

Н.Е. Воинов, А.Д. Кузнецов, Т.Е. Симакина, О.С. Сероухова

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

N.E. Voinov, A.D. Kuznetsov, T.E. Simakina, O.S. Serouhova

TEXTURAL ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES OF THE MESOSCALE OVERCAST

В статье приведены результаты, полученные при выполнении текстурного анализа спутниковых снимков с мезомасштабной конвективной облачностью, вычислены текстурные признаки, на основе которых проведена идентификация разных типов систем мелкой конвекции, найдена связь между значениями текстурных признаков и высотой конвективных ячеек открытого и закрытого типа, а также облачных гряд.

Ключевые слова: мезомасштабная облачность, конвективные ячейки открытого и закрытого типа, текстура, текстурные признаки, матрица смежности уровней яркости.

In this article shows the results obtained after the texture analysis of satellite images with the mesoscale convective overcast, computed texture features, based on which were identified by the different types of systems of shallow convection, found between the values of textural features and the height of the convective cells open and closed, and the cloud ridges.

Key words: mesoscale overcast, convective cells are open or closed, texture, texture features, the adjacency matrix of brightness levels.

Мезомасштабные вихри различных масштабов играют важную роль в формировании опасных явлений погоды [1]. При этом системы мелкой конвекции не отражаются на синоптических картах и редко продуцируют опасные явления, однако могут оказывать существенное влияние на ряд происходящих в атмосферном пограничном слое процессов [2, 3]. Так, учет влияния конвективных ячеек позволяет локализовать появление экстремальных концентраций примеси в приземном слое. При условиях, близких к штилевым, ячейковая конвекция может играть определяющую роль в формировании скорости и направления ветра в атмосферном пограничном слое. Анализ пространственной и временной изменчивости мелкой конвекции необходим как дополнительная, а над районами, малоосвещенными данными наблюдений, как основная информация для оценки синоптической обстановки и возможных условий погоды.

Типичными структурами воздушных течений в режиме мелкой конвекции являются открытые и закрытые конвективные ячейки, имеющие в плане квазিশестиугольную структуру, а также квазидвумерные облачные гряды [2].

Граница между конвективными ячейками открытого и закрытого типа локализует границу между холодным и теплым воздухом, изменение диаметра ячеек отражает изменение мощности конвективного слоя, а направление облачных гряд — направление ветра [2, 3].

Целью данной работы является разработка методики идентификации конвективных облачных систем мезомасштаба на снимках, полученных с метеорологических спутников, и определение некоторых метеопараметров по рисунку и размеру таких облачных мезоструктур. Для идентификации в данной работе применялся метод текстурного анализа [4–8].

Для текстурного анализа были выбраны четыре некоррелированных текстурных признака [4, 5], рассчитанные с помощью матрицы смежности уровней яркости. Каждый элемент матрицы смежности $P_{r,\alpha}(i, j)$ соответствует значению частоты, с которой каждая пара точек (одна с яркостью i и другая с яркостью j), отстоящих друг от друга на расстоянии r в направлении α , встречается на изображении. В данной работе вычислялась средняя матрица смежности по 4 направлениям при межпиксельном расстоянии $r = 1$.

Текстурные признаки рассчитывались по следующим формулам:

контраст —
$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - j)^2 p(i, j), \quad (1)$$

однородность —
$$U = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p^2(i, j), \quad (2)$$

энтропия —
$$F = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p^2(i, j) \log [p(i, j)], \quad (3)$$

обратный момент —
$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{p_{i,j}}{1 + (i - j)^2}, \quad (4)$$

где N — количество уровней яркости в изображении.

На рис. 1 представлены примеры фрагментов спутниковых изображений систем мелкой конвекции. Для этих же фрагментов мезоструктур на рис. 2 в графической форме приведены матрицы смежности. Каждая матрица смежности представлена полем 256×256 элементов, каждый из которых имеет значение $p_{i,j}$. Белым цветом обозначены нулевые значения матрицы, потемнение ячейки соответствует увеличению значения матрицы.

Самой компактной оказалась матрица смежности закрытых ячеек, значения матрицы группируются вдоль главной диагонали, т.е. при $i = j$. Элементы матрицы смежности облачных гряд распределены в пределах матрицы относительно равномерно.

