

Морфологические отличия радиоизображений облачного покрова и поверхности суши в миллиметровом диапазоне волн

Ю. М. Герасимов, Н. В. Руженцев

Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: ruzh@rian.kharkov.ua

Статья поступила в редакцию 24 февраля 2004 г.

С помощью предложенной методики обработки радиотепловых изображений и специально разработанного программно-алгоритмического обеспечения исследована морфология контрастирующих образований полей облачности и поверхности суши на спутниковых изображениях, полученных в 3-миллиметровом диапазоне волн. Статистические параметры выявленных систематических отличий в групповой ориентации неоднородностей изображения могут быть использованы как априорная информация для развития новых подходов к обработке и восстановлению параметров окружающей среды по данным аэрокосмического зондирования.

За допомогою запропонованої методики обробки радіотеплових зображень та спеціально розробленого програмно-алгоритмічного забезпечення досліджена морфологія контрастуючих утворень полів хмарності і поверхні суші на супутникових зображеннях, отриманих у 3-міліметровому діапазоні хвиль. Статистичні параметри виявлених систематичних відмінностей у груповій орієнтації неоднорідностей зображення можуть бути використані як априорна інформація у розвитку нових підходів до обробки і відновлення параметрів навколишнього середовища за даними аерокосмічного зондування.

Введение

Обработка радиотепловых изображений земной поверхности и облачного покрова позволяет повысить качество восстановления параметров окружающей среды, которое зависит как от искажений, вносимых регистрирующей аппаратурой, так и от негативного влияния самой окружающей среды. Применение методов обработки дает возможность понизить негативное влияние мультипликативных и аддитивных помех [1], что проявляется в повышении разрешения формы и границ контрастирующих элементов земного покрова либо полей облачности, и более точно определить радиофизические и другие параметры окружающей среды при использовании специальных методов и алгоритмов их восстановления (интерпретации).

Однако в различных диапазонах волн часто имеют место ситуации, когда эффективность применяемых методов обработки и восстановления существенно понижается. Например, при зондировании земного покрова в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне волн негативное влияние оказывают атмосферные неоднородности. При зондировании атмосферы приходится сталкиваться с искажающим влиянием фонового излучения неоднородностей земного покрова. В настоящее время одной из главных среди нерешенных задач пассивного аэрокосмического зондирования (особенно в диапазоне миллиметровых волн) является разделение вкладов излучений земной поверхности и атмосферы в их суммарное излучение. Алгоритмы восстановления водозапаса облаков и оценки интенсивности

дождей из полученных радиотепловых изображений эффективны только над океаном, где на больших площадях наблюдается достаточно стабильная яркостная температура. Существующие же идеи по восстановлению водозапаса зон мощной облачности и интенсивности дождей из радиотепловых изображений, полученных над сушей, сталкиваются с проблемой отделения зон ясного либо слабо облачного неба от остальных зон [2-5]. Поскольку указанные проблемы еще не решены с помощью разработанных методов, необходимо искать новые пути и подходы для их решения. Настоящая работа посвящена поиску и исследованию данных для новых перспективных подходов к обработке аэрокосмических изображений полей облачности и поверхности суши, которые обеспечивали бы повышение разрешения формы и границ контрастирующих элементов земного покрова и полей облачности.

Выбор алгоритма обработки радиотепловых изображений

Одной из основных характеристик радиоизображений является четкость границ между пространственно разнесенными районами, имеющими однородные распределения яркости. Возможность выделения границ между слабо контрастирующими районами ограничивается искажениями принимаемого сигнала в процессе распространения радиоволн, а также искажениями, вносимыми системой дистанционного зондирования. Основные причины таких искажений:

- конечная ширина сканируемой антенным лучом полосы земной поверхности, в которой измеряется яркостная температура;
- ограниченное время накопления информации радиометром системы дистанционного зондирования при выборке сигнала;
- шум системы дистанционного зондирования и пространственная прерывистость элементов радиоизображения;
- нестабильность метеопараметров атмосферы.

