

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра метеорологии и климатологии

**Особенности образования и распределения мезомасштабных
конвективных комплексов в Саратовской области**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 215 группы

направления 05.04.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Чересова Антона Александровича

Научный руководитель,

Зав. кафедрой, к.г.н., доцент _____

М.Ю.Червяков

Зав.кафедрой,

доцент, к.г.н. _____

М.Ю.Червяков

Саратов 2025

Введение

Согласно статистическим данным, в России 40% всех случаев опасных метеорологических явлений приходится на опасные явления (ОЯ), связанные с зонами образования активной конвекции. Основные трудности своевременного прогнозирования конвективной облачности и связанных с ней опасных метеорологических явлений обусловлены большой пространственной и временной изменчивостью облачности и сложностью усвоения информации о ее физических характеристиках в прогностических региональных мезомасштабных моделях.

Под мезомасштабными конвективными комплексами (МКК) понимают ансамбль грозовых штормов, производящий непрерывную зону осадков масштаба не менее 100 км. Понятие МКК включает широкий спектр форм и масштабов систем глубокой конвекции от линий шквалов, скоплений кучево-дождевых облаков, мезомасштабных конвективных комплексов до систем осадков атмосферных фронтов.

Анализ и прогноз формирования и эволюции МКК, их положения в пространстве, а также интенсивности связанных с ними ОЯ, представляет большой интерес для практики. Поскольку большинство случаев ОЯ связано с МКК масштаба мезо-α, то особенно актуально изучение именно таких систем – мезомасштабных конвективных комплексов (МКК) и линий шквалов (ЛШ). Интерес к мезомасштабным возмущениям обусловлен тем, что с ними связаны опасные явления погоды, причиняющие значительный экономический ущерб. К таким явлениям относятся сильные шквалистые ветры и микропорывы, грозовая деятельность, град, интенсивные осадки, вызывающие паводки.

Целью настоящих исследований являются анализ мезомасштабных конвективных комплексов и оценка их повторяемости, синоптические

условия формирования мезомасштабных конвективных комплексов (МКК) и суперъячеек (СЯ) на территории Саратовской области, а также исследование индексов неустойчивости атмосферы в дни с МКК.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

а) Дешифровать отдельные облачные составляющие мезомасштабной конвективной системы (скопления кучево-дождевых облаков, мезомасштабные конвективные комплексы, суперъячейки);

б) Рассчитать повторяемость наблюдаемых конвективных облачных элементов;

в) Определить синоптические условия образования мезомасштабных конвективных комплексов (МКК) и выполнить синоптический анализ трёх случаев возникновения суперъячеек во время их перемещения через территорию Саратовской области;

г) Рассчитать индексы неустойчивости, применяемые при оценке степени устойчивости атмосферы в дни с мезомасштабными конвективными комплексами (МКК);

д) Проанализировать повторяемость опасных явлений (ОЯ) и комплекс метеорологических явлений (КМЯ) в зависимости от синоптической ситуации;

е) Определить районы возникновения суперъячеек на территории Саратовской области – одного из опасных проявлений мезо-масштаба.

Основное содержание работы

1 Мезомасштабные облачные системы

Опасные и особо опасные явления погоды, связанные с интенсивной конвективной деятельностью, отличаются большим многообразием, наносят значительный материальный ущерб и нередко приводят к гибели людей.

С линиями шквалов связаны грозы и шквалы, иногда град. Если наблюдается только грозовая деятельность и ливневые осадки, без шквалов, то говорят о линиях неустойчивости.

С МКК и суперъячейками могут быть связаны интенсивные ливни, грозы, шквалы, крупный град, порывы ветра со скоростью более 30 м/с и даже смерчи. Мезомасштабные конвективные комплексы могут давать начало развитию новых кучево-дождевых облаков и их скоплений.

