

В.Д. Тудрий, А.А. Фещенко, Т.Я. Белоусова, А.Н. Блинов, В.С. Яцък

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОСТИ В РАЗНЫХ МЕЗОСТРУКТУРНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

Представлены результаты расчетов морфометрических параметров облачности, полученные по данным фотометрирования снимков со спутников системы «Метеор» с помощью однопорогового критерия опознавания. Обсуждены статистические характеристики этих параметров облачности.

Характеристики, описывающие пространственную структуру элементов облачности, являются наиболее важным в климатической модели облачности. Их значение необходимо при моделировании процессов переноса излучения, при исследовании природных ресурсов Земли.

В данной работе по снимкам облачности со спутников системы «Метеор» в видимом диапазоне электромагнитного спектра были рассчитаны морфометрические параметры облачности разных типов мезоструктуры в различные сезоны. Реализации условной яркости облачных полей были получены с помощью фоторегистрирующего комплекса, состоящего из фоторегистрирующего считывающего устройства типа С-4500 и ЭВМ типа СМ-4. Изображение выбранного фрагмента построочно считывалось и записывалось на магнитную ленту СМ-4 в формате ЭВМ ЕС 1033 с размером раstra 50 мкм с числом элементов 512×400. Это позволило с учетом масштаба снимка получить реализации условной яркости длиной 512 чисел в строке с интервалом дискретности 0,6 км. Расстояние между строками было также 0,6 км. Однако расчет статистических характеристик проводился по разрезам через 12 км (через 20 строк). Контроль качества считывания и записи осуществлялся на дисплее и по фотодокументу.

Для идентификации облачности по полученным реализациям применялись несколько критериев опознавания — однопороговый, двухпороговый и экспериментальный.

Однопороговый и двухпороговый критерии основаны на автоматическом анализе гистограммы яркости изображения вдоль разреза (строки). При однопороговом критерии для облачности с просветами за пороговое значение принималось значение яркости, соответствующее первому минимуму за первой модой на гистограмме яркости. Так как выбирались фрагменты с темной подстилающей поверхностью (суши или океана), то первый максимум на гистограмме яркостей соответствовал значениям яркости подстилающей поверхности, остальные — значениям яркости облачности.

Двухпороговый критерий дает более тонкое разделение облачности. В этом случае первый порог (как и в предыдущем варианте) определяется автоматически по первому минимуму за первым максимумом на гистограмме и отделяет «черный» просвет от «серого» и «белого» облака. Второй порог выбирается автоматически по последнему минимуму перед последним максимумом на гистограмме и отделяет «серое» облако от «белого».

Эмпирический порог выбирался в сложных случаях. При этом на исходном снимке и на экране дисплея ЭВМ СМ-4 определялся самый серый участок подстилающей поверхности или самая темная «серая» облачность во фрагменте. Проводился маркер и выводились значения яркости участка объемом 10×10 значений, по этим значениям определялось среднее значение яркости, которое принималось за пороговое значение. Однако в этом случае отмечается малая оперативность.

В данной статье широко применялся однопороговый критерий. С целью уточнения порогового значения проводилась коррекция порога с помощью наибольшего коэффициента корреляции исходной и восстановленной строк изображения. В большинстве случаев при оптимально выбранном пороге коэффициент корреляции был ~ 0,80, вероятность доверия не менее 95%. При этом восстановленная строка формировалась следующим образом. Из исходной строки вычленились значения яркости со значениями, большими порогового, в этом случае считалось, что сканирование проходит по облачному участку, а каждой точке такого участка присваивалось значение яркости, равное 200. Значения яркости менее порогового соответствовали темной подстилающей поверхности и каждой точке такого участка присваивалось значение яркости, равное 20. Таким образом, с учетом распределения облачных и безоблачных участков формировалась восстановленная строка. Корреляция исходной (считываемой с изображения) и восстановленной строк и позволяет судить о качестве порога. При разрезах облачного поля под углами 45, 90, 135° к линии широтного разреза представляется возможным исследовать анизотропию облачности, а также наряду с вышеперечисленными характеристиками такие морфометрические параметры, как средняя длина и ширина гряд, расстояние между грядами, средний диаметр облачной ячейки. На ЭВМ ЕС-1033 рассчитывались статистические характеристики параметров облачности — моменты, плотность распределения, пространственная корреляционная функция и пространственный спектр флуктуации яркости.