Эти и другие причины приводят к тому, что граница между контрастно-разнород-

ными районами на первичном изображении становится размытой, а границы слабо контрастирующих районов подавляются шумом полностью. В связи с этим возникает необходимость в предварительной обработке радиоизображений, состоящей в выделении границ слабо контрастирующих образований и повышении точности количественной оценки параметров яркости для высоко контрастных образований [6, 7].

Процесс выделения областей радиоизображения, соответствующих некоторому критерию однородности (сходства), получил название – сегментация изображения [8, 9]. Для сегментации в настоящее время используются два основных преобразования радиоизображения: яркостное и контурное [1]. Согласно этой классификации выделение областей в процессе сегментации осуществляется исходя из соответствия заданному критерию либо яркости $I(x, y)$ точки изображения с координатами (x, y) , либо первой производной яркости в некоторой заданной окрестности каждой точки (градиентные методы) [1].

Для реализации сегментации многоградационных радиоизображений на основе контурного преобразования в настоящее время широко используются методы обобщенного пространственного дифференцирования (линейные и нелинейные) [1]. К линейным методам выделения перепадов яркости относится двумерное дифференцирование изображения, осуществляемое путем свертки матрицы T с размерами $n \times m$ радиояркостных температур этого изображения с квадратной матрицей с размерами 3×3 и более маски оператора Лапласа или путем свертки матрицы T с прямоугольными матрицами курсовых градиентных масок, один из размеров которых равен единице [1, 9]. При этом метод оператора Лапласа позволяет выделять перепады яркости независимо от их ориентации, а метод градиентных масок – перепады яркости определенной ориентации.

Однако методы обобщенного пространственного дифференцирования, как линейные, так и нелинейные, весьма чувствительны к высокочастотному пространственному шуму и дают удовлетворительные результа-

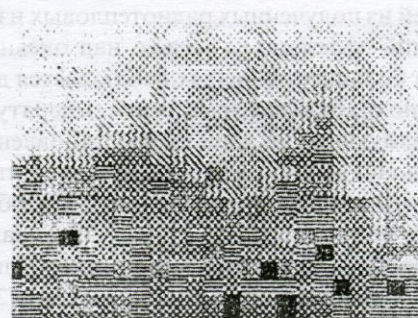
ты лишь при обработке радиоизображений с малым содержанием высоких пространственных частот. В то же время анализ реальных радиоизображений указывает на значительное содержание в них высоких пространственных частот, что визуально проявляется в мелкоструктурной нерегулярности изображений. Это обстоятельство вызывает необходимость предварительной фильтрации изображений невзирая на то, что эта процедура может приводить к дополнительному размыванию и искажению границ за счет сглаживания приграничных участков.

Нами были рассмотрены различные методы линейной и нелинейной обработки цифровых изображений с целью выбора оптимального. При этом критериями являлись пригодность метода к выделению границ в условиях зашумленности радиоизображений и относительная простота, которая обеспечивала бы обработку в масштабе времени, близком к реальному. Стоит отметить, что таким критериям могла бы удовлетворять комбинация методов фильтрации и градиентных методов выделения границ [1, 8]. При этом надо иметь в виду, что эффективность градиентных методов существенно падает с уменьшением соотношения сигнал/шум [8] (в нашем случае сигнал – это величина контраста между двумя граничащими образованиями).

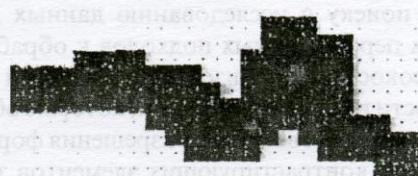
Для поиска эффективного алгоритма обработки были использованы модели радиоизображения границы двух пространственно распределенных образований при различных соотношениях сигнал/шум (рис. 1, а). В результате апробации различных комбинаций методов обработки нами был выбран в качестве базового алгоритм, включающий в себя:

1) медианную фильтрацию, осуществляемую скользящим квадратным окном с нечетным числом элементов изображения по каждой координате, центральный элемент которого заменяется медианой всех элементов изображения в окне [10];

