

В.Д. Тудрий, А.А. Фещенко

О МЕТОДИКЕ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОСТИ

Представлена методика обработки снимков облачности с помощью автоматически выбираемых и корректируемых пороговых критериев. Показано, что применение однопорогового критерия дает удовлетворительное распознавание и восстановление облачности над океаном.

Классификация облачности является одной из трудных задач в спутниковой климатологии [1, 2]. Существуют различные методики и алгоритмы распознавания облачности [1].

Наиболее широко распространены методики биспектрального анализа и кластеризации, основанные на пороговых или статистических критериях. В целом существующий опыт обработки изображений облачности указывает на предпочтительность пороговых методик для целей спутниковой климатологии. Алгоритмы, построенные по этим методикам, в вычислительном отношении выгоднее, но существует проблема выбора хороших порогов. Основная трудность состоит в том, что отмечается большая вариация отраженной и ИК-радиации разных типов ландшафтов в разных погодных условиях. Это сильно сказывается на выборе порога. Обзор публикаций по нахождению различных критериев распознавания облачности приведен в [1]. Следует отметить, что наряду с оптимальным выбором критерия возможность распознавания облачности и определения ее характеристик зависит также от пространственной разрешающей способности аппаратуры, геометрии обзора, порога чувствительности датчиков. Причем разрешающая способность аппаратуры наиболее важна, т. к. при малом разрешении невозможно различить небольшие облака и просветы.

В качестве первичного исходного материала нами были выбраны фотоснимки облачности со спутников системы «Метеор» в видимом диапазоне. Разрешение снимков аппаратуры МСУ-033 и МСУ-050 составляет 1 и 0,25 км соответственно. На снимках выбирались в основном океанские районы с темной подстилающей поверхностью. Основные этапы работы представляются следующими.

1. По данным о повторяемости синоптических объектов определяется преобладающий тип синоптического объекта в данном регионе и в данном сезоне.
2. Для преобладающего синоптического объекта определяется наиболее типичный обобщенный портрет облачности с учетом стадии развития синоптического объекта.
3. Для типичных облачных портретов выделяются характерные фрагменты с определенным типом мезоструктуры облачности.
4. Для выбранных фрагментов обобщенного облачного поля синоптического объекта определяются пороги и рассчитываются статистические характеристики морфометрических параметров облачности.
5. Обобщаются статистические характеристики фрагментов облачности преобладающего синоптического объекта.
6. Из обобщенных статистических характеристик этих фрагментов строится статистическая модель морфометрических параметров облачного поля синоптического объекта.

К морфометрическим характеристикам, дающим достаточное описание облачного поля, относятся: размеры облаков, размеры просветов между облаками, грядами, длина и ширина гряд, полос, диаметр облачной ячейки, ширина кольца ячейки, радиус кривизны полос, размеры мезовихря, высота облаков, абсолютный балл облачности (просветов) или плотность облачности, концентрация облаков и просветов на отрезке трассы, число облаков и просветов и т. д. Эти характеристики дают количественные признаки морфологии облачности и связаны с конкретными термодинамическими условиями в данном синоптическом объекте. Так, высота полос облачности холодного фронта тесно связана со скоростью ветра на изобарической поверхности 500 мбар, а длина полосы облачности связана с удельной влажностью [1].

Нами применялось несколько методов получения данных о морфометрических характеристиках облачности. На начальном этапе работ размеры элементов облачности, число облаков и просветов считывались операторами вручную по разным схемам. Далее применялось автоматическое считывание и оцифровка изображения с помощью фоторегистрирующего комплекса, состоящего из фоторегистрирующего считывающего устройства типа С-4500 и ЭВМ типа СМ-4. Изображение выбранного фрагмента построено считывалось и записывалось на магнитную ленту ЭВМ СМ-4 в формате ЭВМ ЕС-1033 с шагом раstra 50 мкм, формат фрагмента 512×400. Контроль качества записи осуществлялся на дисплее и по фотодокументу. Дальнейшая обработка проводилась на ЭВМ ЕС-1033. Часть информации была получена при записи изображения со спутника на магнитофон с высокой плотностью записи и перезаписи на магнитные ленты в формате ЭВМ ЕС-1033. Безусловно, что огромное коли-

чество данных, необходимое для статистической обработки, может быть получено только с помощью автоматических средств обработки.

При выборе порогового значения, определяющего облачные и необлачные участки изображения, мы применяли несколько методик, с помощью которых определялись критерии распознавания облачности — однопороговый, двухпороговый и экспериментальный.

Однопороговый и двухпороговый критерии основаны на автоматическом анализе гистограммы яркости изображения вдоль разреза. При однопороговом критерии для облачности с просветами за пороговое значение принималось значение яркости, соответствующее первому минимуму за первой модой на гистограмме яркостей. Так как в основном выбирались темные подстилающие поверхности, большей частью океанские, то первый максимум на гистограмме соответствует значениям яркости подстилающей поверхности, а другие максимумы «серой» или яркой «белой» облачности. За яркость облачных участков («серых» и ярких «белых» облаков) принималась яркость, значения которой больше порогового.

