

КОНФЕРЕНЦИЯ D

ФИЗИКА ТРОПОСФЕРЫ

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАД ЮГОМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ MODIS

Кошикова Т.С.¹, Жукова В.А.^{1,2}, Пустовалов К.Н.^{1,2}, Нагорский П.М.^{1,2}, Кужевская И.В.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, jukowa.vera2017@yandex.ru, const.pv@yandex.ru,

npm_sta@mail.ru, ivk@ggf.tsu.ru

Получены оценки морфологических и микрофизических характеристик мезомасштабных конвективных комплексов (МКК) на юге Западной Сибири за 2010–2019 гг. Отмечено, что значения протяженностей МКК вдоль широты и долготы в среднем составляют ~140 и 120 км, а типичные диапазоны их изменения (ограничены 25- и 75-процентилями) 120÷160 км и 100÷130 км соответственно. Высота верхней границы МКК в среднем составляет 12 км и изменяется, как правило, в диапазоне от 9 до 13 км. Эффективный радиус облачных частиц в среднем равен 27 мкм, а типичные его значения колеблются в диапазоне от 25 до 29 мкм. Среднее интегральное влагосодержание облачной системы МКК составляет 1,2 кг/м², и чаще всего изменяются в диапазоне от 0,7 до 2,1 кг/м².

В настоящее время, на фоне происходящих глобальных климатических изменений, отмечается тенденция увеличения повторяемости конвективной облачности и связанных с ней атмосферных явлений на территории Западной Сибири, и увеличение ущерба от них [1]. Согласно статистическим данным, в России 40 % всех случаев опасных метеорологических явлений приходится на опасные явления, связанные с зонами образования активной конвекции [2]. Наиболее опасными проявлениями конвективной облачности являются системы глубокой конвекции, в частности мезомасштабные конвективные комплексы (МКК), с которыми связана сильная грозовая деятельность, крупный град, сильные ливни и шквалы [3].

В свою очередь системы глубокой конвекции обнаруживаются обычно только с помощью изображений, получаемых с искусственных спутников земли (ИСЗ) и радиолокационных наблюдений [4]. На территории юга Западной Сибири практически отсутствует радиолокационная сеть (МРЛ, ДМРЛ), что не позволяет использовать их в данном исследовании. Спутниковые системы обеспечивают глобальный охват территории. Ежегодно повышается оперативность доступа к данным, увеличивается число действующих спутниковых систем, их пространственное, временное разрешение и точность восстановленных характеристик. В настоящее время в России действуют несколько систем космического мониторинга опасных гидрометеорологических явлений, как на федеральном уровне, так и в отдельных регионах. На основе их применения обнаруживаются признаки возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), ведется мониторинг ЧС, оценивается ущерб [5].

Согласно [6], мезомасштабного конвективного комплекса (МКК) представляют собой комплекс кучево-дождевых облаков, объединённых общей наковальной квазиовальной формы, инфракрасные изображения которой имеют следующие характеристики. Площадь более или менее непрерывного облачного покрова с температурой верхней границы ниже $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет не менее 10^5 км^2 , а площадь внутреннего района с температурой верхней границы ниже $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ не менее $5\cdot 10^4\text{ км}^2$. Указанные размеры сохраняются в течение 6 ч и более. При этом в период максимального развития отношение малой оси облачной системы к большой не менее 0,7. МКК можно встретить в разных географических регионах [3, 4, 6, 7].

Целью данной работы является оценка микрофизических характеристик мезомасштабных конвективных комплексов.

Исходными данными для определения микрофизических характеристик МКК послужили облачные продукты второго уровня обработки MODATML2 и MYDATML2 [8] с разрешением $5\times 5\text{ км}$, полученные по данным спектрорадиометра MODIS. Спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) является одним из ключевых приборов на спутниках «Terra» и «Aqua» [9].

Исследование проводилось на территории юга Западной Сибири, которая условно располагается между 50 и $60\text{ }^{\circ}\text{с.ш.}$ и 70 и $90\text{ }^{\circ}\text{в.д.}$ и представлена 6 территориально-административными единицами: Томская, Омская, Новосибирская и Кемеровская области, Республика Алтай и Алтайский край. Оценка характеристик МКК осуществлялась за тёплый период (апрель-сентябрь) с 2009 по 2019 гг.

