КОНФЕРЕНЦИЯ D

ФИЗИКА ТРОПОСФЕРЫ

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Пустовалов К.Н., Кабанов М.М., Капустин С.Н., Кобзев А.А., Нагорский П.М., Тельминов А.Е.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

пр. Академический, д. 10 / 3, 634055, г. Томск, Россия

e-mail: const.pv@yandex.ru, mike.kabanov@gmail.com, skm@imces.ru, alexey-kobzev@mail.ru, npm_sta@mail.ru, talexey@imces.ru

Ключевые слова: атмосферное электричество, кучево-дождевые облака, ливневый снег, метель

Предложен поход для выявления кучево-дождевых облаков, в т. ч. затопленной конвекции на основе пороговых значений градиента потенциала приземного электрического поля. На примере измерительно-вычислительной системы ИМКЭС СО РАН (г. Томск), показана эффективность реализации данного подхода для получения в реальном времени информации о наличие затопленной конвекции во фронтальных облачных полях.

Целью данной работы является оценка потенциальной возможности обнаружения очагов затопленной конвекции (embedded convection) на основе данных градиента потенциала приземного электрического поля.

В конце XX века в ходе самолётных, радиолокационных и спутниковых исследований фронтальной облачности было показано, что в структуре фронтальных облачных полей отмечаются мезонеоднородности, обусловленные очагами затопленной конвекции, организованными в небольшие гряды. Наличие затопленных конвективных ячеек в фоновой облачности обуславливает резкое усиление осадков и скорости ветра на данной местности [1].

Выявление очагов затопленной конвекции посредствам визуальных наблюдений представляется весьма сложным. Информацию о мезомасштабной структуре облачных полей и наличие затопленной конвекции, в целом, можно получить с помощью метеорологических радаров (МРЛ/ДМРЛ) и спутников [2]. Однако, значительные территории нашей страны остаются не охваченными радиолокационными измерениями, а получение спутниковой информации о характеристиках облачного покрова ограничено дневными пролётами спутников над этими территориями. Таким образом, назревает необходимость в дополнительных источниках информации о наличии затопленной конвекции во фронтальных облачных полях.

Таким источником информации может служить электрическое поле приземной атмосферы. Электрическое поле, оцениваемое величиной градиента потенциала ($\nabla\varphi$), весьма чувствительно к наличию кучево-дождевых облаков (*Cb*) и связанных с ними явлений. Прохождение *Cb* вызывает «медленные» вариации электрического поля, характеризующиеся

изменением как величины, так и знака ∇φ и обусловленные, главным образом, влиянием объёмных зарядов, существующих в таких облаках, и выпадающих осадков [3].

По данным измерений градиента потенциала электрического поля в ИМКЭС СО РАН (г. Томск) за период 2006-2017 гг. авторами оценена изменчивость величины ∇φ и определены основные формы её «медленных» вариаций при прохождении *Cb* [4, 5].

На основе полученных оценок предложен подход для выявления наличия кучево-дождевых облаков на фоне облаков других форм по данным электрического поля.

Согласно данному подходу, наличие *Cb* в окрестностях пункта диагностируется если:

$$B_1 \geq \nabla\varphi \geq B_2,$$

где B_1, B_2 – пороговые значения для отрицательных и положительных значений ∇φ ($B_1=B_0 - s$, $B_2=B_0 + s$); B_0 – невозмущённое значение ∇φ (при отсутствии облачности); s – пороговый сдвиг, равный максимальной величине (при α = 0,05) возмущения ∇φ относительно B_0 под воздействием слоисто-дождевых облаков (*Ns*), вызывающих наибольшее после *Cb* возмущение электрического поля ($s = t(\alpha)\cdot\sigma_{Ns} \approx 2\cdot\sigma_{Ns}$); σ_{Ns} – среднеквадратическое отклонение ∇φ при *Ns*.

В соответствии с полученными оценками, для г. Томск величины B_1 и B_2 составляют 1090 и -630 В/м для тёплого периода года, и 920 и -320 В/м – для холодного.

Для экспериментальной проверки возможности обнаружения очагов затопленной конвекции посредствам описанного выше подхода были использованы данные измерительно-вычислительной системы «Штормовое кольцо». Данная система на настоящее время включает в себя 5 измерительных пунктов на территории и в окрестностях г. Томск, а также сервер сбора и обработки данных (рис. 1). Измерительно-вычислительная система осуществляет измерение и расчёт в режиме реального времени метеорологических, турбулентных и электрических величин в приземном слое атмосферы, в том числе – ∇φ.