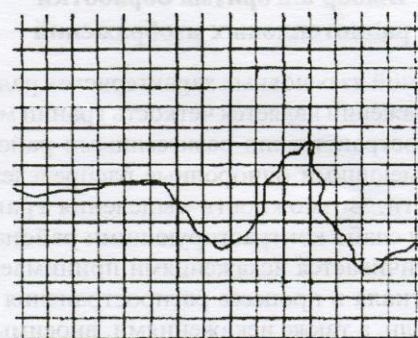
2) градиентный метод взвешенных конечных разностей с адаптивным определением порога по фрагменту изображения [6];



а)



б)



в)

Рис. 1. Первичное зашумленное радиотепловое изображение модели границы раздела двух распределенных объектов (а) и вторичные изображения после третьего (б) и четвертого (в) шагов предложенного алгоритма обработки

3) фильтрацию единичных вкраплений на бинарном изображении;

4) утончение полученных границ пространственных образований и устранение разрывов в границах [9].

На рис. 1, б, в показан пример обработки зашумленного тестового изображения (см. рис. 1, а) с помощью такого алгоритма. Величина контраста между средними яркостными температурами двух граничащих образований составляла 12 К, а среднеквадратическое отклонение аддитивного шума равнялось 4 К. Изображение, подобное тестовому, получают с современного спутника, наблюдающего границу “хвойный лес – луг” с помощью радиометра 3-миллиметрового диапазона, который обеспечивает следующие показатели: угловое разрешение антенны – 1° , флуктуационную чувствительность – 0.1 К в секторе сканирования – 90° и скорость сканирования – 7 сканов/с.

Несмотря на удовлетворительный результат, полученный с помощью такого алгоритма, наши исследования показали, что дальнейшее понижение соотношения сигнал/шум, например вдвое, приводило к заметному ухудшению результата обработки, проявляющемуся в искажении и разрывах граничной линии [11]. Это обстоятельство требует дальнейшего усложнения алгоритма с целью устранения ложных перепадов и объединения оставшихся в контурные линии. Указанные дополнительные процедуры сложны в вычислительном отношении [1], что затрудняет их применение для обработки радиоизображений из-за повышения затрат машинного времени.

В связи с этим при обработке спутниковых радиоизображений (о которых речь пойдет ниже) мы использовали метод сегментации на основе яркостного преобразования, свободный от вышеперечисленных недостатков. При этом на первом шаге производится фильтрация высоких пространственных частот исходного многоградационного радиоизображения путем свертки матрицы T с размерами $n \times m$ радиоярких температур этого изображения с квадратным сглаживающим окном с размерами $(2k+1) \times (2k+1)$ при $k \ll n, m$, что существенно снижает чувствительность процесса сегментации к высокочастотному пространственному шуму. Следует заметить, что значение k выбиралось исходя из ве-

личины дисперсии аддитивного шума изображения T .

Второй, основной, шаг алгоритма обеспечивает бинарное квантование исходного радиоизображения T относительно адаптивного порога R и построение бинарного изображения. Порог R формируется из отфильтрованного на первом шаге изображения, а формирование бинарной матрицы B выполняется в соответствии с условием:

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } T_{ij} \geq R_{ij}, \\ 0 & \text{при } T_{ij} < R_{ij}, \end{cases}$$

где i, j – координаты элемента матрицы изображения. Элемент B_{ij} бинарной матрицы B задает аппликату точки с координатами (i, j) бинарного изображения.

Третий, вспомогательный, шаг алгоритма обеспечивает фильтрацию единичных вкраплений в полученном на предыдущем шаге бинарном изображении, поскольку для них теряют смысл такие морфологические параметры, как угол ориентации, эллиптичность и др.

При обработке изображений с малым уровнем шума наибольшая точность формирования границ пространственных образований бинарной матрицы B достигалась при малых размерах окна k или в отсутствие фильтрации пространственных частот на первом шаге обработки. Это объясняется искажением и смещением границ пространственных образований на изображении после применения того или иного фильтра. При наличии в изображениях шумов, имеющих высокий уровень, наилучшие результаты в смысле минимума среднеквадратического отклонения полученных границ пространственных образований от истинного их положения достигаются с помощью линейного сглаживающего фильтра, обеспечивающего оптимальную оценку арифметического среднего в случае нормального распределения элементов выборки. Медианные и ранговые фильтры при визуальном сравнении в большинстве случаев также дают близкие результаты.

