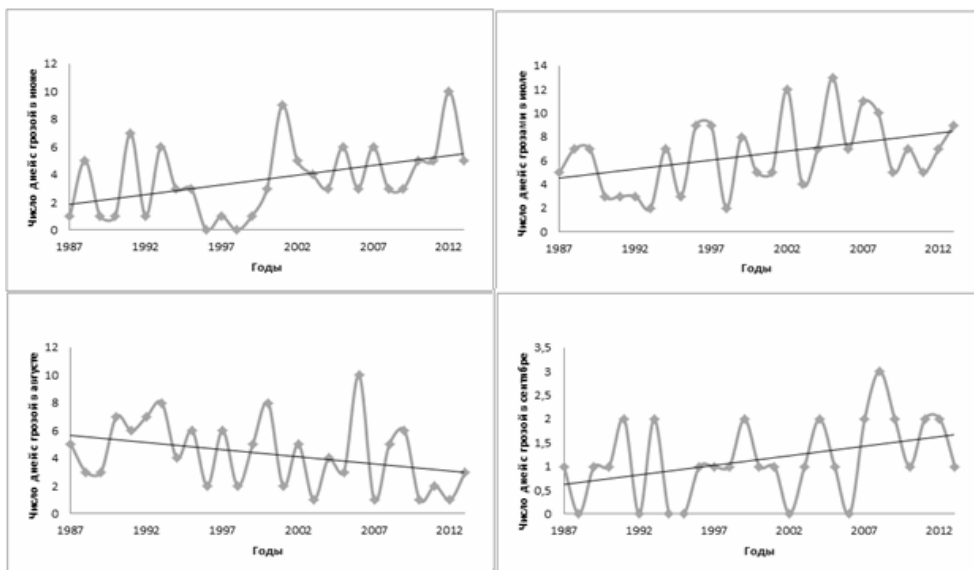


Рис. 5. Распределение числа дней с грозой на ст. Иркутск в различные месяцы теплого периода в 1987–2013 гг.

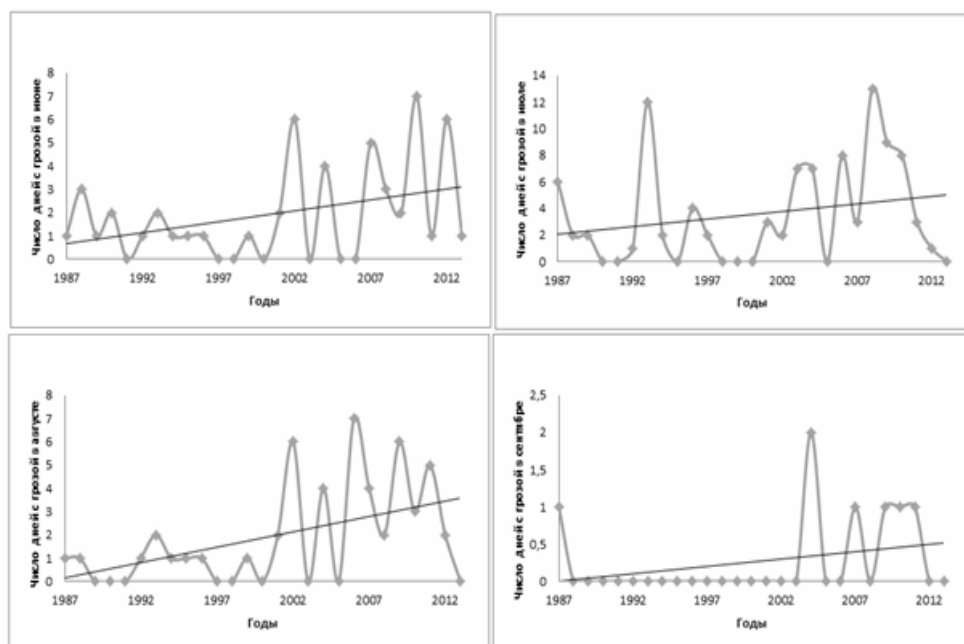


Рис. 6. Распределение числа дней с грозой на ст. Большой Ушканий в различные месяцы теплого периода в 1987–2013 гг.