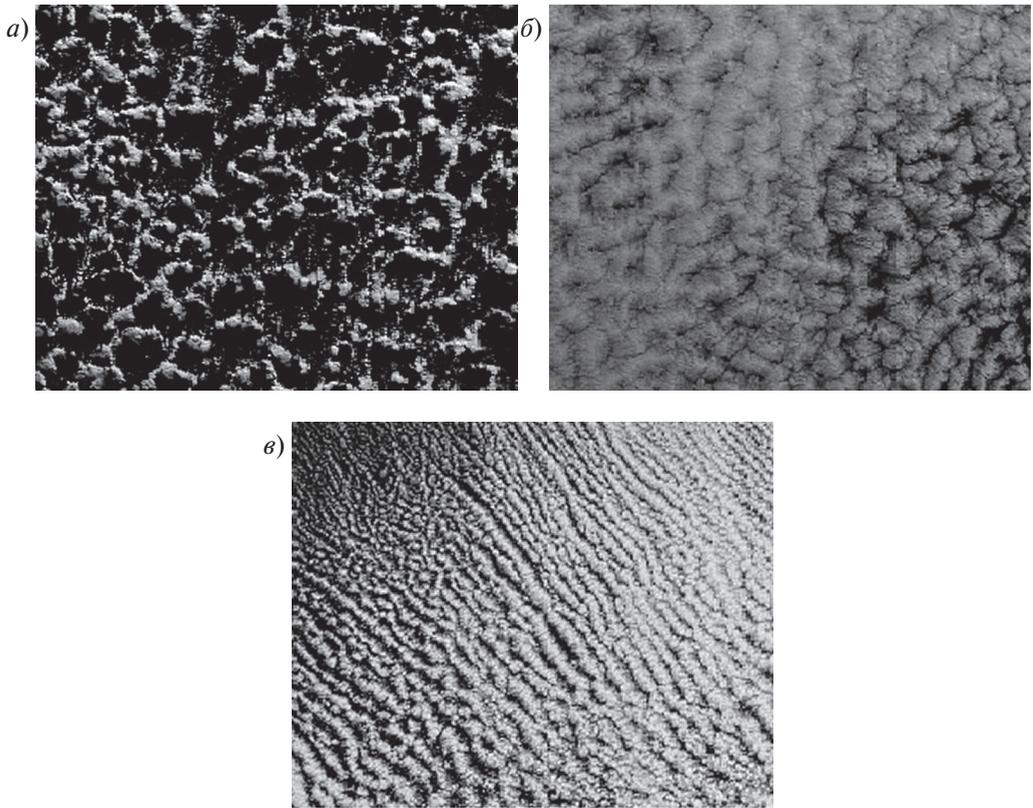


Рис. 1. Исходные фрагменты спутникового снимка: *а* — открытые ячейки; *б* — закрытые ячейки; *в* — облачные ряды.

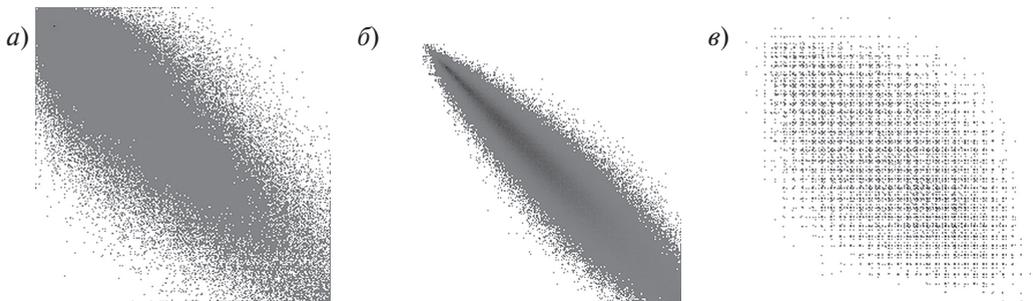


Рис. 2. Матрицы смежности для *а*) открытых ячеек; *б*) закрытых ячеек; *в*) облачных ряд.