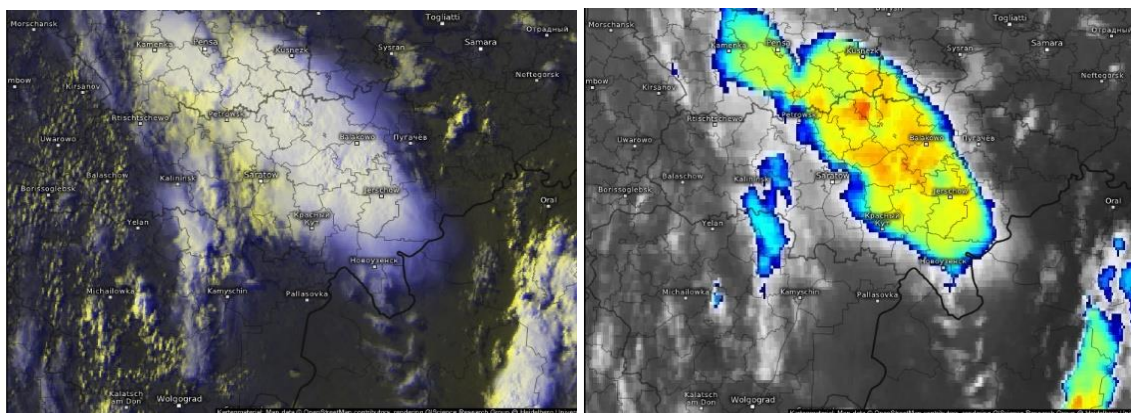


Рисунок 1 – Внешний вид МКК + скопления кучево-дождевых облаков со спутника Meteosat-8, 29 июня 2021 г., время пролета 15:30 UTC [3]

С кучево-дождевыми облаками связан комплекс наиболее опасных явлений погоды. Это ливневый дождь, град, сильный снегопад, «снежные заряды», гроза. Типичное развитие кучево-дождевых облаков и выпадение из них осадков связано с мощными проявлениями атмосферного

электричества, а именно с многократными электрическими разрядами в облаках или между облаками и Землей. Гроза часто сопровождается еще и кратковременными усилениями ветра – шквалам. Интенсивная грозовая деятельность представляет большую опасность для авиации, как на эшелонах полетов воздушных судов, так и в зоне взлета и посадки.

Сильные ливневые дожди вызывают затопления территорий, размывают дороги, дамбы. Крупный град наносит ущерб сельскохозяйственным культурам, повреждает автомобили, крыши домов и т. д. Гроза вызывает лесные, степные пожары, иногда разряды молний приводят к гибели людей. Шквалы и смерчи приносят значительные, часто катастрофические разрушения. Это вызывает необходимость глубокого, комплексного изучения условий возникновения и развития опасных конвективных явлений, особенностей их проявления в различных физико-географических районах и климатических зонах, совершенствование методов прогноза.

Выделяют мезомасштабные системы мелкой и глубокой конвекции.

К мелкой конвекции относят системы течений, развивающиеся в неустойчиво стратифицированных горизонтальных слоях воздуха толщиной до 2–3 км. Мелкая конвекция представлена слоисто-кучевыми и мощными кучевыми облаками.

Для мелкой конвекции характерны трехмерные конвективные ячейки, имеющие квазигексагональную структуру, квазидвумерные валы (гряды, улицы). По структуре облачного покрова выделяются два основных типа конвективных ячеек - открытые и закрытые.

Глубокая конвекция в отличие от мелкой развивается в слоях большой вертикальной протяженности, охватывающих всю тропосферу, а иногда и нижние слои стратосферы. В горизонтальных масштабах глубокая конвекция представляет диапазон движений от мезо-γ (изолированные кучево-дождевые облака) до мезо-α (МКК и ЛШ).