Также для исследования многолетних тенденций были построены карты разности числа дней с грозой за два периода: 2007–2013 гг. и 1987–2006 гг. Оказалось, что в мае 2007–2013 гг. по сравнению с многолетними данными за прошлый период (1987–2006 гг.) число дней с грозой на большей части территории Иркутской области незначительно уменьшилось.

В июне 2007–2013 гг. отмечается увеличение числа дней с грозой на территории Иркутской области по сравнению с прошлым периодом. Максимальное увеличение числа дней отмечается в предгорьях Восточного Саяна – ст. Дабады (6). Можно отметить также увеличение числа дней с грозой в Северном районе Иркутской области – станции Перевоз (4) и Мама (4); Центральном районе – Братск (3) и Калтук (3); Верхне-Ленском районе – ст. Орлингга (4); Западном районе – станции Червянка (5), Новочунка (3) и Нерой (3); Южном районе – Бохан (2), Шелехов (3) и также на станциях, расположенных на побережье оз. Байкал – Байкальск (2) и Большой Ушканий (2). Уменьшение числа дней с грозой (1) в июле наиболее выражено на северных станциях Ика и Визирный, а также на байкальской ст. Большое Голоустное.

В июле 2007–2013 гг. на территории Иркутской области аналогично июню преобладали тенденции увеличения числа дней с грозой. Особенно это выражено в Западном районе – станции Дабады (9), Червянка (5), Зима (3) и Икей (3); Центральном и Южном районах Иркутской области – станции Балаганск (3), Шелехов (3) и Ангарск (4). Уменьшение числа дней с грозой наиболее выражено на северной станции Визирный (4) и прибайкальских станциях Узур (3) и Еланцы (2).

В августе 2007–2013 гг. практически повсеместно на территории Иркутской области отмечается уменьшение числа дней с грозой, которое наиболее выражено в Верхне-Ленском районе – ст. Карам (4); Северном районе – Новая Игирма (3) и Железногорск (3); Южном районе – станции Патроны (4) и Баяндай (3). Увеличение числа дней с грозой отмечалось в предгорьях Восточного Саяна – ст. Дабады (6) и в Западном районе – ст. Червянка (3).

В сентябре 2007–2013 гг. число дней с грозой в целом изменилось незначительно по сравнению с прошлым периодом.

В исследуемый период (2007–2013 гг.) по материалам ежедневных синоптических карт (кольцевых, приземных и высотных (АТ-700 гПа)) определялся характер внутримассовых гроз по типу неустойчивой воздушной массы и погодным условиям в ней. Формирование гроз рассматривалось в пределах трех синоптико-климатических районов: Южного, Северного и Западного, где имелись данные температурно-ветрового зондирования. Кроме того, выбранные районы занимают значительную площадь территории Иркутской области и существенно различаются по характеру рельефа.

Оказалось, что во всех исследуемых районах внутримассовые грозы чаще всего отмечались в местной неустойчивой воздушной массе в послеполуденные и вечерние часы суток (> 40 %). Особенно это выражено в пределах Северного района, где повторяемость внутримассовых гроз в местной воздушной массе составляет около 70 % случаев. В пределах Западного и Южного районов Иркутской области внутримассовые грозы чаще наблюдались в теплой или холодной неустойчиво стратифицированных воздушных массах (рис. 7).

Грозы в местной неустойчиво воздушной массе чаще всего отмечались в вечерние часы суток в малоградиентном поле пониженного либо повышенного давления у поверхности Земли. Образование гроз происходило на фоне хорошо выраженного суточного распределения метеорологических величин, при повышении температур воздуха и падении атмосферного давления в дневные часы. В условиях дневного прогрева наблюдались восходящие потоки воздуха, которые способствовали развитию кучево-дождевой облачности до высоты  $\geq 9\ 000$  м при высоте уровня конденсации  $\leq 1\ 300$  м.

На внутримассовый характер гроз указывает ее очаговость на снимках облачного покрова (рис. 8), а также отсутствие зоны бароклинности и высоких температурных градиентов на карте АТ-850 гПа.