Дешифрирование МКК осуществлялось визуально на основе спутниковых изображений MODIS [10]. Были выделены временные интервалы прохождения МКК над территорией исследования и определены координаты их центров. На основе этой информации были отобраны файлы MODATML2/MYDATML2 [8], содержащие облачные продукты, следующие из которых были использованы в данной работе: оптическая толщина облачности – Cloud Optical Thickness (COT); эффективный радиус облачных частиц – Cloud Effective Radius (CER); высота верхней границы облачности – Cloud Top Height (CTH); интегральное влагосодержание – Cloud Water Path (CWP); давление на верхней границе облака – Cloud Top Pressure (CTP); температура на верхней границе облака – Cloud Top Temperature (CTT).

Разработана методика автоматизированного отбора случаев МКК и выделения их границ на основе определённых временных интервалов и координат. Критериями для отбора послужили следующие пороговые значения:

- 1) температура верхней границы облаков $\leq 200\text{ К}$ ($-32\text{ }^{\circ}\text{C}$) [6];

2) площадь облачного массива $\geq 10000 \text{ км}^2$ (выведен эмпирически для исследуемой территории и составляют 1/10 от предложенного в [6]);

3) оптическая толщина облачности, которая определяется вертикальной мощностью облачности, ≥ 30 (позволяет отделить облачную систему МКК от сопутствующих облаков).

Всего за период 2010-2019 гг. отобрано 462 случая прохождения МКК.

Далее рассчитывались площади МКК (S) и их протяжённости вдоль широты (L_{lat}) и долготы (L_{lon}), отбирались значения продуктов COT, CTH, CWP, CTT, CTP, а также проводился статистический анализ всех исследуемых параметров МКК.

Согласно рисунку 1, распределения большинства исследуемых параметров МКК не соответствует нормальному закону (гауссову), исключения – L_{lat} , L_{lon} и CER. Распределения S и CTT, в целом, могут быть аппроксимированы степенным законом. Распределения CTH, CTP, CWP являются двумодальными.