Основное отличие глубокой конвекции от мелкой состоит в том, что она развивается в атмосферном слое большой мощности и важную роль в ее развитии играют процессы, связанные с фазовыми переходами влаги в атмосфере. Другая особенность глубокой конвекции состоит в том, что вследствие ее больших вертикальных и горизонтальных масштабов на нее оказывают существенное влияние горизонтальная неоднородность метеорологических полей синоптического масштаба, эффект вращения Земли и неоднородности подстилающей поверхности.

Наиболее удобной как с генетической, так и с морфологической точки зрения является классификация, предложенная Мэддоксом (1980).

Мезомасштабные конвективные комплексы

Для прогноза МКК используется два основных подхода [13]:

а) расчет физико-статистических параметров (индексов) неустойчивости по выходным данным глобальных прогностических моделей;

б) прямое моделирование атмосферной конвекции мезомасштабными моделями с высоким пространственным разрешением. При этом наибольшую сложность представляет прогнозирование места и времени возникновения МКК и зон опасных явлений.

Представление об устойчивости атмосферы можно получить как исходя из формы облачности, так и рассчитав индексы неустойчивости.

Индексы неустойчивости традиционно рассчитываются на основе данных радиозондирования и данных метеорологических характеристик на разных изобарических поверхностях. Такие индексы, как LIFT (различие температуры окружающей среды и частицы, поднимающейся с уровня 500 м и 850 гПа) и KIND (комплексная характеристика статической стабильности

и влажности в слое 850–700 гПа), можно отнести к наиболее часто используемым в различных исследованиях.

Для территории Европы, включая ЕТР, доступны данные серии спутников Meteosat, оператором которых является Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников EUMETSAT. Спутники Meteosat Second Generation (MSG) обеспечивают получение данных о температуре и альбедо верхней границы облаков (ВГО) каждые 15 минут, а для территории Европы (включая западную часть ЕТР) – каждые 5 минут с помощью 12-ти канального радиометра SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager).

Meteosat-8 принадлежит ко второму поколению (MSG) геостационарных космических аппаратов Европейского Космического Агентства. Запущен 28 августа 2002 года. Первоначальная точка стояния - 3,7° восточной долготы. В 2008 году был перемещен на позицию 9,5° восточной долготы, в 2013 году - на позицию 3,5°, в 2016 году - на позицию 41,5°, где вошел в систему сбора данных для Индийского Океана (IODC).

Из всего состава приборов на борту сейчас работает один:

SEVIRI - вращающийся сканер видимого и инфракрасного диапазонов. Сканирование в направлении восток-запад - механическое, осуществляется за счет вращения космического аппарата, в направлении север - юг пошагово, в самом сканере. Съемка всего диска Земли выполняется с периодом 15 минут. Возможна фрагментная съемка поверхности с более коротким интервалом.

В работе за МКК принимался массив кучево-дождевой облачности диаметром 50 км и более, исходя из того, что территория исследования не предрасположена к образованию МКК, и даже такой небольшой по размерам облачный массив способен генерировать опасные явления (гроза, град, шквал, сильные и продолжительные ливни). Характерной особенностью

МКК является большая продолжительность существования (около 10 ч), но его влияние на условия погоды может осуществляться до 24–36 ч.

Для характеристики неустойчивости атмосферы в дни наличия МКК использовались результаты аэрологического зондирования на АЭ Саратов за теплый период (апрель – октябрь) 2016–2024 гг. Зондирование производится два раза в сутки: в 23:30 и 11:30 по всемирному скоординированному времени. Результаты аэрологического зондирования содержат дискретную информацию о значениях температуры и влажности воздуха и характеристиках ветра во всей толще слоя атмосферы, в котором развивается конвекция над Поволжьем, а именно до высоты 10–15 км.