Текстурные признаки для каждого типа мезоконвективной системы вычислялись по формулам (1)–(4). На рис. 3 представлены гистограммы всех вычисленных текстурных признаков для каждой мезоструктуры. Анализ значений текстурных признаков показал, что контраст принимает наименьшие значения для класса облачные гряды, а наибольшие — у закрытых ячеек. Видимо, это связано с тем, что признак контраст определяется величиной локальных вариаций яркости изображения. С увеличением числа локальных вариаций контраст возрастает, т.е. для более пестрых текстур значения получаются больше, чем для менее пестрых. Самым компактным по признаку контраст оказался класс открытых ячеек. Для этого класса контраст принимает некоторые промежуточные значения между классами облачных гряд и закрытых ячеек. Класс закрытых ячеек обладает наибольшей изменчивостью. Все три класса хорошо отделены друг от друга.

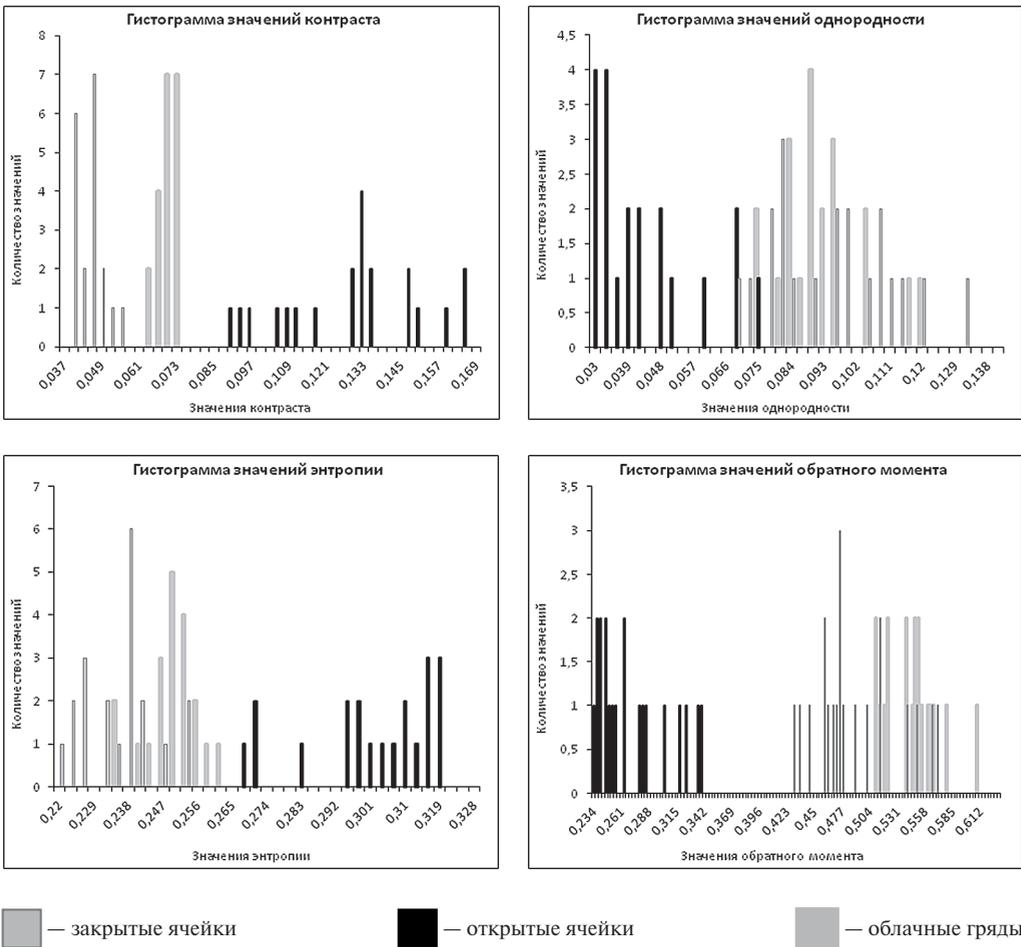


Рис. 3. Гистограммы текстурных признаков: контраст, энтропия, однородность и обратный момент.

Признак однородность имеет близкие значения для классов открытых ячеек и облачных гряд.