Результаты обработки данных дистанционного зондирования

Разработанные и рассмотренные нами выше, а также другие алгоритмы обработки и методы восстановления параметров образований в миллиметровом диапазоне длин волн во многих реальных ситуациях не позволяют качественно восстановить параметры наблюдаемых атмосферных и земных контрастирующих неоднородностей [12, 13]. В работе [14] приведены результаты наблюдения сельскохозяйственного региона сквозь поле слабой облачности с помощью высокочувствительной самолетной аппаратуры 3-миллиметрового диапазона [15, 16]. Они наглядно продемонстрировали искажающее действие облачности при измерении радиояркой температуры наземных объектов и соответственно негативное влияние неоднородностей суши, затрудняющее оценку радиояркости облачных образований. Эта проблема не может быть решена традиционными методами.

В то же время в результате годичного цикла непрерывных наблюдений прохождения фронтальных зон облачности над измерительным пунктом в Харькове (49° с. ш., 37° в. д.) [17, 18] была отмечена периодичность (с периодом от единиц до сотен километров) в характере пространственных неоднородностей коэффициента вертикального атмосферного поглощения τ в 3- и 8-миллиметровом диапазоне волн. Такой периодичный характер атмосферных неоднородностей (которые имеют форму эллипса вытянутого вдоль одной из осей и некое предпочтительное направление групповой ориентации) подтверждается также серией наших визуальных наблюдений, данными контактных метеорологических наблюдений [19] и некоторыми теоретическими метеомоделями, описывающими структуру фронтальных зон облачности [20]. На рис. 2 показан полученный нами экспериментально в диапазоне 94 ГГц типичный пример прохождения фронтальной зоны облачности с ярко выраженным периодическим характером пространствен-

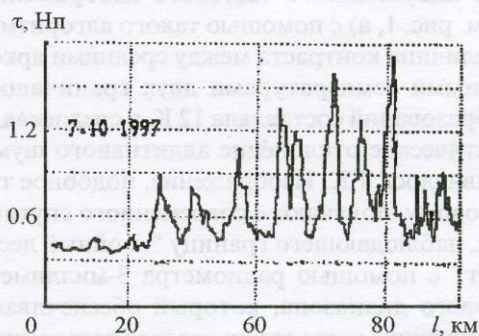


Рис. 2. Пример записи изменения коэффициента вертикального поглощения атмосферы τ в диапазоне 94 ГГц при прохождении фронтальной зоны облачности над наземным измерительным пунктом

ных флуктуаций коэффициента вертикального поглощения τ . Оценка пространственных размеров образований облачности производилась путем учета фиксируемых измерительным комплексом временных интервалов, скорости ветра и его направления.

Как показали наши вертолетные трассовые измерения пространственных изменений радиояркой температуры сельскохозяйственных ландшафтов в 3-миллиметровом диапазоне [15, 16], распределению размеров контрастирующих образований присущи непрерывный характер и отсутствие статистически преобладающих направлений их азимутальной ориентации (во всяком случае, в пространственном масштабе от единиц до ста километров).

Аналогичные характеристики трассовых разрезов радиояркости для поверхностей суши [11] (полученные в результате вертолетных измерений в 3-миллиметровом диапазоне волн) отличаются отсутствием периодичности в распределении размеров контрастирующих образований.

Если бы удалось подтвердить систематический характер отмеченных отличий, то эти статистические данные могли бы быть использованы в качестве некой ап-

риорной информации, полезной для создания новых методов обработки данных дистанционного зондирования. Однако понятно, что для поиска и исследования таких закономерностей необходим анализ результатов не трассовых, а сканирующих измерений, представленных в виде радиотепловых изображений обширных районов и, желательно, полученных в различных регионах мира.

Наиболее эффективно исследования и количественные статистические оценки отмеченных различий можно было бы провести, используя спутниковые наблюдения полей облачности над океаном. Хорошо известно, что контрастирующие облачные образования наилучшим образом выделяются на фоне водной поверхности. Что же касается аналогичных исследований морфологии поверхности суши, то для исключения искажающего влияния атмосферы их надо проводить в условиях ясного неба.

