

10. ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ALOS – PALSAR ПО БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Ширеторов И.Д.⁽¹⁾, Дарижапов Д.Д.⁽¹⁾, Кирбижекова И.И.⁽¹⁾, Быков М.Е.⁽²⁾.

⁽¹⁾Отдел физических проблем Бурятского Научного Центра СО РАН,

⁽²⁾ Кафедра ЭВС ВСГТУ.

Аннотация. В статье исследуются возможности применения полной матрицы рассеяния полнополяриметрических данных радиолокатора с синтезированной апертурой ALOS-PALSAR в L-диапазоне за период 2006-2009 г.г. по Байкальской природной территории для проведения классификации природных и искусственных объектов. Для анализа результатов использованы наземные данные по территории спутниковых съемок. Проведено сравнение результатов обработки для разных видов земной поверхности, растительности, искусственных объектов.

ВВЕДЕНИЕ

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) стали мощным средством исследования Земли из космоса [1]. Регистрация данных полной матрицы рассеяния открывает новые возможности для изучения отражательных свойств природных и искусственных объектов методами поляриметрии. Поляриметрические РСА с возможностью расширения потока информации до четырех каналов позволяют нам изучить отражательные свойства различных типов земной поверхности и автоматически классифицировать данные дистанционного зондирования. Появление данных поляриметрических РСА привело к возникновению совершенно новых методик обработки данных, позволяющие извлекать принципиально новую информацию об отражающих свойствах природных и искусственных объектах. Очень важными выглядят исследования отражения радиосигнала от разных видов растительности и типов поверхности [2].

При рассеянии волн на сложных радиолокационных объектах, обладающих случайным распределением рассеивающих центров, электрический вектор рассеянного поля в дальней зоне будет представлять собой случайную функцию положения, определяемого некоторым радиус-вектором [3]. В общем случае при рассеянии электромагнитных волн радиолокационными объектами имеет место преобразование поляризации волн. Полнополяриметрическая съемка позволяет регистрировать полную

матрицу рассеяния для каждого радиолокационного объекта и позволяет вычислить их в любом поляризационном базисе. Это привело к появлению новых методов анализа данных дистанционного зондирования и процедур их автоматической обработки.

МЕТОДЫ ДЕКОМПОЗИЦИИ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ

Основной задачей поляризационной радиолокации является декомпозиция матрицы рассеяния радиолокационного объекта с целью выделения некоторого поляризационного параметра, в достаточной степени характеризующего свойства объекта и допускающего непосредственное измерение и отображение на индикаторе РЛС.

Для решения этой задачи применяется аппарат матричного исчисления. Методами анализа и декомпозиции матрицы Стокса $\langle S \rangle$, матрицы когерентности $\langle T \rangle$ и ковариантной матрицы $\langle C \rangle$ можно наиболее полно классифицировать рассеивающие свойства природных и искусственных объектов.

В работе использованы данные радара с синтезированной апертурой ALOS – PALSAR. Космический аппарат ALOS был запущен 24 января 2006 г. Японским аэрокосмическим агентством JAXA. КА ALOS оснащен радаром L-диапазона (PALSAR) с длиной волны – 24 см., предназначенным для круглосуточного и всепогодного наблюдения Земли.

Радарные изображения имеют целый ряд особенностей, как радиометрические, так и геометрические. Исходные радарные данные, не приведенные к наземной дальности сильно «вытянуты» в азимутальном направлении. Также следует отметить, что из-за специфической геометрии съемки, исходные радарные изображения, в зависимости от орбиты, либо перевернуты зеркально в горизонтальной плоскости (нисходящая орбита), либо перевернуты зеркально в вертикальной плоскости (восходящая орбита).

КОГГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ

В случае поляриметрического радара измеряется полная матрица рассеяния – матрица Стокса размерностью 2 x 2:

$$S = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой

Матрица Стокса, где первая буква означает поляризацию сигнала на передающей антенне, а вторая на приемной.

При декомпозиции матрицы Стокса в системе матриц Паули с учетом того, что $S_{hv} = S_{vh}$ получается следующее выражение [2,3]:

$$S = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} = \alpha * S_a + \beta * S_b + \gamma * S_d \quad (2)$$

Тогда матрицу Стокса можем представить в виде суммы трех матриц:

Матрица S_a есть матрица рассеяния от плоской поверхности, идеальной сферы, трехгранного уголкового отражателя, т.е. это однократное рассеяние без изменения поляризации. Матрица S_b матрица рассеяния двойного и более кратного отражения от строений, деревьев, которая меняет одну из ортогональных составляющих поляризации на противоположную. Матрица S_d представляет рассеяние от двойной плоскости с углом ориентации 45 градусов, при отражении от которой волна меняет поляризацию на ортогональную, такое рассеяние характерно для растительного покрова. Коэффициенты α, β, γ характеризуют вклад соответствующих механизмов рассеяния в общую матрицу рассеяния.