Таблица

Характеристики некоторых морфометрических параметров облачности в разных мезоструктурных образованиях

Тип мезоструктуры	Район, сезон	Число облаков	Концентрация облаков, $N = 1000$ км	Количество облаков (числитель), просветов (знаменатель), балл	Размеры (км) облачных (числитель) и безоблачных (знаменатель) участков				Модальные размеры облачных (числитель) и безоблачных (знаменатель) участков, км	Вероятность, %
					min	max	среднее	средне-квадратическое отклонение		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Правильные закрытые ячейки слоистокучевообразных	Тихий океан, субтропики, ю. п. (лето)	375	61,0	$\frac{7,0}{3,0}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{157,8}{43,2}$	$\frac{11,5}{4,9}$	$\frac{18,3}{7,0}$	$\frac{0,6-16,0}{0,6-5,0}$	$\frac{76}{69}$
				$\frac{2,2}{7,8}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{30,0}{148,8}$	$\frac{5,0}{19,7}$	$\frac{5,1}{20,4}$	$\frac{0,6-3,5}{0,6-15,0}$	$\frac{48}{61}$
Открытые ячейки, цепочки, зерна кучевообразных	Тихий океан, субтропики (лето)	271	44,1	$\frac{0,5}{9,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{16,2}{240,6}$	$\frac{2,6}{46,6}$	$\frac{2,1}{56,2}$	$\frac{0,6-2,0}{0,6-25,0}$	$\frac{56}{54}$
				$\frac{17,6}{20,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{213,6}{88,2}$	$\frac{35,5}{17,1}$	$\frac{41,4}{19,8}$	—	—
Цепочки, зерна кучевообразных, отдельные очаги кучево-дождевых	Индийский океан, тропики (зима)	108	$\frac{17,6}{20,5}$	$\frac{6,8}{3,2}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{213,6}{88,2}$	$\frac{35,5}{17,1}$	$\frac{41,4}{19,8}$	—	—
Гряды мощной кучевой и кучевообразной облачности, скопления кучевообразных, отдельные зерна	Тихий океан, субтропики (лето)	117	$\frac{19,0}{18,9}$	$\frac{2,5}{7,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{104,4}{205,2}$	$\frac{16,0}{40,0}$	$\frac{20,4}{52,5}$	$\frac{0,6-11,0}{0,6-21,0}$	$\frac{62}{55}$
			$\frac{15,6}{18,7}$	$\frac{2,5}{7,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{104,4}{205,2}$	$\frac{16,0}{40,0}$	$\frac{20,4}{52,5}$	$\frac{0,6-11,0}{0,6-21,0}$	$\frac{62}{55}$
Неорганизованные скопления кучевообразной облачности, отдельные очаги в полосе облачности внутритропической зоны конвергенции	Индийский океан, тропики (весна)	96	$\frac{15,6}{18,7}$	$\frac{2,5}{7,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{104,4}{205,2}$	$\frac{16,0}{40,0}$	$\frac{20,4}{52,5}$	$\frac{0,6-11,0}{0,6-21,0}$	$\frac{62}{55}$

