

PROCEEDINGS OF SPIE

27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics

Gennadii G. Matvienko
Oleg A. Romanovskii
Editors

5–9 July 2021
Moscow, Russian Federation

Organized by

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS (Russian Federation)
M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics RAS (Russian Federation)
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Russian Federation)
V.M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS (Russian Federation)

Sponsored by

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
"Atmosphere" an Open Access Journal by MDPI (Switzerland)
SOLAR LASER SYSTEM (Belarus)
Photonics Journal (Russian Federation)

Published by
SPIE

Volume 11916
Part One of Three Parts

Proceedings of SPIE 0277-786X, V. 11916

SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

КОНФЕРЕНЦИЯ D

ФИЗИКА ТРОПОСФЕРЫ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОЗОВЫХ ОЧАГОВ ПРИ РАЗВИТИИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМ НАД ЮГОМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Кошикова Т.С.¹, Картавых М.С.², Пустовалов К.Н.^{1,2}, Нагорский П.М.¹, Чурилов И.Д.²

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

e-mail: tkoshikova@gmail.com, nnn.vavava@gmail.com, const.pv@yandex.ru, npm_sta@mail.ru,

churillov@mail.ru

В работе получены оценки грозовой деятельности при прохождении мезомасштабных конвективных комплексов (МКК) на юге Западной Сибири за 2016 – 2019 гг. При анализе траекторий перемещения МКК, выявлено, что он проходит с юго-запада на северо-восток. Продолжительность грозовой деятельности, генерируемой МКК, в среднем около 9 часов. При этом, продолжительности грозовой деятельности менее 4 часов не отмечалось. В среднем, площадь грозового очага составила около 5700 км². Среднее расстояние, которое проходит грозовой очаг, ~ 470 км. По данным WWLLN количество разрядов молний, связанных с МКК, составляет в среднем ~ 530 разрядов.

Изменение климата, и, как следствие, увеличение числа опасных метеорологических явлений оказывают большое влияние окружающую среду и на деятельность человека. Согласно статистическим данным, в России 40 % всех случаев опасных метеорологических явлений приходится на явления, связанные с зонами образования активной конвекции [1]. При развитии глубокой конвекции часто генерируются циркуляции масштаба «микро» и «мезо», представляющие значительную опасность для населения и хозяйственной инфраструктуры, поскольку с ними связаны интенсивные ливневые осадки и паводки, градобития и шквалистые усиления ветра. В частности, к таким системам относятся мезомасштабные конвективные комплексы (МКК). МКК – комплекс кучево-дождевых облаков, объединённых общей наковальной, и временем жизни около 16 ч, в отдельных случаях – более суток [2]. МКК встречаются в разных регионах [2-4], в том числе в Западной Сибири [5].

Развитие МКК всегда сопровождается интенсивной грозовой активностью. Основными источниками информации о грозоопасности являются: 1) визуально-слуховые метеонаблюдения; 2) счетчики разрядов молний; 3) активные радиотехнические методы; 4) пассивные радиотехнические системы пеленгации гроз; 5) спутниковые наблюдения. В настоящее время сформирована система Всемирной сети регистрации молний «World Wide Lightning Local Network (WWLL)», включающая большое количество современных станций, расположенных по всему миру и регистрирующих радиоимпульсы от молниевых разрядов в диапазоне 3–30 кГц.

Целью работы является оценка характеристик грозовых очагов, связанных с мезомасштабными конвективными системами, над югом Западной Сибири.

Исследование проводилось на территории юга Западной Сибири, которая условно располагается между 50 и 60 °с.ш. и 70 и 90 °в.д., для теплого периода (апрель-сентябрь) года. Были отобраны случаи прохождения МКК на территории юга Западной Сибири за период 2016–2019 гг. Дешифрирование МКК выполнялось визуально на основе RGB-композиции со спутников Terra, Suomi NPP и Aqua [6]. Для анализа характеристик грозовых очагов, связанных с отобранными случаями МКК, использовались данные WWLLN, выкладываемые ежедневно в формате KMZ [7]. Эти файлы, содержащие координаты разрядов молний по всему миру за 1 час, были скомпонованы за сутки, а затем конвертированы в TXT файлы.

Далее в программной среде MATLAB для каждого из отобранных случаев МКК строились карты по данным 26 канала спектрорадиометра MODIS (файлы MOD021KM/MYD021KM [8]) и координаты разрядов молний по данным WWLLN. Молниевые разряды делились на группы, каждой из которых соответствовал уникальный цвет маркера на карте, в зависимости от времени их регистрации (с шагом 1 час) относительно времени спутникового изображения (t_0): $[t_0-6 \div t_0-5]$; $[t_0-5 \div t_0-4]$; $[t_0-4 \div t_0-3]$; $[t_0-3 \div t_0-2]$; $[t_0-2 \div t_0-1]$; $[t_0-1 \div t_0]$; $[t_0 \div t_0+1]$; $[t_0+1 \div t_0+2]$; $[t_0+2 \div t_0+3]$; $[t_0+3 \div t_0+4]$; $[t_0+4 \div t_0+5]$; $[t_0+5 \div t_0+6]$.