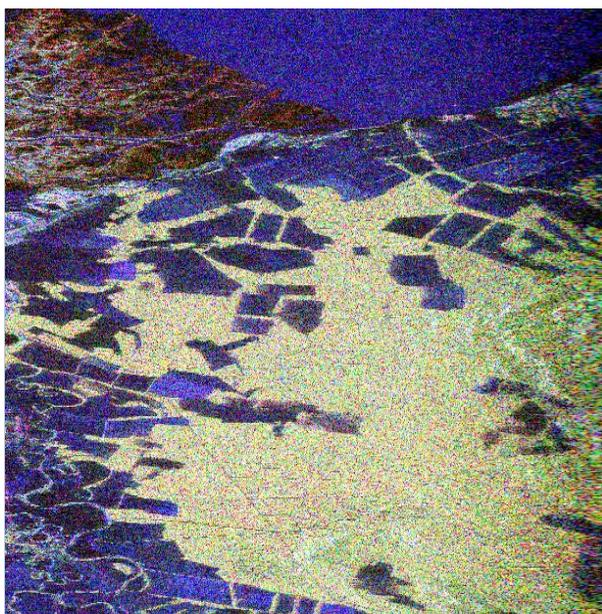


Рис.1. RGB-изображение разложения Паули Дубининского леса (дельта реки Селенга) по данным ALOS – PALSAR от 28 сентября 2006 г.

Этот метод декомпозиции дает нам возможность выявить расположение полей, водных поверхностей, строения и растительности. На рис. 1 представлен результат

разложения Паули, где, таким образом, комплексный коэффициент $|\alpha|^2$ (синий цвет) определяет вклад в рассеяние отражения от плоской поверхности, коэффициент $|\beta|^2$ (красный цвет) определяет вклад двойного или многократного отражения, $|\gamma|^2$ (зеленый цвет) определяет вклад рассеяния от плоскости ориентированной под углом 45° .

Крогагер предложил альтернативную форму представления матрицы рассеяния, как комбинацию рассеяний от сферы, двухгранного уголкового отражателя и спирали, где последние два параметра зависят от угла ориентации θ

Матрица рассеяния выглядит следующим образом:

$$S = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a + b & c \\ c & a - b \end{pmatrix} = e^{j\varphi} * \left\{ k_s * \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + e^{j\varphi_s} * \left\langle k_d \begin{pmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{pmatrix} + k_h * e^{\pm j2\theta} \begin{pmatrix} 1 & \pm j \\ \pm j & 1 \end{pmatrix} \right\rangle \right\} \quad (3)$$

ϕ - фазовая составляющая, которая зависит от расстояния между радаром и радиолокационным объектом. Коэффициент k_s определяет вклад в рассеяние от плоской поверхности. Коэффициент k_d определяет вклад в рассеяние от двухгранного уголкового отражателя. Коэффициент k_h определяет вклад в рассеяние от спирали.

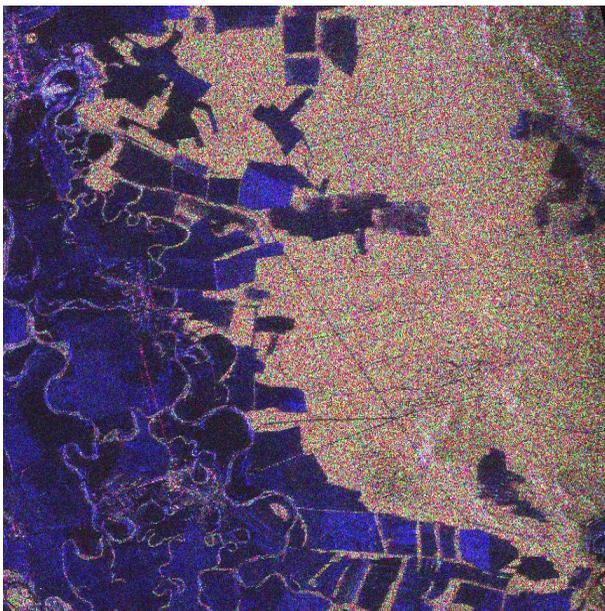


Рис. 2. RGB – изображение разложения Крогагер Дубининского леса (дельта реки Селенга) по данным ALOS – PALSAR от 28 сентября 2006 г.

НЕКОГГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ

Определение матрицы когерентности $\langle T \rangle$ для описания поляризационных свойств рассеянного поля дает нам возможность анализа и классификации сложных радиолокационных объектов с помощью аппарата матричного исчисления. Одним из наиболее эффективных методов классификации является метод разложения матрицы когерентности на собственные вектора и собственные числа.

В 1997 году S.R.Cloude и E.Pottier предложили метод извлечения средних характеристик на основе статистик второго порядка [4]. В данной работе был применен анализ собственных векторов когерентной матрицы $\langle T \rangle$ позволяющий декомпозицию по типам механизмов рассеяния.

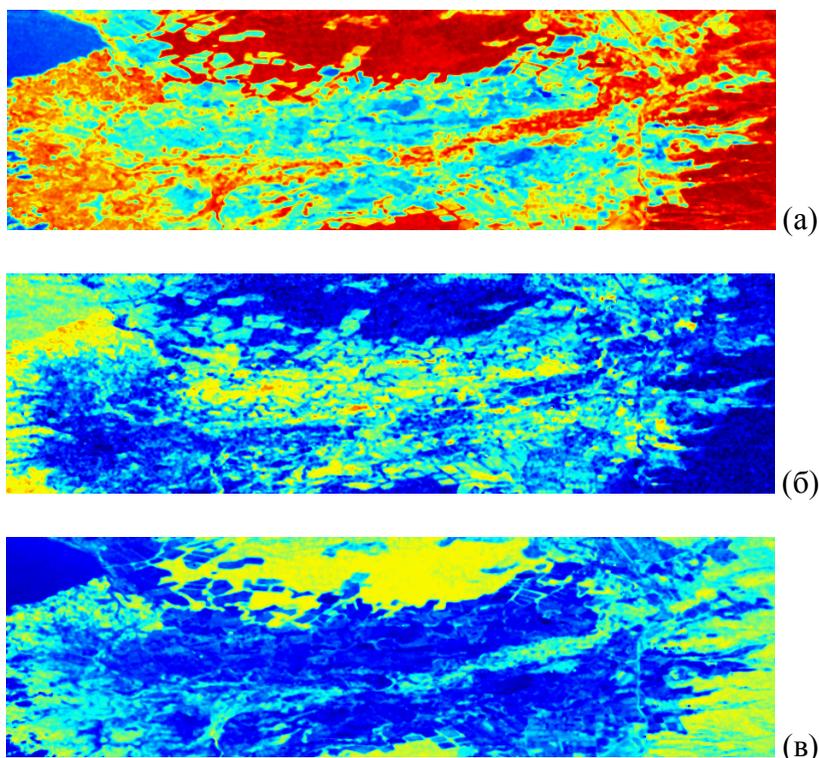


Рис. 3. Изображение энтропии H , анизотропии A , и α дельты реки Селенга от 28 сентября 2006 г. Градация цвета от синего к красному по мере увеличения параметров.

Степень статистического беспорядка для каждого объекта характеризуется энтропией

$$H = -\sum_{i=1}^3 P_i \log_3 P_i \quad (4)$$

где P_i – вероятности, полученные из собственных значений $\langle T \rangle$

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i} \quad (5)$$

На рис.3.а водная поверхность и гладкие поля характеризуются низкими значениями N и слабой деполяризацией радарного сигнала. Лесные массивы и горная область - высокими значениями N и значительной степенью деполяризации.

Второй параметр – анизотропия

$$A = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3} \quad (6)$$

На рис 3.б в лесных массивах и горных областях A принимает значения близкие к 0, следовательно, второе и третье собственные значения почти равны или близки к 0, что свидетельствует о наличии доминирующего механизма рассеяния на данных участках радарного изображения. Поверхность Байкала, участки вдоль русла реки и вдоль побережья имеют среднюю и высокую анизотропию, что говорит о присутствии второго механизма рассеяния.