Изучению пространственной структуры облачности микро- и мезомасштабов посвящены различные исследования, осуществленные с помощью как авиационных, так и спутниковых методов [1–6]. Оба метода дополняют друг друга, но увеличение разрешения спутниковой аппаратуры до десятков метров и менее позволяет в большинстве случаев обходиться только спутниковыми данными. Спутниковый метод имеет большое преимущество при глобальных исследованиях облачности, особенно в труднодоступных районах. Анализ результатов расчетов, полученных в данной работе с помощью однопорогового критерия, показывает, что средние размеры и среднеквадратическое отклонение размеров облачных и безоблачных участков, концентрация облачности сильно изменяются от типа мезоструктуры. Следует отметить, что под размером облачного и безоблачного участка понимается длина сечения облака (просвета) по трассе зондирования, т. е. это может быть хорда, диаметр, большая или малая оси эллипсовидных проекций облаков. Таким образом, можно говорить только об «условном» диаметре облака. Согласно [3] средняя хорда составляет $\sim 20\%$ от среднего диаметра облака. Получено, что наибольшие средние размеры облачных участков имеют кучево-дождевые облака в больших скоплениях облачности $d = 20$ км, а также в широких грядах $d = 26$ км. Просветы (безоблачные участки) в такой облачности также велики, средние размеры их составляли 17–40 км. Чаще всего их размеры несколько больше размеров облачных участков.

В полях закрытых ячеек слоисто-кучевообразной облачности средние размеры облачных участков имели меньшие величины — 5–12 км, иногда до 19 км. Размеры просветов здесь почти в 2 раза меньше размеров просветов в полях мощной кучевообразной облачности.

В мезоструктурных образованиях облачности в виде узких цепочек, открытых ячеек, зерен, куполов кучевообразных средние размеры облаков значительно меньше, чем в предыдущих типах мезоструктур. Так, в одной из полей цепочек кучевообразных облаков средний условный диаметр составлял 4 км, а средний размер просветов 31 км. В 82% случаев наиболее часто облака имели размеры 0,6–5 км, просветы в 58% случаев составляли 0,6–18 км. Причем облака размером 0,6–5 км закрывали всего 4% трассы (разреза).

Концентрация облаков в мезоструктурных образованиях типа цепочек, зерен, куполов, узких гряд кучевообразных возрастает с увеличением балла облачности. В облачности с преобладанием закрытых ячеек очагов кучевообразных концентрация облаков медленно растет при увеличении количества облаков до 5–6 баллов. После этого с увеличением количества облаков она убывает. В таблице представлены в качестве примера характеристики некоторых полей облачности.

Средние размеры облачных участков по 20 разрезам облачных полей разных типов мезоструктуры в зависимости от количества облаков показаны на рис. 1.

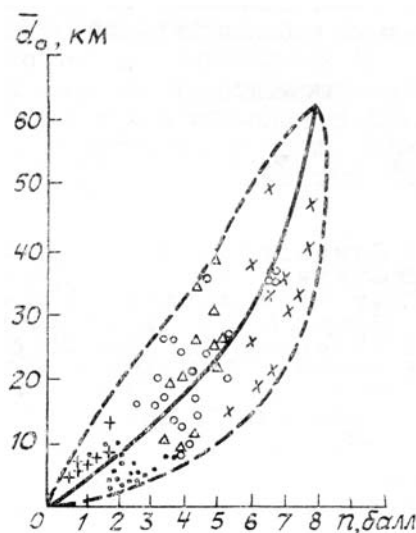


Рис. 1. Взаимосвязь количества облаков и среднего размера облачных участков: + — облачный массив № 4; · — облачный массив № 5; × — облачный массив № 6; Δ — облачный массив № 20; ○ — облачный массив № 21. Штриховая линия — условная граница зоны существования связей $d_0(n)$ в представленных экспериментах

Размеры облачных элементов после 5–6 баллов резко возрастают с увеличением количества облачности, то есть увеличение диаметров крупных облаков вносит основной вклад в закрытость неосвода. При мелкой же облачности в увеличении закрытости большую роль играет концентрация облаков. Этот вывод подтверждается в работе [3].