Для реализации такой программы исследований мы разработали специальное программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее выделять контрастирующие образования на радиоизображениях (путем оконтуривания их границ) с последующим определением длины и азимутальной ориентации осей эквивалентного эллипса каждого образования и проведением статистического анализа полученных параметров для всего изображения. Отладка и оценка эффективности такой программы (основанной на использовании описанного выше алгоритма) была проведена на специально разработанном компьютерном полигоне, имитирующем работу аэрокосмической системы дистанционного зондирования, с легко варьируемыми аппаратурными параметрами, данными земного ландшафта и полей облачности. Последующая обработка полученных таким образом тестовых модельных радиотепловых изображений показала работоспособность и эффективность программно-алгоритмического обеспечения, разработанного специально для поиска и исследования отмеченных выше

особенностей излучения природными образованиями.

В качестве источника экспериментальных данных были выбраны радиотепловые изображения тропиков, получаемые со спутника TRMM (Tropical Rainfall Measure Mission), запущенного в конце 90-х годов NASA-NASDA и работающего до настоящего времени. Установленная на этом спутнике радиометрическая аппаратура имеет наилучшее на сегодняшний день пространственное разрешение в миллиметровом диапазоне волн, а также инфракрасный и оптический каналы [21]. При обработке данных, предоставленных GDAAC (Goddard Distributed Active Archive Center), мы использовали радиоизображения регионов с размерами 800×800 км либо их половинные части, полученные в 3-миллиметровом диапазоне волн. При этом наши программы и алгоритмы, модернизированные специально для работы с этими данными, решали в процессе обработки следующие задачи:

- преобразование спутниковых радиоизображений к бинарному виду с выделением границ контрастирующих образований;
- измерение длины, ширины и азимутальной ориентации каждого из выделенных на бинарном изображении контрастирующих образований;
- статистический анализ длины, ширины, эллиптичности и азимутальной ориентации контрастирующих образований для всего радиоизображения.

В качестве примера, демонстрирующего работу описанного алгоритма, на рис. 3, а показано первичное радиоизображение, полученное со спутника TRMM в 3-миллиметровом диапазоне волн для типичной и произвольно выбранных тропических фронтальных зон облачности (над Индийским океаном в районе о. Мадагаскар, 14° ю. ш., 60° в. д.). Рис. 3, б демонстрирует результаты обработки этого радиоизображения с целью сегментации. Легко заметить наличие некоторого преобладающего направления в ориентации элементов облачных формаций.

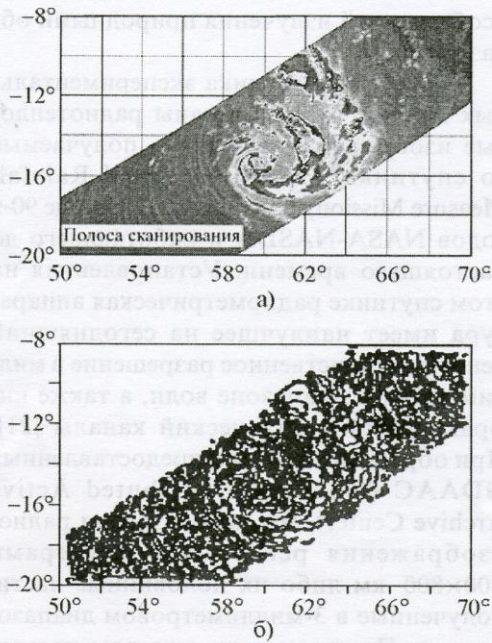


Рис. 3. Радиоизображения урагана над Индийским океаном (около о. Мадагаскар) в диапазоне 85 ГГц (по оси абсцисс отложена долгота, по оси ординат – широта) (а) и его бинарное представление с помощью описанного алгоритма (б)

На рис. 4 показаны типичные результаты распределений длин (а), ширины (б) и параметры эллиптичности (в, г) контрастирующих образований в полях облачности. Похожий вид они имеют и для суши. Уместно заметить, что контрастирующее образование, как правило, представляет достаточно сложную фигуру. Понятие длины такой фигуры – неоднозначно. При определении параметров контрастирующего образования было принято длиной образования считать расстояние между двумя наиболее удаленными точками этого образования, а шириной – ширину некоторого эквивалентного прямоугольника, площадь которого равна площади исходного образования.