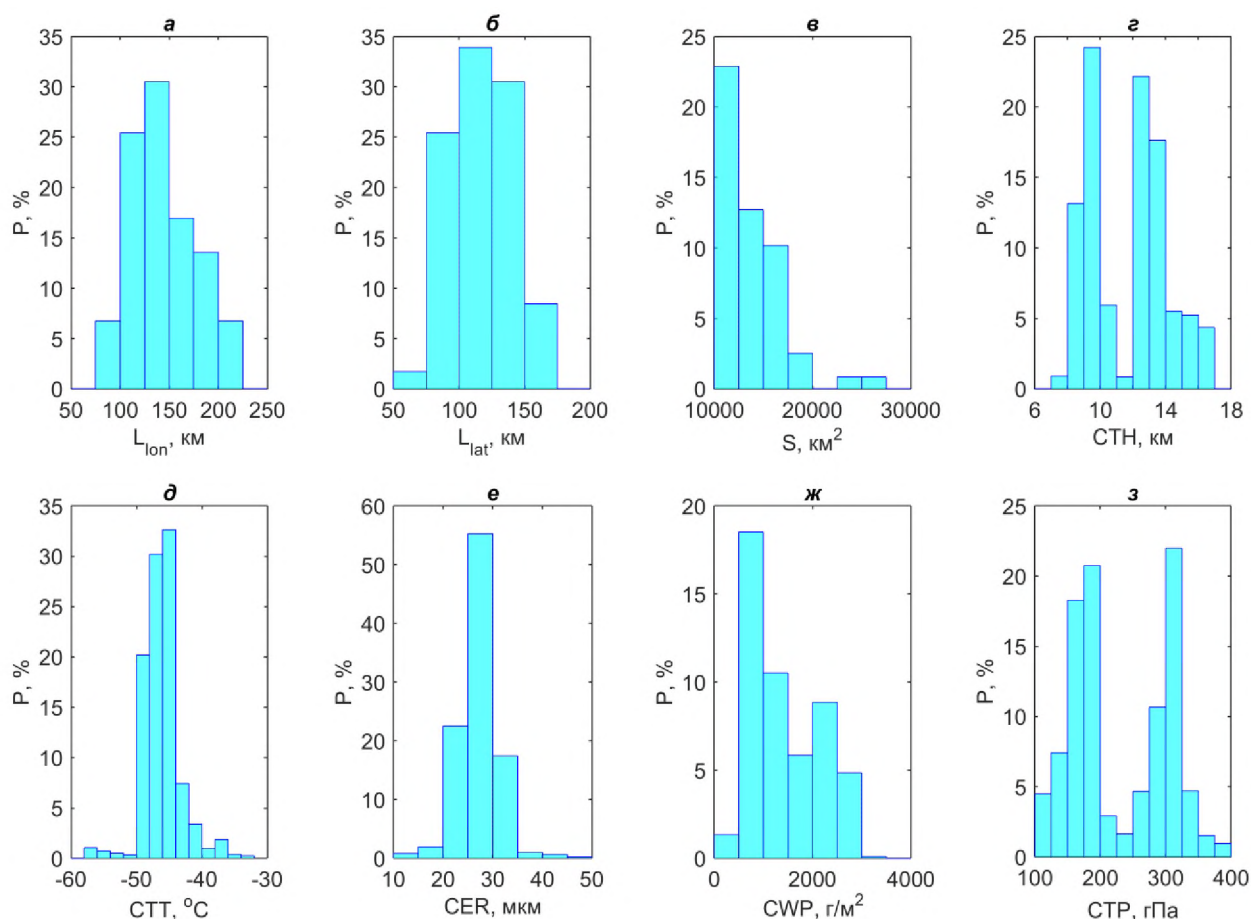


Рисунок 1 – Распределения протяжённостей МКК вдоль широты (а) и долготы (б), их площадей (в), верхней границы облаков (г), температуры на верхней границе облаков (д), эффективного радиуса облачных частиц (е), интегрального влагосодержания облаков (ж) и атмосферного давления на верхней границе облаков (з).

Для исследуемых случаев МКК медианные значения протяжённостей по широте и долготе составляют 138 и 115 км (рис. 2а, 2б), а типичные значения ($P_{25} \div P_{75}$) изменяются в диапазонах 118–164 км и 96,3 –134 км соответственно. Медианные значения для площади МКК равны 12800 км², а характерные значения варьируются в пределах от 11400 до 15300 км² (рис. 2в). Для верхней границы облаков медиана равняется 12,3 км, а наиболее характерные для неё значения меняются в диапазоне 9,25–13,3 км (рис. 2г). Температура на верхней границе облаков имеет характерные значения в пределах от -47,9 °С до -44,8 °С, хотя медианные значения равняются -46,2 °С (рис. 2д). Для эффективного радиуса облачных частиц медиана равна 27,4 мкм, а типичные значения колеблются в диапазоне 24,9–29,4 мкм (рис. 2е). Средние значения для интегрального влагосодержания облаков равны 1210 г/м², а характерные величины изменяются в диапазоне 793–2080 г/м² (рис. 2ж). Для атмосферного давления на верхней границе облаков медиана равна 190 гПа. Типичные значения варьируются в пределах от 170 до 300 гПа (рис. 2з).