На следующем этапе выполнялась оцифровка координат разрядов молний, расположение которых соответствовало положению МКК в момент времени t_0 , а также экстраполированному их положению t . Оцифрованные данные сохранялись в виде mat-файлов, на основе которых рассчитывались количественные параметры грозовых очагов: продолжительность грозовой деятельности (T); количество разрядов молний (N); площадь грозового очага (S); полное перемещение грозового очага (L); плотность разрядов молний (ρ). Далее проводился расчёт статистических характеристик рассчитанных значений параметров.

Для оценки конвективного потенциала применялся KI , который рассчитывается по формуле: $KI = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700})$. KI характеризует степень конвективной неустойчивости воздушной массы, которая необходима для возникновения и развития гроз. Значения индекса KI в интервале 25–30 °С, говорит о том, что состояние атмосферы слабо неустойчивое. При значениях 30–35 °С состояние атмосферы неустойчивое и высока вероятность ливня, возможны с невысокой степенью вероятности и грозы. Значения KI в интервале 35–40 °С говорят о сильно неустойчивом состоянии атмосферы и наличии потенциала для развития грозы с ливнем, а при значениях индекса больше 40 °С атмосфера крайне неустойчива и грозы с сильным ливнем и градом неизбежны. В результате исследований

[9] было получено, что использование индекса KI наиболее перспективно для разработки методов прогноза грозовой активности над Сибирью. Поэтому, для оценки неустойчивости атмосферы рассчитывался KI по данным реанализа ERA5 [10], который имеет пространственное разрешение – $0,25^\circ$ и временное разрешение – 1 час.

В ходе исследования были построены карты, иллюстрирующие грозовую деятельность, связанную с прохождением МКК, и карты распределения KI . Ниже на рисунках 1, 2 представлены 2 типичных случая спутниковых изображений МКК.

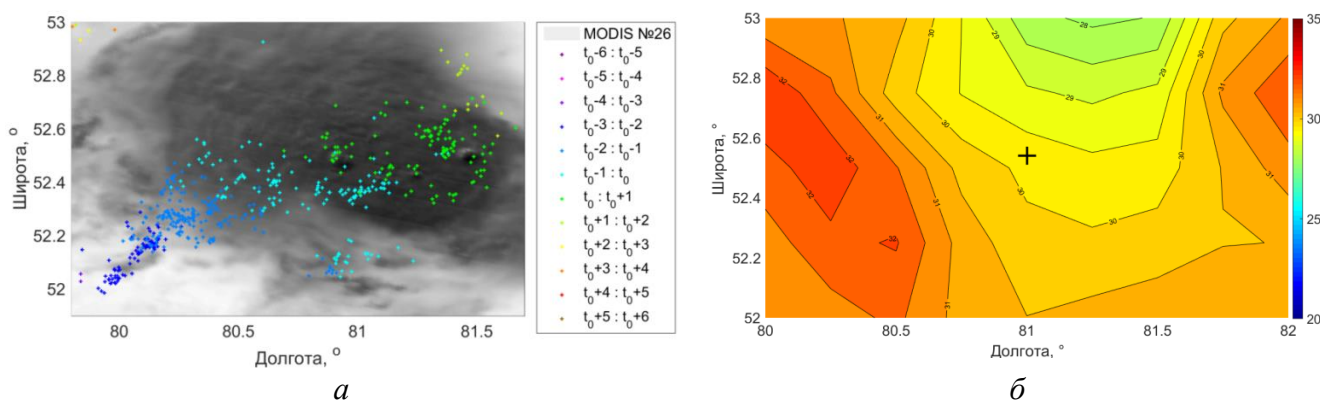


Рисунок 1 – Спутниковое изображение МКК и координаты разрядов молний за одночасовые интервалы времени ($\pm 1-6$ ч относительно времени спутникового снимка) (а), распределение индекса неустойчивости KI за 22.07.2017 года, время пролета 06:00 UTC (б).

На рисунке б крестиком условно обозначен центр МКК.

В первом случае МКК, перемещающийся в Алтайском крае в северо-восточном направлении, согласно рисунку 1, имеет форму овала. Соотношение его большой и малой полуосей составляет примерно 1:1,5. Разряды, наблюдавшиеся за 1–2 часа до момента спутникового снимка, характеризуются высокой плотностью. В момент спутникового снимка интенсивность разрядов увеличивается и находится на максимуме еще час после пролета спутника. Значение KI в момент пролета спутника наблюдается 30°C , что говорит о переходе атмосферы из слабо неустойчивого состояния в неустойчивое. При этом, максимальное значение индекса было часом позже и достигло значения 33°C . Сопоставляя полученные данные, можно сделать вывод, что максимальная неустойчивость атмосферы проходит на 07:00 UTC.