Ориентация контрастирующего образования определяется углом между прямой, соединяющей две наиболее удаленные точки образования, и осью абсцисс. Эллиптичность

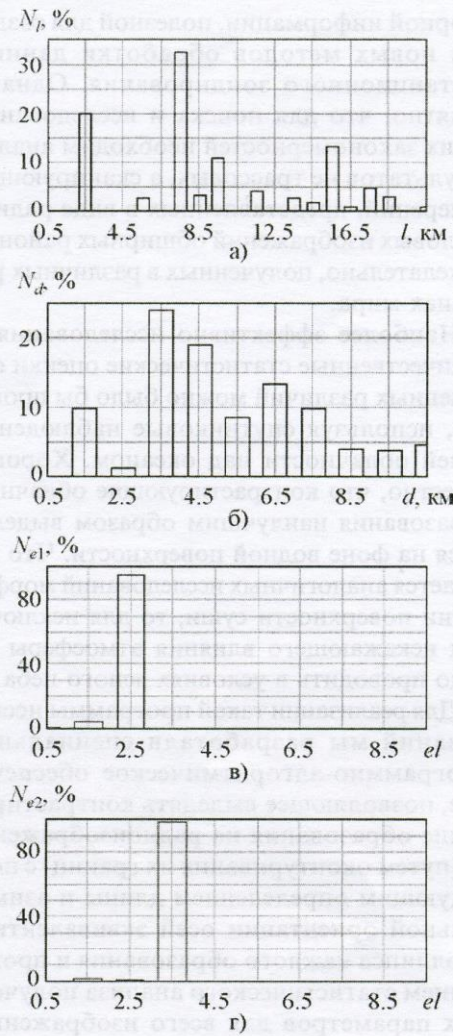


Рис. 4. Процентные распределения N_l длин сегментов l (а), N_d ширины сегментов d (б) для радиоизображения фронтальной зоны облачности, приведенного на рис. 3, а также распределения N_{e1} (в), N_{e2} (г) эллиптичностей $e1$, для смежных областей облачности над Тихим океаном (у берегов Южной Америки, -28° ю. ш., -80° з. д., виток 24052S28)

контрастирующего образования определяется как отношение его ширины к длине.

Анализ обработанных радиотепловых изображений участков суши и полей облачности показал, что в большинстве случаев

для участков протяженностью в несколько сотен километров характерно наличие некоторых преобладающих значений параметров длины и эллиптичности контрастирующих образований. При этом даже для соседних зон с такими же размерами эти характерные значения параметров могут заметно отличаться. Пример такого отличия приведен на рис. 4, в и рис. 4, г для эллиптичностей смежных областей облачности (над Тихим океаном у берегов Южной Америки, -28° ю. ш., -80° з. д.) Видно, что более 90 % площади каждого из двух граничащих участков облачности, имеющих одинаковую площадь 320000 км^2 , занято образованиями с близкими значениями эллиптичности (0.25 для одного участка и 0.35 – для другого). В то же время проведенный нами анализ данных о размерах и эллиптичности контрастирующих образований, наблюдавшихся над различными океанами и континентами, не выявил каких-либо ярко выраженных и устойчивых (в количественном или качественном плане) отличий между данными для полей облачности и для суши.