Таблица 1 – Интервалы значений индексов для различных состояний атмосферы (составлено автором)

Состояние атмосферы	Явления погоды	Индексы	
		LIFT	KIND
Слабо неустойчива	Наличие ливней	$-3 \div 0$	$25 \div 30$
Неустойчива	Наличие ливней и отдельных гроз	$-6 \div -3$	$30 \div 35$
Сильно неустойчива	На всей территории регистрируются грозы	$-9 \div -6$	$35 \div 40$
Крайне неустойчива	Гроза, град	< -9	> 40

Для характеристики конвекции использовались индексы, рассчитываемые по данным аэрологического зондирования, которые широко используются для прогноза развития грозы, града, шквала и других опасных явлений погоды. Это индекс, описывающий скрытую нестабильность атмосферы – LIFT, и индекс, в котором кроме стратификации температуры присутствуют характеристики влажности – KIND. В работе применялась классификация состояний атмосферы, приведенная в таблице 1.

На рисунке 2 приведена динамика числа дней с мезомасштабными явлениями за теплый период 2016 – 2024 гг.

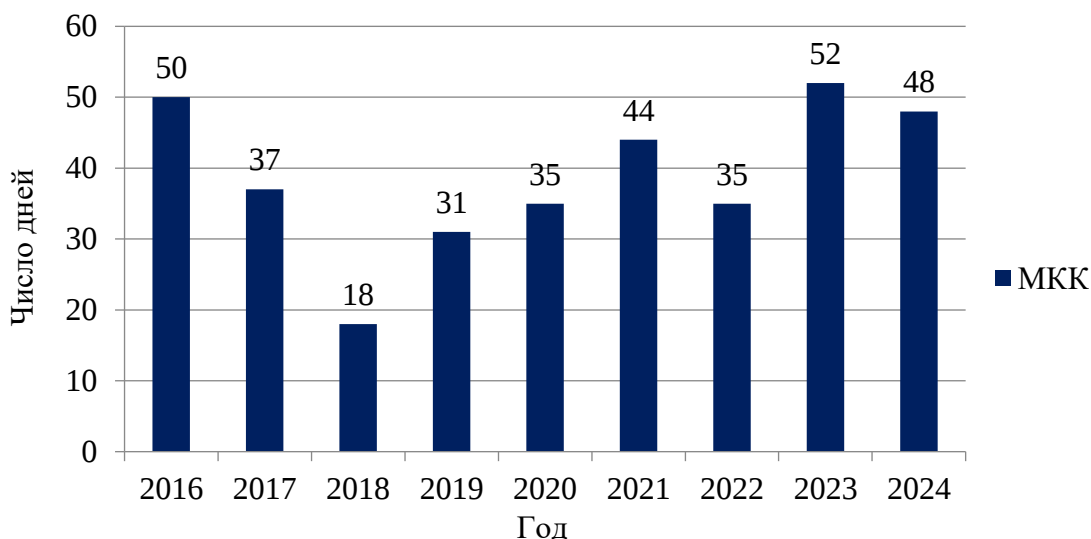


Рисунок 2 – Число дней с мезомасштабными явлениями за теплый период 2016-2024 гг. по данным спутника Meteosat-8 (составлено автором)

Наибольшее число дней с мезомасштабными явлениями приходится на 2023 год и составляет 52, а наименьшая повторяемость таких процессов отмечается в 2018 году – 18 дней, в данном случае это связано с нестабильной работой спутника. Суммарное количество МКК за 9 лет составило 350 и в среднем за год составляет около 39 случаев.

С помощью индексов неустойчивости KIND и LIFT была проведена оценка степени устойчивости атмосферы в дни формирования и прохождения МКК в районе между 50.0 и 52.5° с.ш. и 42.5 и 51.0° в.д. В таблице 2 приведена повторяемость условий атмосферы на основе граничных условий из таблицы 1.