С целью уточнения порогового значения проводилась коррекция порога с помощью наибольшего коэффициента корреляции исходной и восстановленной (с учетом порога) строк изображения. В большинстве случаев при оптимально выбранном пороге коэффициент корреляции был более 0,80 (доверительная вероятность не менее 95%).

В сложных ситуациях яркость подстилающей земной поверхности чередуется («черная» и «серая») или наряду с просветами наблюдается просвечивающая перистообразная облачность над более низкими облаками (например, перистые над закрытыми ячейками слоисто-кучевообразных). В этих случаях однопороговый (даже скорректированный) критерий не является оптимальным и приводит к грубому распознаванию облачности: к увеличению размеров облачности и увеличению количества облаков. Более тонкое разделение облачности дает двухпороговый критерий. В этом случае первый порог определяется автоматически по первому минимуму за первым максимумом на гистограмме яркости и отделяет «черный» просвет от «серого» и «белого» облаков. Второй порог выбирается по последнему минимуму перед последним максимумом на гистограмме и разделяет «серое» от «белого». При этом формируются 3 реализации:

а) реализация, состоящая из яркостей просветов:

$$B_{\text{черн}} < B_{1\text{пор}}; B_{\text{черн}} = 0, \text{ если } B_i > B_{1\text{пор}};$$

б) реализация яркостей «белой» яркой облачности:

$$B_{\text{бел}} > B_{2\text{пор}}; B_{\text{бел}} = 0, \text{ если } B_i < B_{2\text{пор}};$$

в) реализация яркостей «серой» облачности:

$$B_{1\text{пор}} < B_i < B_{2\text{пор}}; B_{\text{сер}} = 0, \text{ если } B_i < B_{1\text{пор}}, B_i > B_{2\text{пор}}.$$

Далее рассчитываются все статистические характеристики яркости для каждой из этих реализаций, определяются морфометрические параметры (число просветов, облаков, средний размер просветов, облаков, концентрации облаков и т. д.).

Другой метод, применяемый нами, заключается в эмпирическом определении порога. В этом случае на исходном снимке и на экране дисплея ЭВМ СМ-4 выбирался самый серый участок подстилающей поверхности или самая темная «серая» облачность во фрагменте. К фрагменту подводился маркер и выбирались значения яркости участка (размерами 10×10 значений), по ним определялось среднее значение яркости, которое принималось за пороговое значение. Этот метод применялся в основном для уточнения результатов в сложных случаях.

Восстановленное изображение во всех случаях регистрировалась на фотопленку и сравнивалось с исходным.

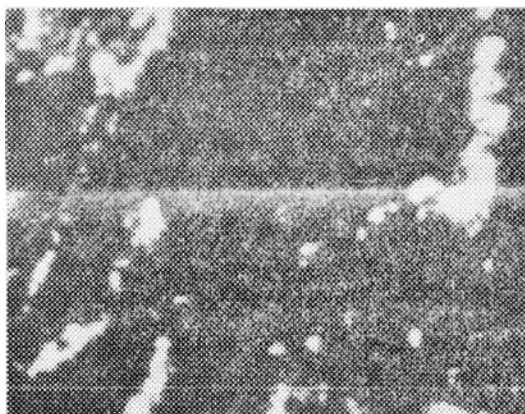


Рис. 1. Исходное поле облачности

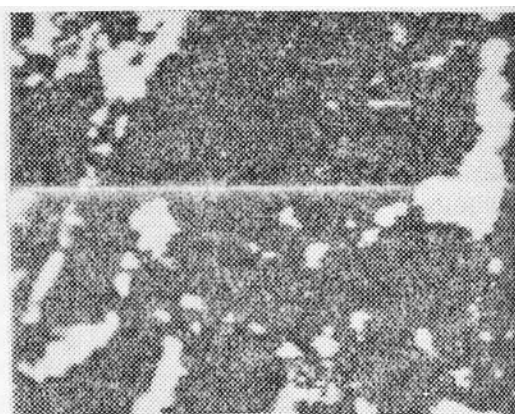


Рис. 2. Восстановленное поле облачности

На рис. 1, 2 приведены исходные и восстановленные фрагменты облачности. Видно, что применение однопорогового критерия в случае кучевообразной облачности над океаном дает хорошие результаты. Коэффициенты корреляции исходных и восстановленных строк изменялись от 0,88 до 0,97 (доверительная вероятность не менее 95%). Неудовлетворительные результаты получены при применении этого критерия для случая закрытых слоисто-кучевообразных ячеек с перистой облачностью над ними. Таким образом, применяемая методика позволяет достаточно надежно выделять облачные образования и получать их морфометрические характеристики.

1. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 512 с.
2. Кондратьев К.Я. Спутниковая климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 263 с.

Поступила в редакцию
27 января 1989 г.

V. D. Tudrii, A. A. Feshchenko. Procedure of Processing Satellite Photographs for Estimation of Morphometric Cloudiness Parameters.

The procedure of processing cloudiness photographs using automatically selected and corrected threshold criteria is presented. The use of a single-threshold criterion is shown to provide satisfactory recognition and reconstruction of cloudiness over an ocean.