Независимая оценка структуры облачности над данной территорией осуществлялась посредствам использования данных оптической толщины облаков (Cloud Optical Thickness), получаемых на основе измерений видимого и инфракрасных каналов спектрорадиометра MODIS во время дневных пролётов спутников Terra и Aqua [6]. Оптическая толщина облаков (COT), являющаяся мерой коротковолновой солнечной радиации, поглощённой и рассеянной при прохождении через облака, которая зависит от вертикальной мощности облачности [7]. Таким образом, COT позволяет выделить кучево-дождевые облака, имеющие наибольшую вертикальную мощность. Разрешение использованных данных составляло 5 × 5 км.

В качестве примера детально рассмотрим случай прохождения над г. Томск облачных полей холодного атмосферного фронта с очагами затопленной конвекции 3.11.2017 г. (рис. 2).

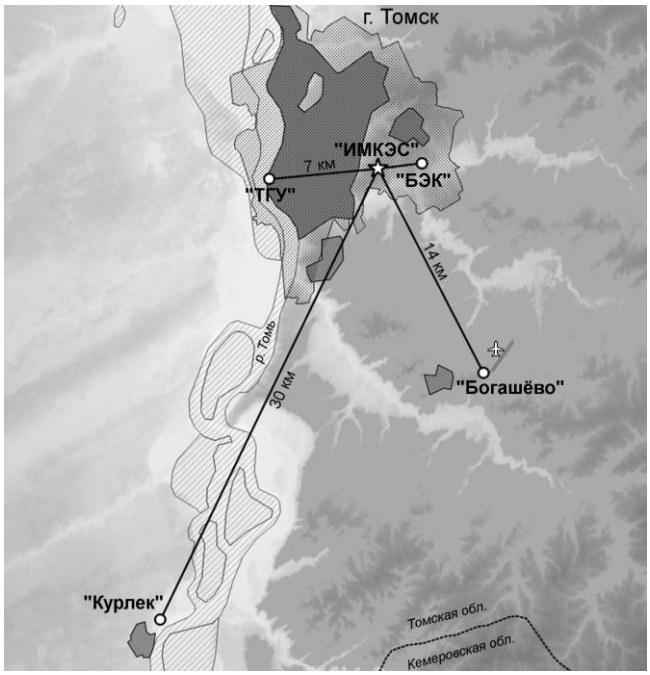

Рисунок 1 – Схема измерительно-вычислительной системы «Штормовое кольцо».