Во втором случае (Рис. 2) МКК также перемещается в северо-восточном направлении. Соотношение его большой и малой полуосей составляет $\sim 1:1,5$. Разряды, наблюдавшиеся за 1–2 часа до момента спутникового снимка, характеризуются высокой плотностью и интенсивностью, а разряды наблюдающиеся через 1–2 часа после пролета спутника, имеют значительно меньшую интенсивность. Это можно объяснить тем, что МКК уже прошел стадию

максимального развития, и начинает затухать. Это подтверждается анализом KI в указанные моменты времени. Максимальное значение индекса, в области ММК, было зафиксировано в 03:00 UTC, и достигало значений $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 3 часа до пролета спутника. Это говорит о сильно неустойчивом состоянии атмосферы. В момент пролета спутника значение $KI = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$, при таком значении, состояние атмосферы уже не характеризуется сильной неустойчивостью.

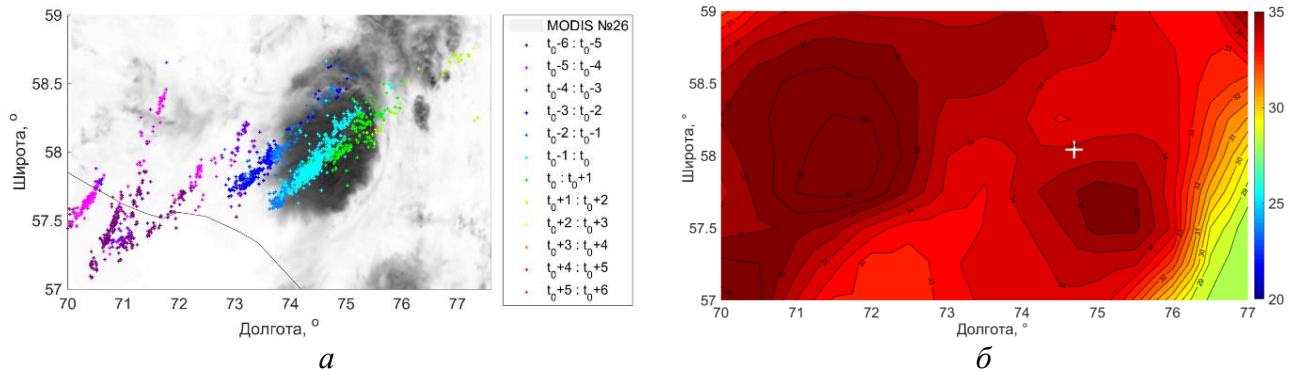


Рисунок 2 – Спутниковое изображение ММК и координаты разрядов молний за одночасовые интервалы времени ($\pm 1-6$ ч относительно времени спутникового снимка) (а), распределение индекса неустойчивости KI за 03.08.2017 года, время пролета 06:20 UTC (б).

На рисунке б крестиком условно обозначен центр ММК.

Для исследуемых грозовых очагов, был проведен статистический анализ характеристик (табл. 1). Грозовая деятельность, над югом Западной Сибири длится в среднем 9 часов. Таким образом, ММК над югом Западной Сибири, как правило, существуют на 7 часов меньше, чем ММК в тропической зоне [2, 3]. Количество разрядов молний, составляет в среднем 530 разрядов. Минимальное значение N (при $P = 5\%$) составляет 170 разрядов, а максимальное (при $P = 95\%$) – 2400 разряда. Площадь грозового очага составляет в среднем около 5700 км^2 . Типичные значения S изменяются в диапазоне $1850 \div 15400\text{ км}^2$, но и зарегистрированы случаи грозовых очагов площадью более 38000 км^2 . Среднее расстояние, которое проходит грозовой очаг над югом Западной Сибири, составляет 470 км. Минимальное значение L (при $P = 5\%$) составляет 160 км, а максимальное (при $P = 95\%$) – 1050 км. Типичные значения плотности разрядов молний изменяются в диапазоне $0,07 \div 0,28\text{ раз./км}^2$, а средняя плотность разрядов молний, составляет $\sim 0,12\text{ раз./км}^2$. Рассчитанные величины имеют такое малое значение потому, что вычислялась плотность разрядов на км^2 не за год, а за анализируемый случай.