С другой стороны, анализ отличий между полями облачности и сушей, применительно к параметру групповой ориентации, показал, что такие отличия присутствуют всегда и, как правило, они ярко выражены (рис. 5). Так, для случайно выбранных в различных регионах мира и обработанных нами радиоизображений фронтальных зон облачности характерно, что в среднем 88 % площади изображения покрывается контрастирующими образованиями, сосредоточенными в 10-градусном секторе (см. рис. 6). Для сравнения, контрастирующие образования поверхности суши, сосредоточенные в аналогичном секторе углов, покрывают только 38 % площади изображения. Причем отмеченное для суши наличие слабо выраженной групповой ориентации, в общем случае отличной от ориентации облачности, видимо, связано с мезо-масштабными геологическими процессами формирования ландшафтов отдельных регионов. В связи с этим следует ожидать, что выявленная ориентация будет стабильной во времени в отличие от ориентации облачного покрова.

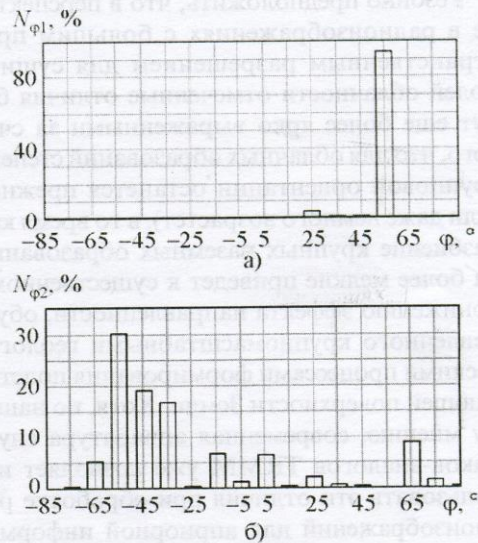


Рис. 5. Процентное распределение азимутальных углов ориентации контрастирующих сегментов на спутниковых радиотепловых изображениях (85 ГГц):

а) облачности над Тихим океаном у берегов Южной Америки (N_{φ_1}), виток 24052 S28; б) участка поверхность суши (N_{φ_2}), Австралия, виток 10105

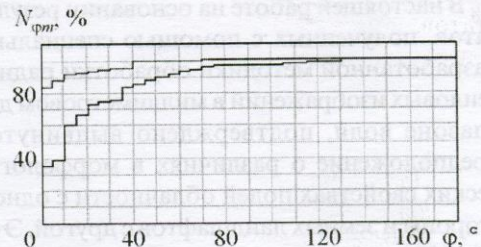


Рис. 6. Процентное распределение средних углов ориентации контрастирующих сегментов N_{φ} для обобщенных спутниковых радиотепловых изображений: верхняя кривая – усреднение для полей облачности над пятью регионами Атлантического, Тихого и Индийского океанов; нижняя кривая – усреднение для поверхности суши пяти регионов в Южной Америке, Южной Африке и Австралии

Резонно предположить, что в перспективе в радиои изображениях с большим пространственным разрешением для суши и полей облачности отмеченные отличия будут еще более ярко выраженными за счет того, что для облачных образований степень групповой ориентации останется прежней (или даже немного возрастет), в то время как разбиение крупных наземных образований на более мелкие приведет к существенному понижению эффекта направленности, обусловленного крупномасштабными геологическими процессами формирования подстилающей поверхности Земли. Хотя, по нашему мнению, современная аппаратура спутников-аналогов TRMM уже позволяет использовать эти отличия при обработке радиои изображений для априорной информации, за исключением зон изображений, прилегающих к центральной части циклонов. Это связано с тем, что в таких регионах мал радиус спирали, по которой перемещаются воздушные массы. В связи с этим требуется анализ радиои изображений с меньшими площадями полей облачности при лучшем пространственном разрешении систем дистанционного зондирования.

Заключение

В настоящей работе на основании результатов, полученных с помощью специально разработанной методики обработки радиотепловых изображений в миллиметровом диапазоне волн, подтверждено выдвинутое предположение о различиях в морфологических свойствах полей облачности с одной стороны и земных ландшафтов с другой. Эти морфологические отличия могут быть использованы в качестве априорной информации при построении новых алгоритмов обработки и восстановления параметров облачного покрова, наблюдаемого на фоне поверхности суши, а также при восстановлении параметров земной поверхности, зондируемой сквозь облачный покров.