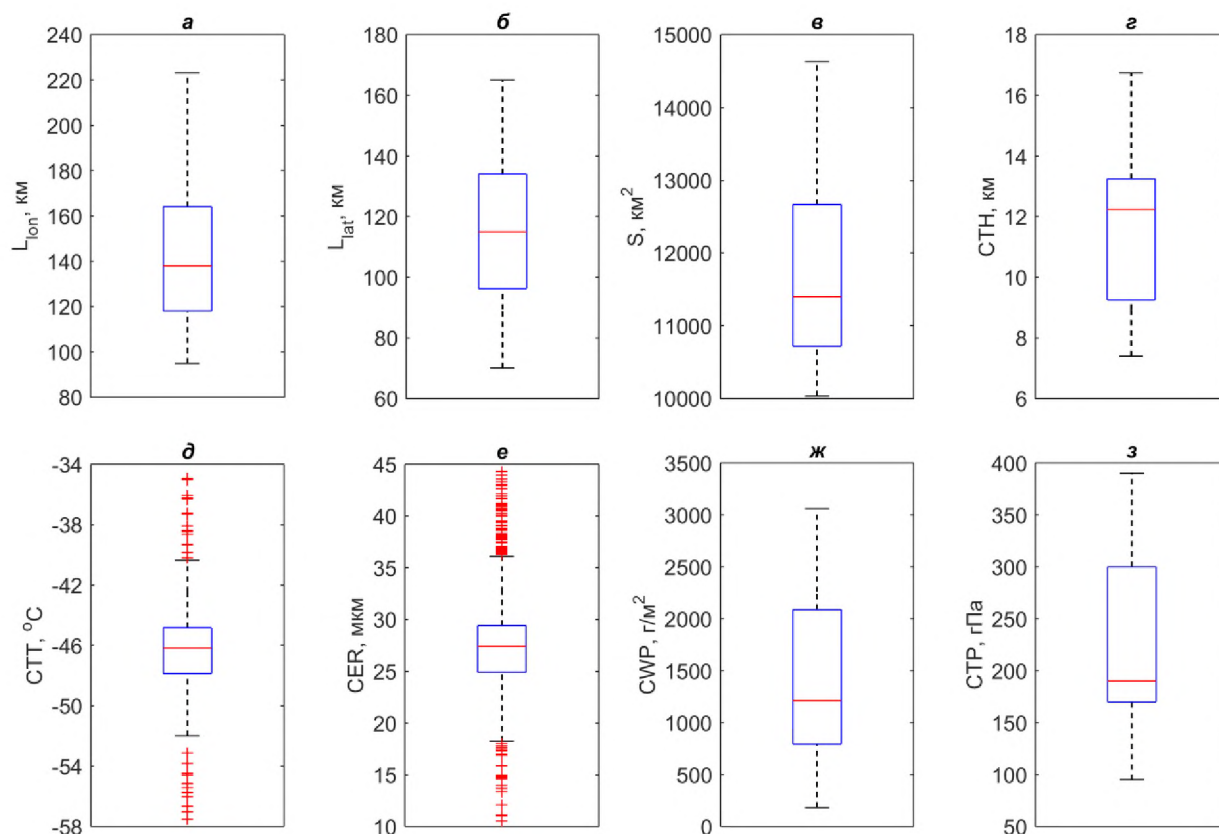


Рисунок 2 – Графики типа «Ящик с усами» для значений протяжённостей МКК вдоль широты (а) и долготы (б), их площадей (в), верхней границы облаков (г), температуры на верхней границе облаков (д), эффективного радиуса облачных частиц (е), интегрального влагосодержания облаков (ж) и атмосферного давления на верхней границе облаков (з).

Заключение. Проведена оценка морфологических и микрофизических характеристик мезомасштабных конвективных комплексов над территорией юга Западной Сибири. Отмечено, что для исследуемых случаев МКК характерны следующие характеристики: протяжённость по широте – 120÷160 км; протяжённость по долготе – 100÷130 км; площадь – $11\div 15 \cdot 10^3$ км²; высота верхней границы – 9÷13 км; температура на верхней границе – -48÷-45 °С; атмосферное давление на верхней границе – 170÷300 гПа; интегральное влагосодержание – 0,8÷2,1 кг/м²; эффективный радиус облачных частиц – 25÷29 мкм.

Исследования поддержаны грантом Президента Российской Федерации (МК-489.2020.5)

1. *Chernokulsky A.V.* Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations / A. V. Chernokulsky, O. N. Bulygina, I. I. Mokhov // *Environ. Research Letters*. 2011. V. 6, № 3. P. 035202.
2. *Пьянков С.В., Шихов А.Н.* Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Пермь.: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2014. 296 с.
3. *Вельтищев Н.Ф.* Мезометеорологические процессы / Н. Ф.Вельтищев, В.М. Степаненко. М.: МГУ, 2006. 101 с.
4. *Houze R.A.* Cloud Dynamics, 2nd Edition // *International Geophysics Series, Volume 104*. New York–London: Academic Press, 2014. 496 pp.
5. *Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б.* Использование спутниковых данных ДЗЗ для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИЭМ*. Т 105. 2008. С.6-16.
6. *Maddox R.A.* 1980. Mesoscale convective complexes // *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 61. P. 1374–1387.
7. *Velasco, I. and J. M. Fritch:* Mesoscale convective complexes in the Americas // *J. Geoph. Res.* V. 93, № D8, 1987. P. 9561–9613.
8. *LAADS Web.* Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. Data [Электронный ресурс]. Электрон. дан. URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> (дата обращения: 14.03.2016).
9. *Qu J.J., Gao W., Kafatos M., Murphy R.E., Salomonson V.V.* Earth Science Satellite Remote Sensing. Vol. 1: Science and Instruments. Beijing: Tsinghua University Press and Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg, 2006. 418 p.
10. *EOSDIS Worldview.* [Электронный ресурс]. Электрон. дан. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 14.03.2016).