Фронтальные грозы в Южном и Западном районах Иркутской области в большинстве случаев (65 и 76 % соответственно) отмечались при прохождении основных холодных фронтов. На теплых атмосферных фронтах грозы возникали чаще всего при реализации энергии гидродинамической неустойчивости в облаках затопленной конвекции (системы облаков Ns) и отмечались преимущественно в Северном районе Иркутской области (42 %). Реже всего грозы фиксировались на фронтах окклюзии циклона, вступающего в заключительную стадию развития (стадию заполнения холодным воздухом), где горизонтальные градиенты температур в зоне фронта уменьшаются и конвективные движения затухают (табл. 1).

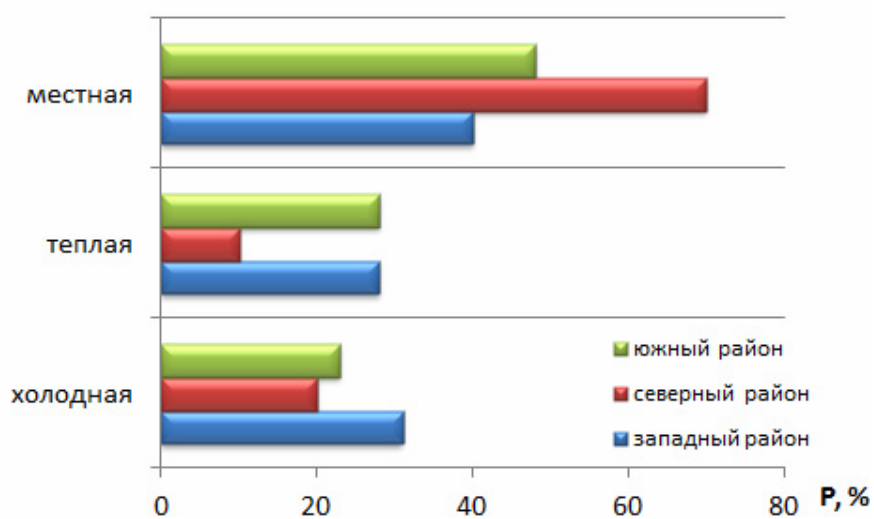


Рис. 7. Повторяемость гроз (%) в различных типах неустойчивых воздушных масс на территории Иркутской области в 2007–2013 гг.

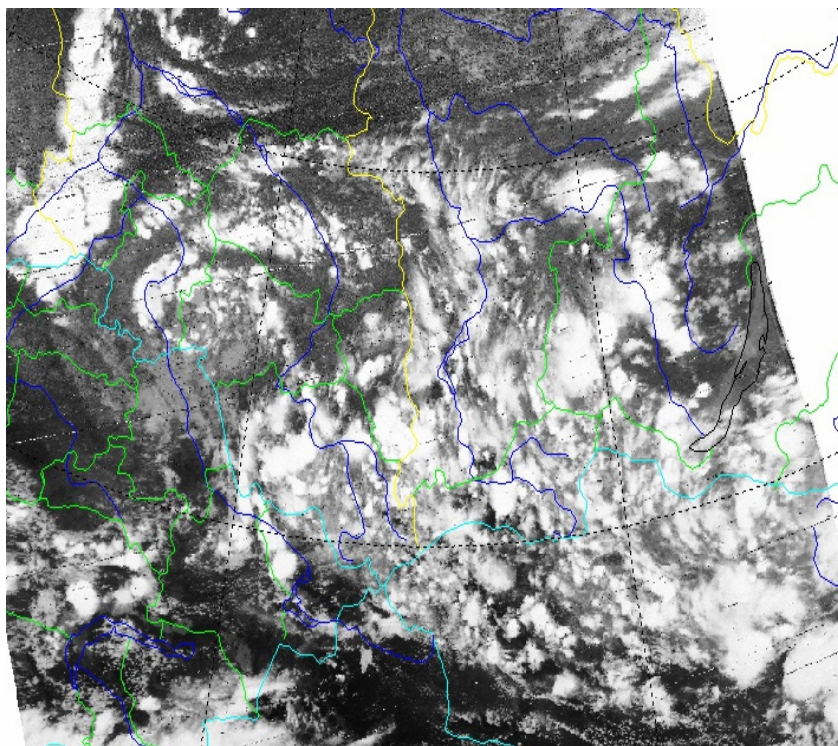


Рис. 8. Внутримассовые грозы в дневные часы суток на территории Сибири и Монголии на спутниковых снимках облачного покрова

Таблица 1

Повторяемость (%) гроз на территории Иркутской области при прохождении различных типов атмосферных фронтов в 2007–2013 гг.

