

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА

Жукова В.А.¹, Красненко Н.П.^{1,2}, Пустовалов К.Н.^{1,3}, Нагорский П.М.^{1,3}, Кошикова Т.С.¹,
Раков А.С.¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск, Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
e-mail: jukowa.vera2017@yandex.ru, krasnenko@imces.ru, const.pv@yandex.ru, npm_sta@mail.ru,
tkoshikova@gmail.com, dipol@ngs.ru

Проанализирован случай последовательного прохождения в окрестностях г. Томска двух мезомасштабных конвективных систем (мезомасштабного конвективного комплекса и линии шквалов), отмечавшийся 26 июня 2020 года. Отмечено, что прохождению мезомасштабного конвективного комплекса соответствует резкое изменение структуры вертикального профиля температуры и высокие значения вертикального градиента температуры. Временной интервал, который предшествует развитию грозных облаков, соответствует значению вертикального градиента температуры для территории ИМКЭС СО РАН – 2,18 °/100 м. Внезапным перепадам значений от положительного вертикального градиента температуры к отрицательному и наоборот, соответствует прохождение линии шквалов. Данные профиля градиента потенциала электрического поля и интенсивность грозовой активности позволяют более детально рассмотреть динамику изменения пограничного слоя атмосферы.

На сегодняшний день имеется достаточное количество задач, для решения которых требуется изучение процессов в пограничном слое атмосферы (исследование аэрозолей, моделирование пограничного слоя атмосферы (ПСА), загрязнение атмосферы и др.). Роль ПСА достаточно велика, несмотря на небольшую его толщину. Ввиду того, что в пограничном слое воздушный поток замедляется, здесь более сильные вертикальные градиенты температуры [1, 2].

В теплый период на территории юга Западной Сибири довольно часто регистрируется мощная конвективная облачность и связанные с ней опасные и неблагоприятные явления конвективного происхождения (такие как: грозы, град, шквал, интенсивные ливни и др.) [3]. Такие явления являются наиболее разрушительными и поэтому они представляют большой интерес для широкой аудитории. При благоприятных условиях, конвективные облака часто перерастают в более крупные конвективные системы, такие как мезомасштабные конвективные комплексы и линии шквалов, которые всегда вызывают опасные метеорологические явления

(ОЯ) и комплексы неблагоприятных явлений (КНЯ). Поэтому точный прогноз неблагоприятных и опасных явлений конвективного происхождения – одна из важнейших задач для синоптиков.

Целью данной работы является изучение изменчивости и динамики пограничного слоя атмосферы при прохождении мезомасштабных конвективных систем на примере г. Томска.

Анализ синоптической ситуации и полей облачности над рассматриваемым регионом производился с помощью синоптических карт с фронтальным анализом [4] и спутниковых изображений (RGB-композиции) на основе данных спектрорадиометра MODIS (космические аппараты «Terra» и «Aqua») [5].

Оценка вертикального распределения температуры пограничного слоя атмосферы (ПСА) производилась с помощью метеорологического температурного профилера МТР-5, установленного на территории ИМКЭС СО РАН (г. Томск). Данные МТР-5 представлены в виде значений температуры на высотах от 0 до 1000 м через каждые 50 м с временной дискретностью в 5 мин. Погрешность измерения температуры не превышает 0,5 °С [6]. При этом высота 0 м соответствует высоте установки прибора над уровнем земли. На основе данных МТР-5 дополнительно производился расчёт вертикального градиента температуры (γ , °С/100 м) для различных слоёв в пределах ПСА, который является важной характеристикой конвективной неустойчивости в пункте исследования.

Для оценки грозовой деятельности на исследуемой территории были использованы данные о координатах разрядов молний, полученные Всемирной грозопеленгационной сетью WWLLN [7]. Кроме того, были привлечены данные мониторинга градиента потенциала электрического поля в приземной атмосфере, полученные на геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН с помощью электростатического флюксметра CS110. Временное разрешение прибора составляет 1 сек., что позволяет регистрировать наличие конвективных облаков и разряды молний в окрестностях пункта мониторинга на основе их известного отклика в электрическом поле [8, 9].

Оценка пространственного распределения полей температуры над исследуемой территорией осуществлялась на основе данных реанализа ERA5, являющегося пятым поколением реанализа глобальных атмосферных наблюдений, созданным Европейским центром среднесрочных прогнозов (ECMWF) [10]. Реанализ ERA5 обладает высоким пространственным ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) и временным (1 час) разрешением и хорошо воспроизводит температурные поля. В данном исследовании использовались данные реанализа ERA5 о температуре воздуха.

В исследовании рассматривается случай сильной конвекции над г. Томском 26 июня 2020 года. В этот день в окрестностях Томска отмечалось последовательное прохождение

мезомасштабного конвективного комплекса (МКК) и линии шквалов (ЛШ). Прохождение конвективной облачности сопровождалось грозами и сильным дождем. Температура воздуха, зафиксированная в моменты времени составляла 26–28 °С [11].