Признак энтропия, выражающий неравномерность распределения яркостных свойств элементов изображения, имеет близкие значения для классов открытых ячеек и облачных гряд. Наименьшие значения энтропии оказались у класса облачные гряды, наибольшие — у закрытых ячеек.

Наименьшие значения обратного момента оказались у класса закрытые ячейки, наибольшие — у открытых ячеек. Признак обратный момент имеет близкие значения для классов открытых ячеек и облачных гряд. Признаки однородность, энтропия и обратный момент обладают довольно большой дисперсией для всех трех классов.

Таким образом, для идентификации открытых ячеек и облачных гряд наилучшим оказался текстурный признак контраст, для идентификации закрытых ячеек — признак обратный момент.

Известно, что диаметр конвективной ячейки и расстояние между облачными грядами связаны с вертикальным размером конвективного слоя [2]. По 60 фрагментам спутниковых снимков с разными типами мезоконвекции с учетом пространственного разрешения были измерены горизонтальные диаметры ячеек D и расстояния между облачными грядами L , на основе эмпирических формул $h = D/30$ для открытых ячеек, $h = D/21$ для закрытых ячеек, $h = L/6$ для облачных гряд, приводимых в работе [2], вычислены мощности слоя конвекции h для каждого типа облачности. На рис. 4 представлена связь текстурных признаков и мощности конвективного слоя ячеек закрытого типа, на рис. 5 — открытого типа, на рис. 6 — облачных гряд.

С увеличением мощности конвективного слоя ячеек закрытого типа значения контраста, однородности и обратного момента уменьшаются. Коэффициенты корреляции по модулю больше 0,7. Значения энтропии возрастают с увеличением мощности конвективного слоя, коэффициент корреляции 0,62.

С увеличением мощности конвективного слоя ячеек открытого типа значения контраста и энтропии уменьшаются, коэффициенты корреляции: $-0,53$ и $-0,62$ соответственно, а значения однородности и обратного момента увеличиваются, коэффициенты корреляции: 0,5 и 0,6.

С увеличением мощности конвективного слоя облачных гряд значения контраста и энтропии уменьшаются, коэффициенты корреляции: $-0,6$ и $-0,68$, а однородность и обратный момент возрастают, коэффициенты корреляции: 0,7 и 0,67.

Таким образом, геометрические размеры конвективных ячеек как горизонтальные, так и вертикальные, имеют сильную корреляцию со значениями текстурных признаков. Вследствие этого последние можно использовать для оценки геометрических размеров конвективных ячеек в процессе тематической обработки спутниковых изображений.