РАЙОН	Тип фронта				
	Теплый		Холодный		Окклюзии
	Теплый	с волнами	Основной	Вторичный	
Южный	4	4	65	11	16
Западный	5	4	76	0	15
Северный	2	40	31	2	25

В Южном районе грозы чаще наблюдались при циклональном типе погоды, в основном при выходе южных (38 %) и западных (21 %) циклонов, как внутримассовые – в малоградиентных барических полях (15 %) и на восточной периферии антициклона, смещающегося с запада (17 %). В Северном районе преобладали фронтальные грозы при выходе западных (24 %) и ныряющих (20 %) циклонов либо внутримассовые грозы в размытых барических полях пониженного или повышенного атмосферного давления (26 %). В Западном районе наиболее вероятны фронтальные грозы при выходе южных (22 %) и западных (18 %) циклонов либо внутримассовые грозы при смещении антициклонов с северо-запада (22 %) (рис. 9).

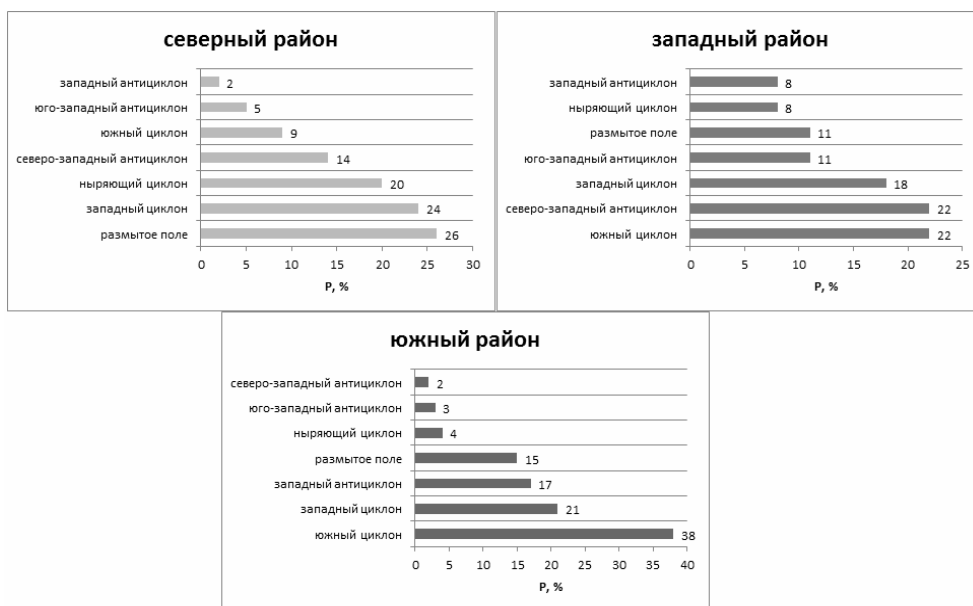


Рис. 9. Повторяемость (%) различных типов приземного поля давления при грозах на территории Иркутской области в 2007–2013 гг.

В большинстве случаев на высотах АТ-700 гПа (3 км) при образовании гроз на территории Иркутской области наблюдалась высотная ложбина: от 51 % случаев – в Северном районе до 77 % – в Южном районе. Реже всего (1–11 %) грозы фиксировались при прохождении осей высотного гребня, что объясняется высокой вероятностью процессов размывания атмосферных фронтов (фронтотропа) в этой части высотного барического образования.

### **Заключение**

Впервые за 2000–2013 гг. построены карты распределения повторяемости кучевых и кучево-дождевых облаков, количества дней с грозой и ливневыми осадками на территории Иркутской области по данным 86 метеостанций и 85 метеорологических постов.

Выявлены сезонные различия в распределении повторяемости кучевых и кучево-дождевых облаков. Основной максимум повторяемости кучевых облаков наблюдается в июле при развитии термической конвекции в послеполуденные и вечерние часы, а основной максимум кучево-дождевых облаков – в осенние месяцы при прохождении атмосферных фронтов.