Таблица 1. Статистические характеристики некоторых параметров грозовых очагов.

| | Медиана | Интерквартильный размах | Процентили | | | |
|-------------------------------|---------|----------------------------|------------|------|-------|-------|
| | | | 5 | 25 | 75 | 95 |
| T , часы | 9 | 6,25 | 4 | 5,25 | 11,5 | 12 |
| N | 528 | 1290 | 171 | 294 | 1590 | 2360 |
| S , км ² | 5690 | 13600 | 719 | 1840 | 15400 | 38300 |
| L , км | 477 | 388 | 162 | 217 | 605 | 1030 |
| ρ , раз./км ² | 0,12 | 0,20 | 0,02 | 0,07 | 0,28 | 0,35 |

Примечание. T – продолжительность грозовой деятельности (часы); N – количество разрядов молний; S – площадь грозового очага (км²); L – перемещение грозового очага (км); ρ – плотность разрядов молний (раз./км²).

Далее была построена карта траекторий перемещения МКК, восстановленных по координатам молний по данным WWLLN (рис. 3).

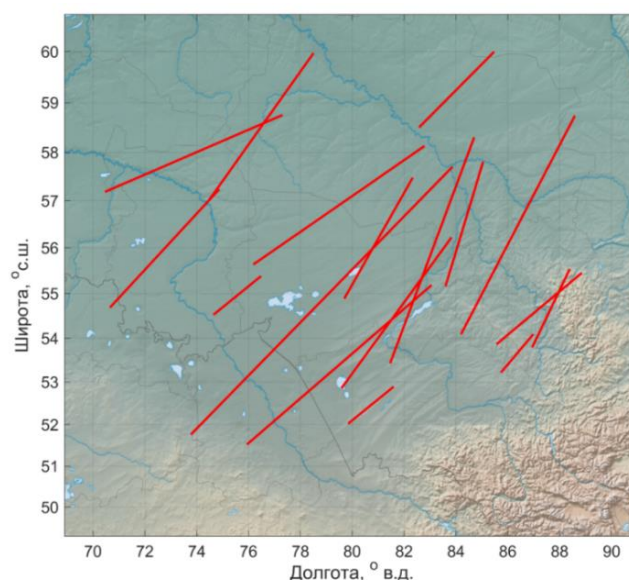


Рисунок 3 – Карта траекторий перемещения МКК над югом Западной Сибири.

Анализируя карту, видно, что перемещение мезомасштабных конвективных комплексов происходит с юго-запада на северо-восток. Такое направление перемещения обусловлено меридиональным переносом и постоянно выходящими на юг Западной Сибири южными циклонами. Активное образование МКК происходит над хорошо прогретой степной зоной, включающей большое количество мелководных водоёмов. Образованные МКК за счет меридионального переноса перемещаются на север исследуемой территории.

Заключение. Проведена комплексная оценка грозовой деятельности при прохождении МКК над территорией юга Западной Сибири за период с 2016 по 2019 гг.

На стадии максимально развития МКК для грозовых разрядов характерны высокая плотность и интенсивность. Перемещение мезомасштабных конвективных комплексов происходит в направлении с юго-запада на северо-восток.

Общая продолжительность грозовой деятельности, генерируемой МКК, в среднем около 9 часов. Продолжительность грозовой деятельности менее 4 часов не отмечалась. Площадь грозового очага, связанного с МКК, составляет в среднем $\sim 5700 \text{ км}^2$. Среднее расстояние, которое проходит грозовой очаг, $\sim 470 \text{ км}$. Плотность разрядов молний в пределах грозового очага составляет $\sim 0,12 \text{ раз./км}^2$. Количество разрядов молний – ~ 530 разрядов.

Исследования поддержаны грантом Президента Российской Федерации (МК-489.2020.5)

1. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2014. 296 с.
2. Maddox R.A. 1980. Mesoscale convective complexes // Bull. Am. Meteorol. Soc., 61. – p.1374-1387.
3. Вельтищев Н.Ф. Мезометеорологические процессы / Н. Ф.Вельтищев, В.М. Степаненко. – М.: МГУ, 2006. – 101 с.
4. Velasco, I. and J. M. Fritch: Mesoscale convective complexes in the Americas // J. Geoph. Res. v. 93, No. D8, 1987. – p. 9561-9613.
5. 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.
6. EOSDIS Worldview. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (Дата обращения 20.02.2021).
7. World Wide Lightning Location Network: [Электронный ресурс]. URL: <https://wwlln.net/>. (Дата обращения: 10.12.2019).
8. LAADS Web. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. Data [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>(дата обращения: 02.12.2019).
9. Горбатенко В.П., Кречетова С.Ю., Беликова М.Ю., Нечепуренко О.Е. Сравнение индексов неустойчивости атмосферы, восстанавливаемых по данным радиозондирования и спектро радиометра MODIS в дни с грозами, над территорией Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 10–19.
10. Climate Data Store [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – URL:<https://cds.climate.copernicus.eu> (дата обращения 15.02.2021).