На основе спутниковых данных [12] была построена карта-схема, изображающая расположение, размер и форму МКК в различные моменты времени (рис.1). Время начала развития МКК было зафиксировано в 13:30 ч на юго-западе Томской области. Затем наблюдалось постепенное увеличение размеров МКК и дальнейшее смещение его на северо-восток. Окрестностей города Томска МКК достиг к 15:00–15:30 ч.

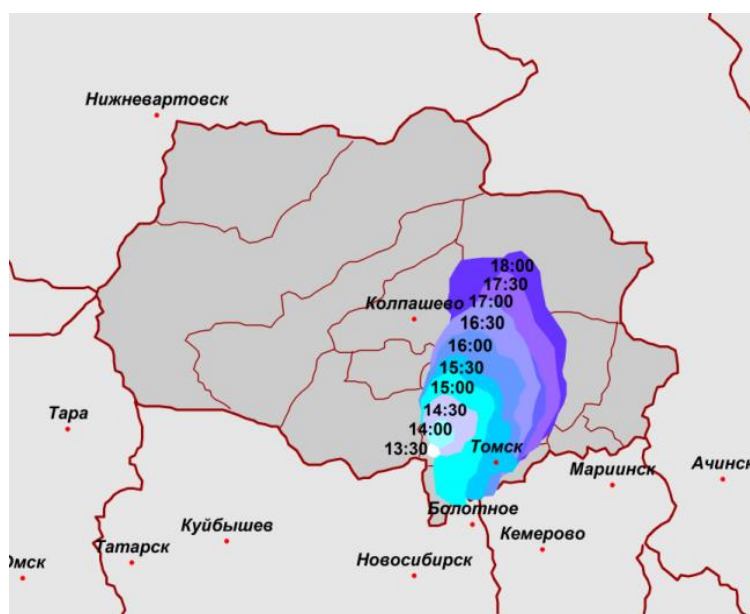


Рисунок 1 – Карта-схема перемещения и эволюции МКК за 26.06.2020 г.

Более детальное представление о развитии конвективной облачности можно получить, рассмотрев рисунок 2. По данным вертикального профиля температуры и вертикального градиента температуры (рис. 2а, 2б) наблюдается наличие ночной и утренней инверсий температуры. Изменение вертикального градиента температуры воздуха рассматривалось в слое от 0 до 50 м. Высота расположения нижней и верхней границы инверсии составляет 50 и 400 м соответственно. Начиная с 08:00 ч, γ был равен ~ 1 °/100 м, что характеризовало атмосферу как неустойчивую. Максимальное значение γ было зафиксировано в 14:30 ч и составило 2,2 °/100 м. В это же время по данным профиля температуры наблюдается изменение структуры профиля. Затем отмечается резкие перепады значений γ температуры от положительным к отрицательным и наоборот. Данное состояние можно объяснить сложной внутренней структурой облачной системы, состоящей из отдельных скоплений кучево-дождевых облаков, которую можно охарактеризовать как линию шквалов.