Наиболее значительные ливневые осадки (120 мм/сут.) отмечались только в летние месяцы преимущественно на южном побережье оз. Байкал. Одним из прогностических признаков значительных ливневых осадков является подковообразный вид облачности на космических снимках, который указывает на интенсивное развитие восходящих движений.

Максимальная повторяемость гроз фронтального характера в Южном и Западном районах Иркутской области фиксируется при прохождении южных циклонов, в Северном районе – при выходе западных или ныряющих циклонов.

Важным прогностическим признаком развития внутримассовых гроз является наличие мезоциклона в слое от поверхности Земли до уровня 700 гПа (3 км) и циклонального вихря скорости на вышележащих уровнях тропосферы; фронтальных гроз – наличие динамически значимой высотной фронтальной зоны с контрастами температур в среднем  $\sim 20\text{--}24\text{ }^\circ\text{C}/1000\text{ км}$  и полосы влажного воздуха в нижней и средней тропосфере, вытянутой в направлении оси высотной макроложбины.

Полученные результаты могут быть использованы при составлении климатического описания территории Иркутской области, климатических характеристик аэродромов и для усовершенствования синоптических методов прогноза гроз и ливневых осадков.

### **Список литературы**

1. Василевский К. Д. Одномерная модель формирования кучевого облака / К. Д. Василевский, В. П. Садоков // Тр. Гидрометцентра России. – 2010. – Вып. 344. – С. 99–113.
2. Вельтищев Н. Ф. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование / Н. Ф. Вельтищев // ВМО № 701. – 1988. – С. 8–45.
3. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология / В. И. Воробьев // Гидрометеопиздат. – 1991. – 616 с.

4. Горбатенко В. П. Влияние изменения подстилающей поверхности на грозовую активность / В. П. Горбатенко, А. А. Дульзон // География и природные ресурсы. – 1977. – № 2. – С. 142–146.
5. Горбатенко В. П. Грозовая деятельность на территории СССР / В. П. Горбатенко // Тр. ВНИИЭ. – 1964. – Т. 111. – Вып. 19. – С. 50–57.
6. Диагностические исследования и моделирование процессов циклогенеза, фронтогенеза и погодных условий на различных стадиях развития циклона / Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова, А. Р. Иванова, Л. В. Берюкович, Ю. В. Ткачева // Тр. Гидромет. науч.-исслед. центра РФ. – 2000. – № 335. – С. 3–25.
7. Довгалюк Ю. А. К использованию LES модели для исследования характеристик полей кучевых облаков / Ю. А. Довгалюк, А. А. Игнатьев. // Труды ГГО. – 2011. – Вып. 564 – С. 126–146.
8. Измерение фрактальной размерности мезомасштабной конвективной облачности на спутниковых снимках / Н. Е. Войнов, А. Д. Кузнецов, Т. Е. Симакина, О. С. Сероухова // Ученые записки РГГМУ. – 2013. – № 30. – С. 93–100.
9. Об образовании ячеистых структур в тонком слое атмосферы / С. А. Сухов М. А. Волочай, М. Н. Грицаева, И. Н. Ларченко, А. А. Крупкин // Изв. высш. учеб. заведений. Сев.-Кавказ. регион. – 2010. – № 5. – С. 48–52.
10. Опасные явления погоды юга России / под ред. проф. Л. Н. Карлина – СПб. : Изд-во ВВМ, 2006. – 216 с.
11. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, ч. II, вып. 2, Урал и Сибирь // Гидрометеиздат. – 1986. – С. 116–117.
12. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах // ИКАО. – 2005. – 258 с.
13. Федорова А. А. Особенности полей температуры, облачности и влажности в атмосфере при ночных грозах / А. А. Федорова // Тр. ЦАО. – 1967. – Вып. 79. – С. 61–78.
14. Филиппов А. Х. Грозы Восточной Сибири / А. Х. Филиппов // Гидрометеиздат. – 1974. – 76 с.
15. Хромов С. П. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М. : Изд-во МГУ. – 2001. – 528 с.
16. Ягудин Р. А. Физико-статистическое исследование ночных гроз в Новосибирской области / Р. А. Ягудин // Тр. НРГМЦ. – 1971. – Вып. 6. – С. 9–23.
17. Akaeda K. The role of mesoscale and topographically induced circulations initiating a flash flood observed during the TAMEX / K. Akaeda, J. Reisner, D. Parsons / project. Mon. Wea. Rev. – 1995. – P. 1720–1739.
18. Allen J. M. Advisory Circular Subject: Thunderstorms / J. M. Allen / U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. – 2013. – P. 1–13.
19. Changnon S. A. Assessment of the quality of thunderstorm data at first-order stations / S. A. Changnon / J. Apply Meteorological. – 2001. – Vol. 40. – P. 783–794.
20. Chen Y. L Characteristics of surface airflow and pressure patterns over the island of Taiwan during TAMEX / Y. L. Chen, J. Li / Mon. Wea. Rev. – 1995. – P. 695–716.
21. Dixon P. G. Patterns and causes of Atlanta’s urban heat island-initiated precipitation / P. G. Dixon, T. L. Mote / Journal of Applied Meteorology. – 2005. – Vol. 42. – P. 1273–1284.
22. Doswell C. A. Severe Storms / C. A Doswell / NOAA/National Severe Storms Laboratory, 1313 Halley Circle, Norman, Oklahoma. – 2013. – Vol. 73069. – P. 1–20.