С учетом взаимосвязи размеров облачности и просветов можно выделить 3 класса облачности с разной мезоструктурой. Один класс составляет облачность типа мелких гряд, цепочек, зерен, куполов, открытых ячеек. Здесь сравнительно небольшие облачные участки разделены большими просве-

тами. Диапазон изменения размеров просветов в этом классе много больше диапазона изменения размеров облачности. Во втором классе, состоящем из крупных широких гряд, скоплений кучево-дождевой облачности, размеры облачных участков немного меньше просветов. В третьем классе, состоящем из закрытых ячеек слоистокучевообразной облачности и фрагментов макрополос облачности, размеры облачных участков намного превышают размеры просветов. В этом случае прослеживается прямая линейная зависимость размера просвета от размера облачности.

Распределение размеров облачности и просветов в разных типах мезоструктурных образований близко к i -образному распределению (соответствует гамма-распределению при коэффициенте вариации, большем единицы). То есть на разрезах облачного поля чаще встречаются небольшие облака и небольшие просветы, рис. 2, 3.

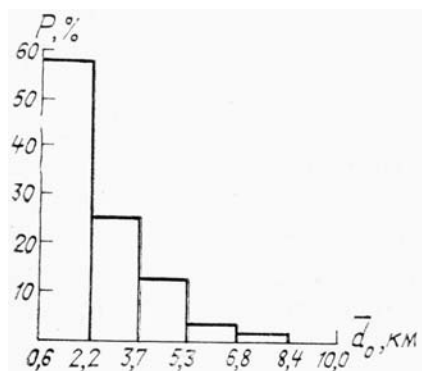


Рис. 2. Распределение средних размеров облачных участков

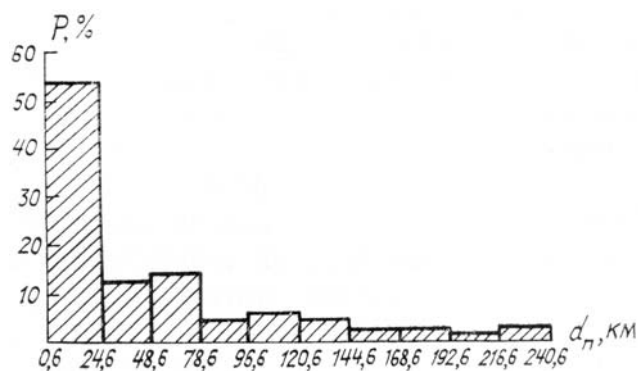


Рис. 3. Распределение средних размеров безоблачных участков

В заключение следует отметить, что результаты, полученные при автоматической обработке спутниковых снимков облачности, согласуются с данными, полученными другими методами, и являются полезными при исследовании облачности различных мезоструктурных образований.

1. Спиридонова Ю. В. //Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1976. Вып. 2. С. 63–78.
2. Спиридонова Ю. В. //Труды ВНИИГМИ-СЦД. 1978. Вып. 38. С. 36–42.
3. Кучевые облака и связанная с ними деформация полей метеоэлементов/ Под ред. А.Х. Хргиана //Труды ЦАО, 1977. Вып. 134.
4. Истомина Л. Г. //Изв. АН СССР. ФАО. 1973. Т. 9. № 7. С. 708–718.
5. Баранов А. М. Облака и безопасность полетов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 231 с.
6. Marotz G. A., Henry I. A. //J. Appl. Meteorol. 1978. V. 17. № 11. P. 1725–1736.

Поступила в редакцию
1 июня 1988 г.

V. D. Tudrii, A. A. Feshchenko, T. Ya. Belousova, A. N. Blinov, V. S. Yatsyk.
Statistical Characteristics of Morphometric Cloudiness Parameters in Different Mesostructural Formations.

Calculation results of morphometric cloudiness parameters, obtained by «Meteor» – satellite photograph photometry using a single-threshold recognition criterion, are presented. Statistical characteristics of the cloudiness parameters are discussed.