Дальнейшие действия в этом направлении будут связаны с обеспечением более полного статистического обоснования вы-

явленных различий для разных синоптических и сезонных ситуаций, а также с разработкой алгоритма вторичной обработки радиотепловых аэрокосмических изображений с использованием этих отличий, пригодного для работы над поверхностью суши.

Литература.

1. W. K. Pratt. Digital Image Processing. USA, John Wiley and Sons Inc., 1991, 294 pp.
2. J. P. Alishouse, S. A. Snyder, J. Vongsathorn, R. R. Ferraro. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 1990, **28**, No. 5, pp. 811-816.
3. J. P. Alishouse, J. B. Snider, E. R. Westwater, C. T. Swift, C. S. Ruf, S. A. Snyder, J. Vongsathorn, R. R. Ferraro. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 1990, **28**, No. 5, pp. 817-822.
4. P. Bauer. Proc. of the IGARSS'93, (18-21 August, Tokyo, Japan). 1993, **3**, pp. 1015-1017.
5. N. Selbach. Abstracts of Int. Specialist Meeting on Microwave Remote Sensing (5-9 November, Boulder, Colorado, USA), NOAA, 2001, p. 171.
6. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации. Под ред. В. К. Баклицкого. Москва, Радио и связь, 1986, 216 с.
7. Г. И. Василенко, А. М. Тараторин. Восстановление изображений. Москва, Радио и связь, 1986, 304 с.
8. П. А. Бакут, Г. С. Колмогоров, И. Е. Ворновицкий. Зарубежная радиоэлектроника. 1987, №10, с. 6.
9. П. А. Бакут, Г. С. Колмогоров. Зарубежная радиоэлектроника. 1987, №10, с. 25.
10. Т. С. Хуанг, Дж. О. Эклунд. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные фильтры. Пер. с англ. Москва, Радио и связь, 1984.
11. Nikolay V. Ruzhentsev, Yury M. Gerasimov. Proc. of SCI2001/ISAS 2001 World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics Image, Acoustic, Speech And Signal Processing. Orlando, USA, Part I, 2001, **6**, p. 5.
12. N. Ruzhentsev and V. Churilov. International Journal of Infrared and Millimetre Waves. 1996, **17**, No. 2, pp. 433-449.
13. N. V. Ruzhentsev and V. P. Churilov. International Journal of Infrared and Millimetre Waves. 1996, **17**, No. 4, pp. 785-796.
14. А. В. Антонов, Ю. М. Герасимов, Н. В. Руженцев, В. П. Чурилов. Радиофизика и радиоастрономия. 2000, **5**, №2, с. 131-136.

15. N. Ruzhentsev, A. Antonov and Yu. Gerasimov. Proc. of URSI Comm. F, Int. Symp. (CLIMPARA 98, April, Ottawa), 1998, pp. 216-219.
16. N. Ruzhentsev, A. Antonov, Yu. Gerasimov. Proc. of IGARSS'99, (August, Hamburg, Germany), 1999, 2, pp. 1312-1314.
17. N. V. Ruzhentsev and Yu. A. Kuzmenko. Proc. of URSI Comm. F, Int. Triennial Open Symposium on Wave Propagation and Remote Sensing (22-25 September, Aveiro, Portugal), 1998, pp. 247-250.
18. N. V. Ruzhentsev. Radio Science. 2003, 38, No. 3, pp. Mar 8-1 – 8-7.
19. И. П. Мазин, С. М. Шмерер. Облака. Их структура и формирование. Ленинград, Гидрометиздат, 1983, 280 с.
20. А. Х. Хргиан. Физика атмосферы. Т. 2. Ленинград, Гидрометиздат, 1978, 320 с.
21. <http://trmm.gsfc.nasa.gov/main.html>

Morphological Differences in Radio-Images of Clouds and Land Surface in the Millimetre Wave Band

Yu. M. Gerasimov and N. V. Ruzhentsev

The morphology of contrast formations of cloud and land fields on satellite images taken in the 3-mm waveband is studied with the offered thermal image processing technique and a purpose-developed algorithmic software. The statistical parameters of detected systematic differences in group orientation of elements of the scene can be used as an a priori information in development of new approaches to processing and restoring environmental parameters from the aerospace remote sensing data.