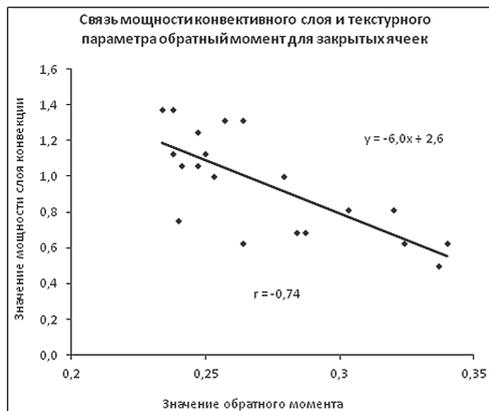
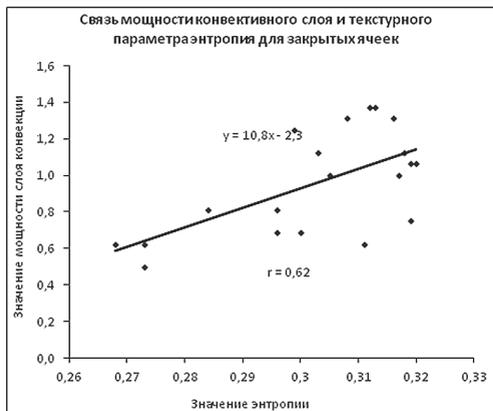
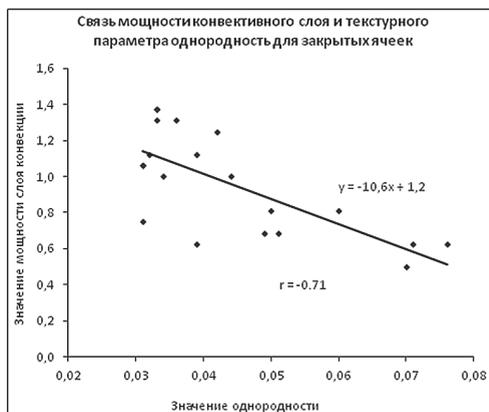
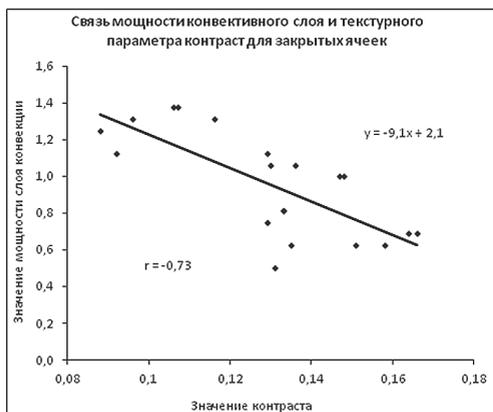
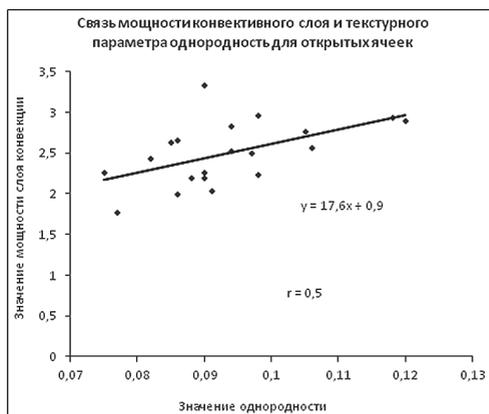
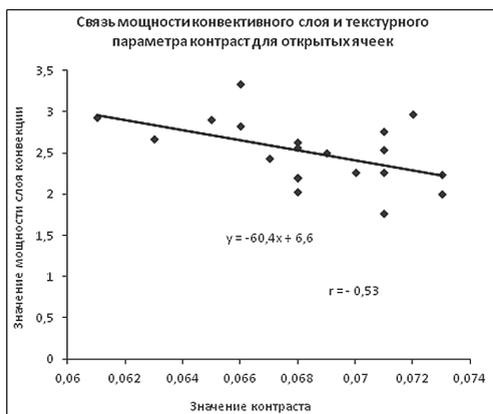


Рис. 4. Связь мощности конвективного слоя закрытых ячеек и текстурных параметров: контраст, однородность, энтропия и обратный момент.



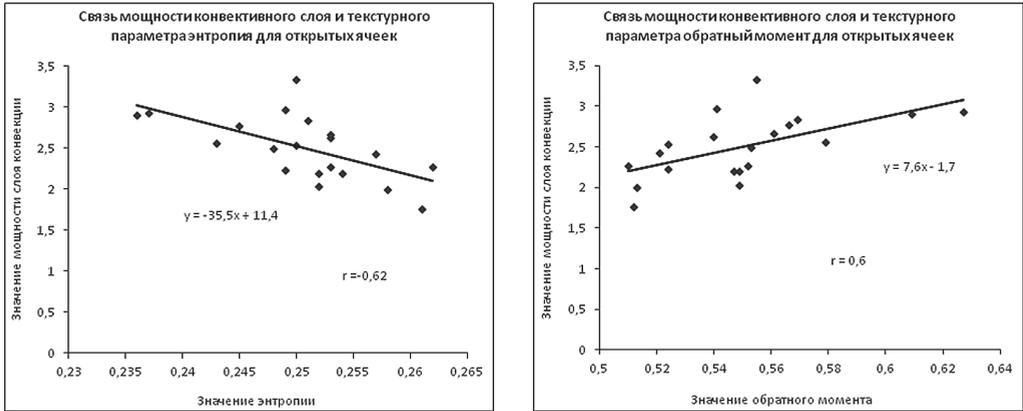


Рис. 5. Связь мощности конвективного слоя открытых ячеек и текстурных параметров: контраст, однородность, энтропия и обратный момент.