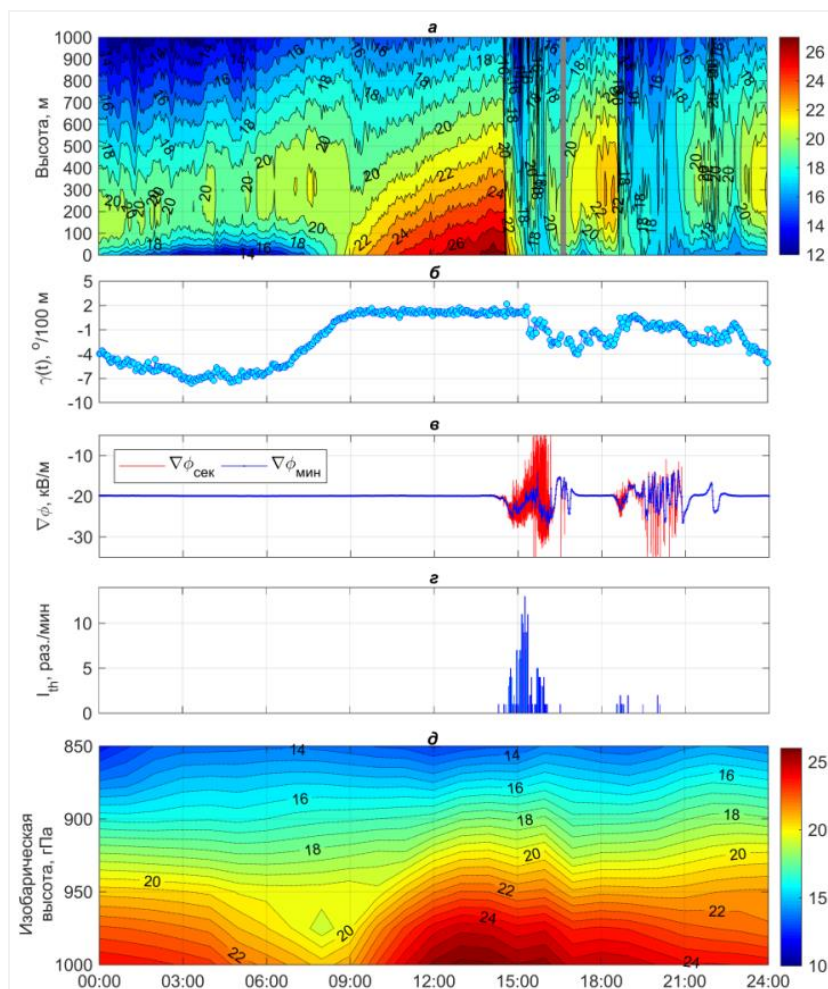


Рисунок 2 – Изменения вертикального профиля температуры воздуха по данным МТР-5 (а), вертикального градиента температуры в слое 0-100 м (б), градиента потенциала электрического поля (в), интенсивности грозовой деятельности (г) и вертикального профиля температуры воздуха по данным ERA5 (д) в г. Томске за период с 00:00 до 24:00 местного времени 26.06.2020 г.

Данные профиля градиента потенциала электрического поля и интенсивность грозовой активности (Рис. 2в, 2г) подтверждает наличие мезомасштабных конвективных систем. По данным градиента потенциала электрического поля можно проследить два пика активности отклика электрического поля. Первый пик с 14:30–17:00 ч характеризуется наиболее частыми, почти сплошными всплесками отклика. И соответствует прохождению мезомасштабному конвективному комплексу. Тогда как второй пик с 18:30–21:00 ч представляет собой отдельные с некоторым интервалом времени отклики электрического поля и с меньшей амплитудой, относящийся к прохождению линии шквалов. Интенсивность грозовой активности совпадает с откликами электрического поля.

Данные реанализа ERA5 согласуются с данными профилимера МТР-5 (рис. 2д). Они подтверждают наличие инверсии в слое от 1000 до 950 гПа. Изменение структуры профиля

температуры наблюдается с 15:00 по 17:00. Отмечается небольшой подъем температуры по высоте, что соответствует времени прохождения МКК. Далее идет плавное падение вертикального профиля температуры.

Заключение. Анализ развития сильной конвекции в г. Томске 26.06.2020 г. показал, что данное событие редкое и экстремальное для данного региона. Отмечено, что прохождению мезомасштабного конвективного комплекса соответствует скачкообразное изменение структуры вертикального профиля температуры и высокие значения вертикального градиента. Временной интервал, непосредственно предшествующий развитию грозových облаков, соответствуют значению вертикального градиента температуры для территории ИМКЭС СО РАН – 2,18 °/100 м. Данные профиля градиента потенциала электрического поля и интенсивность грозовой активности позволяют более детально рассмотреть динамику изменения атмосферного пограничного слоя.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН по проекту № 121031300155-8.

1. *Businger J.A., Wyngard J.C., Isumi Y., Bradley E. F.* Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer // *J.Atmos.Sci.*, 1971. V.28. P. 181–189.

2. *Брюхань Ф.Ф., Виноградов А.Ю., Лаврусевич А.А.* Мониторинг пограничного слоя атмосферы на площадке Белорусской АЭС // *Вестник МГОУ. Естественные науки.* 2015. № 2, С. 27–32.

3. *Жукова В.А., Кошикова Т.С., Кужевская И.В.* Оценка параметров мезомасштабных конвективных комплексов на основе спутниковых и аэрологических данных (Западная Сибирь) // *Геосферные исследования.* 2019. № 2. С. 86–97.

4. *Гидрометцентр России.* Синоптические карты с фронтальным анализом [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/mapsynop>.

5. EOSDISWorldview [Электронный ресурс]. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

6. *Кадыгров Н.Е., Крученицкий Г.М., Лыков А.Д.* Количественные оценки возмущений, вносимых мегаполисом в поле температуры атмосферного пограничного слоя // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2007. Т. 43, №1, С. 1–13.

7. WWLLN – World Wide Lightning Location Network [Электронный ресурс]. URL: <http://webflash.ess.washington.edu>.

8. *Pustovalov K.N., Nagorskiy P.M.* Response in the surface atmospheric electric field to the passage of isolated air mass cumulonimbus clouds // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2018. V.172. P. 33–39.

9. *Rakov V.A., Uman M.A.* Lightning: Physics and Effects // New York: Cambridge Univ. Press, 2003. P. 687.

10. Copernicus Climate Change Service [Электронный ресурс]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/search?type=dataset>.

11. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/>.

12. Satellite HD Meteorogix.com [Электронный ресурс]. URL: <https://meteogix.com/ru/satellite/satellite-hd-10min.html>.