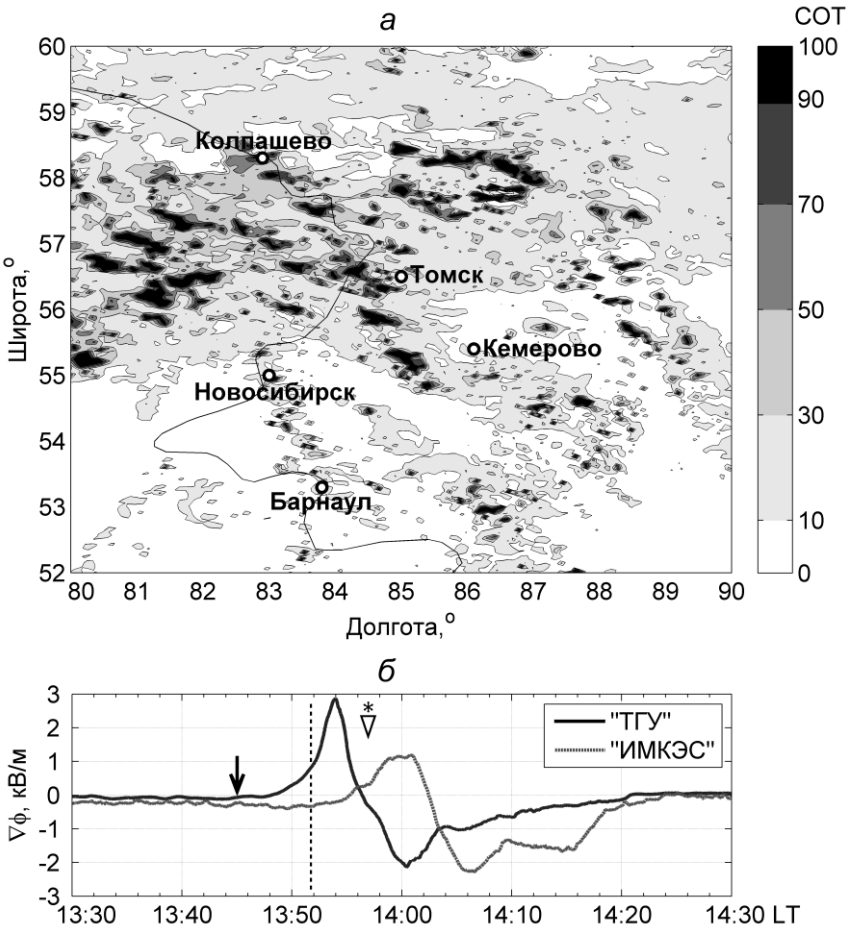

Рисунок 2 – Пространственное распределение СОТ (*а*) и вариации ∇φ (*б*) в двух пунктах при прохождении фронтальной облачности с затопленной конвекцией 3.11.2017 г. На рисунке: стрелка – время пролёта спутника, вертикальная пунктирная линия – время обнаружения *Cb* системой.

Согласно Рис. 2*a*, в пространственном распределении оптической толщины облаков при прохождении холодного фронта 11 ноября 2017 г. отмечались небольшие области повышенных значений COT (50 и более), которые можно однозначно связать с очагами затопленной конвекции. Данные очаги были организованы в гряды, располагающиеся под некоторым углом (~30º) к линии фронта. Одна из таких гряд прошла над г. Томск в период с 13:50 до 14:20 по местному времени и обусловила выпадение осадков в виде ливневого снега.

В этот период, в пункте «ТГУ», а через 7 минут в пункте «ИМКЭС» наблюдались интенсивные вариации градиента потенциала электрического поля, связанные с прохождением кучево-дождевых облаков. При этом, форма вариаций $\nabla\varphi$, измеренных в пунктах «ТГУ» и «ИМКЭС» имела близкое сходство, что указывает на незначительную изменчивость электрической структуры *Cb* на временном масштабе ~ 10 минут. Расчётное время обнаружения измерительно-вычислительной системой затопленной конвекции – 13:52, предшествовало началу выпадения ливневых осадков (в виде снега) в западной и восточной частях Томска на ~ 5 и 15 минут соответственно. Планируемое создание нескольких пунктов измерения вокруг г. Томск на расстоянии ~ в 30 км позволит увеличить заблаговременность до 30–60 минут.

Заключение. Предложен подход для обнаружения кучево-дождевых облаков, в том числе затопленной конвекции, на основе пороговых значений градиента потенциала электрического поля. Показана эффективность реализации данного подхода в автоматических системах мониторинга состояния атмосферного пограничного слоя для получения в режиме реального времени информации о наличии затопленной конвекции во фронтальных облачных полях.

Исследования поддержаны грантом Президента Российской Федерации (МК-179.2017.5).

Литература

1. *Шметер С.М.* Характеристики затопленной конвекции во фронтальных облаках и условия её образования // Метеорология и гидрология, 1990. № 11. С. 36–44.
2. *Толмачева Н.И.* Дистанционные методы исследования мезометеорологических процессов. Пермь: Перм. ун-т., 2010. 200 с.
3. *Филиппов А.Х.* Грозы Восточной Сибири. Л: Гидрометеоиздат, 1974. 75 с.
4. *Пустовалов К.Н., Нагорский П.М.* Основные типы вариаций электрического поля при прохождении кучево-дождевых облаков различного генезиса // Оптика атмосферы и океана, 2016. Т. 29, № 8. С. 647–653.
5. *Pustovalov K.N., Kobzev A.A., Nagorskiy P.M., Tel'minov A.E.* Dynamics of electrical characteristics of the surface atmosphere during the passage of cumulonimbus clouds in the cold season // Proc. SPIE, 2017. V. 10466. P. 104665P-1–104665P-1.
6. *LAADS DAAC.* URL: https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/ (дата обращения: 9.02.2018).
7. *Platnick S., King M.D., Ackerman S.A., Menzel W.P., Baum B.A., Riedi J.C., Frey R.A.* The MODIS Cloud Products: Algorithms and Examples From Terra // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2003. V. 41, № 2. P. 459–473.