Таблица 2 – Значения индексов для различных состояний атмосферы
(составлено автором)

Состояние атмосферы	Повторяемость для индексов, %	
	LIFT	KIND
Слабо неустойчива	36,3	30,6
Неустойчива	8,6	23,1
Сильно неустойчива	0,6	2,6
Крайне неустойчива	0	0
Вне диапазона	54,3	43,4

Оценка неустойчивости атмосферы в дни с МКК показала, что атмосфера в 36,3 % случаев слабо неустойчива в соответствии с интерпретацией индекса неустойчивости LIFT. Подобная неустойчивость характерна только для условий образования ливней по территории. При анализе состояния атмосферы с использованием KIND в 30,6 % случаев, это состояние характеризуется как слабо неустойчивое. Как известно, KIND характеризует степень конвективной неустойчивости воздушной массы, которая необходима для возникновения и развития гроз, его расчет основан на вертикальном градиенте температуры, влажности воздуха в нижней тропосфере, а также учитывает вертикальную протяженность влажного слоя воздуха. Минимум в 23,1 % случаев образования МКК могло сопровождаться грозой. При оценке неустойчивости атмосферы в дни с МКК получено, что если руководствоваться пороговыми значениями авторов [8, 18], то получается, что МКК в районе исследования были сформированы при средней и слабой степени неустойчивости. На основе выбранной классификации не было отмечено попадания в градацию «крайне неустойчива», при этом были зафиксированы значения индексов неустойчивости, которые не попадали в эти градации. Возможно, это связано с тем, что время и место проведения аэрологического зондирования не

совпадает со временем и местом максимально возможного развития конвективных процессов на исследуемой территории.

При определении синоптических ситуаций образования МКК и продуцирования ими опасных явлений был взят доступный для исследования теплый период с 2016 по 2024 гг. В ходе работы все случаи наблюдения МКК были разбиты на пять синоптических ситуаций. При возникновении на фронтальных системах мезомасштабные конвективные комплексы встречались в составе облачности холодного фронта, теплого фронта и фронта окклюзии. На внутримассовых образованиях появление МКК отмечалось в тыловой части облачного вихря и в малоградиентном барическом поле.

На основе просмотра журналов оценки прогноза погоды, были выявлены дни с наличием явлений по градам опасные явления и комплекс метеорологических явлений (КМЯ). Комплекс метеорологических явлений определяется как сочетание двух и более одновременно наблюдающихся метеорологических явлений, каждое из которых по интенсивности (силе) не достигает критериев ОЯ, но близко к ним и наносит ущерб не меньших размеров, чем ОЯ. Рассматривалась зависимость наличия как ОЯ, так и КМЯ от синоптической ситуации, зафиксированных на момент прохождения МКК. ОЯ были характерны только на фронтальных облачных системах.

Намного реже встречаются ОЯ, при этом их большая частота повторений приходится на холодный фронт. В тылу циклона и при малоградиентном барическом поле опасные явления не были зафиксированы.

Заключение

Спутниковые данные позволили дешифровать облачные системы глубокой конвекции, а также проследить изменения облачного покрова, динамику развития в дни с МКК.

Наибольшая повторяемость наблюдается у скоплений кучево-дождевых облаков. Наименьшую повторяемость имеют линии шквалов (ЛШ).

Максимальной активности МКК за теплый период достигают в июне и июле.

Наиболее часто МКК формируются на фронтальных облачных системах, реже – на внутримассовых.

Оценка неустойчивости атмосферы в дни с МКК показала, что в 53,7 % случаев атмосферу можно характеризовать как слабо неустойчивую и неустойчивую. При подобном состоянии неустойчивости атмосферы вероятно образование ливней и отдельных гроз по территории.

При сопоставлении синоптических ситуаций с возникновением МКК, доля их образования на холодном фронте составляет более 1/3 всех событий (36,6 %).

Намного реже встречаются ОЯ, при этом их большая частота повторений приходится на холодный фронт (47,4 % от общего количества опасных явлений).

События такого масштаба в целом мало изучены, поэтому представляют собой интерес с точки зрения их потенциальной опасности. Это вызывает необходимость глубокого, комплексного изучения условий возникновения и развития опасных конвективных явлений, особенностей их проявления в различных физико-географических районах и климатических зонах, совершенствование методов прогноза.