23. Flood or drought: How do aerosols affect precipitation? / D. Rosenfeld, U. Lohmann, G. B. Raga, C. D. O'Dowd, M. Kulmala, S. Fuzzi, A. Reissell, M. O. Andreae / *Science*. – 2008. – Vol. 321 (5894). – P. 1309–1313.
24. Mändla K. Thunderstorms caused by southern cyclones in Estonia / K. Mändla, S. E. Enno, M. Sepp / *Estonian Journal of Earth Sciences*. – 2014. – Vol. 118. – P. 108–117.
25. A study of the long-term variability of thunderstorm days in Southeast Brazil / O. Pinto, I. R. C. A. Pinto, M. A. S. Ferro / *J. Geophys. Res.* – 2013. – Vol. 118. – P. 5231–5246.
26. Randel. David L. A new global water vapor dataset, *Bulletin of the American Meteorological Society* / David L. Randel Thomas, H. Vonder Haar, Mark A. Ringerud. – 1996. – Vol. 77. – № 6. – P. 1233–1246.
27. Ravi N. Forecasting of thunderstorms in the pre-monsoon season at Delhi / N. Ravi, U. C. Mohanty, O. P. Madan, R. K. Paliwal / *Meteorol. Appl.* Vol. 6. – 1999. – P. 29–38.
28. Shepherd J. M. A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. / J. M. Shepherd / *Earth Interactions*. – 2005. – Vol. 9. – P. 1–27.
29. U. S. constructed area approaches the size of Ohio / C. D. Elvidge, C. Milesi, J. B. Dietz, B. T. Tuttle, P. C. Sutton, R. Nemani, J. E. Vogelmann / *EOS Transactions AGU*. – 2004. – Vol. 85. – 233 p.
30. Urbanization: Impacts on clouds, precipitation, and lightning / J. M. Shepherd J. A. Stallins, M. Jin, T. L. Mote / *Monograph on Urban Ecological Ecosystems* Jacqueline Peterson, Astrid Volder (eds.). American Society of Agronomy – Crop Science Society of America – Soil Science Society of America. – 2010. – 354 p.
31. Wilson J. W. Initiation of convective storms at radar-observed boundary-layer convergence lines / J. W. Wilson, W. E. Schreiber / *Mon. Wea. Rev.* – 1986. – Vol. 114. – P. 2516–2536.

## Convective Phenomena in the Territory of Irkutsk Region in 2000–2013

E. V. Shahaeva

**Abstract.** The paper considers the spatial distribution patterns of different forms of convective clouds, the number of days with thunderstorms and showers on the territory of the Irkutsk region in 2000–2013. Special attention is paid to the study of the synoptic conditions for the formation of thunderstorms.

**Keywords:** convection, thunderstorms, showers.

*Шахаева Елена Викторовна*  
*аспирант*  
*Иркутский государственный университет*  
*664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1*  
*тел.: (3952) 52-10-94*

*Shahaeva Elena Victorovna*  
*Postgraduate*  
*Irkutsk State University*  
*1, K. Marx st., Irkutsk, 664003*  
*tel.: (3952) 52-10-94*