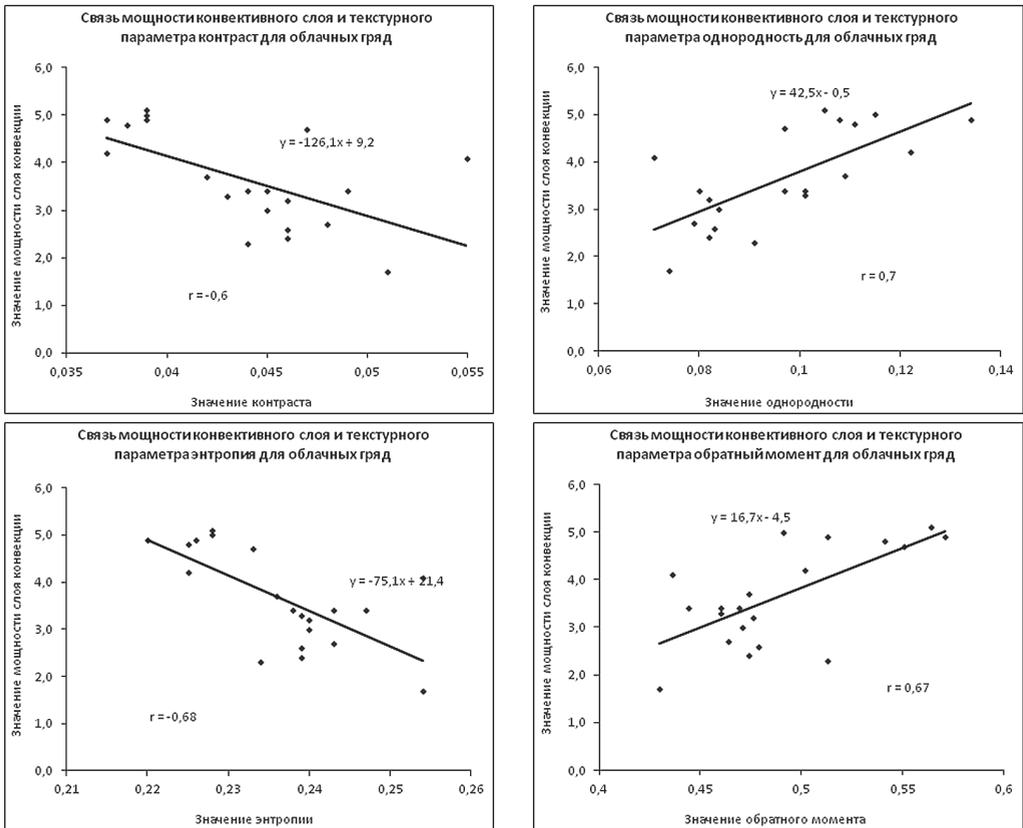


Рис. 6. Связь мощности конвективного слоя облачных гряд и текстурных параметров: контраст, однородность, энтропия и обратный момент.

Литература

1. *Заболотских Е.В., Бобылев Л.П., Дикинис А.В., Неелова Л.О., Смирнова Ю.Е.* Особенности формирования и классификация штормовых мезомасштабных вихрей. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 16, с. 59–76.
2. *Вельтицев Н.Ф.* Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование. // Сб. лекций. — Женева, 1988. — 136 с.
3. *Вельтицев Н.Ф., Степаненко В.М.* Мезометеорологические процессы. Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — 101 с.
4. *Харалик Р.М.* Статистический и структурный подходы к описанию текстур. // ТИИЭР, 1979, т. 67, № 5, с. 98–120.
5. *Кузнецов А.Д.* Текущее прогнозирование на основе цифровой обработки изображений. — СПб.: РГГМУ, 1997. — 167 с.
6. *Симакина Т.Е.* Цифровая обработка спутниковых снимков с помощью ГИС IDRISI. — СПб.: РГГМУ, 2004. — 45 с.
7. *Сероухова О.С.* Лабораторный практикум по дисциплине «Геоинформационные системы». — СПб.: РГГМУ, 2007. — 116 с.
8. *Симакина Т.Е.* Получение и обработка спутниковых снимков. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 127 с.