Третий параметр – α характеризует доминирующий механизм рассеяния. альфа.

$$\alpha = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3 \quad (7)$$

На рис 3.в видны участки с низкими α , где преобладает механизм рассеяния от поверхности, при среднем α – дипольное или однократное рассеяние, более высокие α соответствуют объемному рассеянию. Несмотря на наличие населенных пунктов, нет участков с очень большими α (близкими к 90°).

ДВУМЕРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

Больше возможностей даёт сочетание параметров. Например: участок Байкала характеризуется низкими значениями N , α и средними значениями A , что свидетельствует об относительной гладкости водной поверхности, действии в основном механизмов рассеяния от поверхности и наличии как минимум двух типов рассеяния с примерно равным весом. Для участков леса характерны низкие значения A , средние значения α и высокие значения N , что свидетельствует о доминировании объёмного рассеяния и высокой степени статистического беспорядка и т.д.

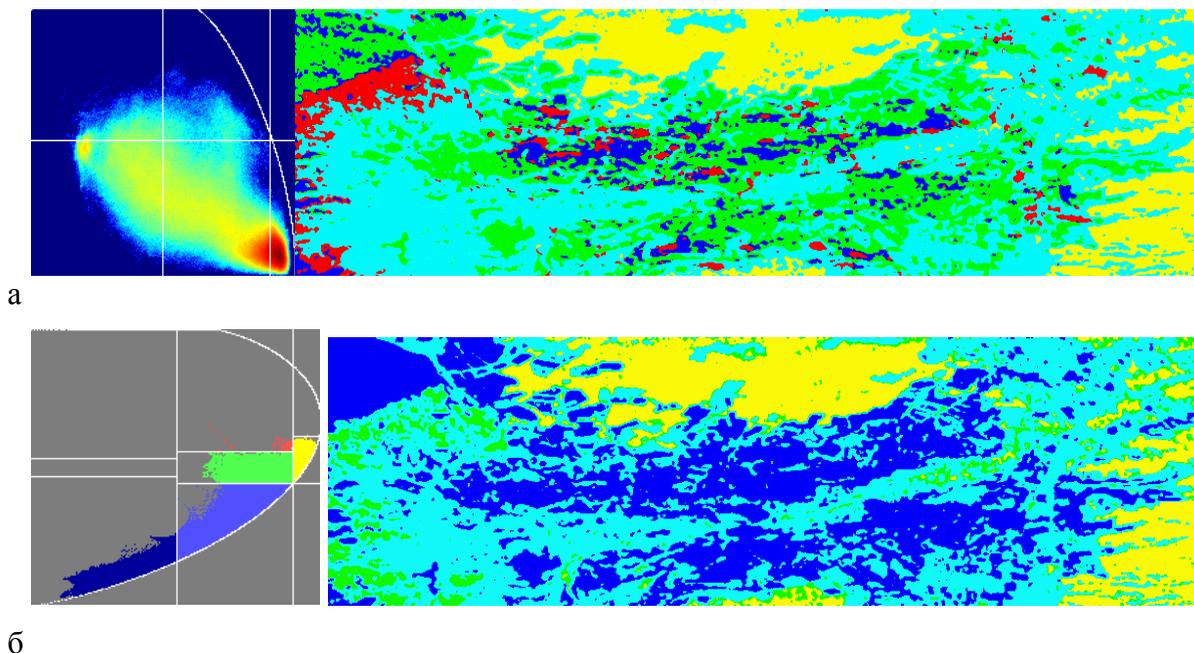


Рис. 4.а-б. Двумерная классификация H-A, H- α , A- α . Слева распределение пикселей на двумерной диаграмме. Справа результат классификации

Применение двумерной классификации H-A, H- α , A- α даёт возможность выделить до 8 кластеров в соответствии с типами механизмов рассеяния (см. рис.4). Слева представлены распределение пикселей исследуемой сцены на двумерных диаграммах, где по осям координат отложены соответствующие параметры. Каждая диаграмма разбита на основные характерные зоны [4]. Например, на рис.4.бс. по оси абсцисс отложены значения энтропии от 0 до 1, причём диапазон значений разделен на три зоны: низкая H, средняя H, высокая H. По оси ординат – α , от 0° до 90° с разделением на три зоны. На диаграмме пиксели исследуемой сцены распределены по 4-5 зонам. В соответствии с распределением пикселей можно построить классификационную картину. Результаты классификации также представлены на рисунке 4. При определённых условиях можно провести трёхмерную классификацию с учётом всех трёх параметров и выделить до 16 кластеров (для данной сцены до 10). Применение методов классификации на основе H-A- α декомпозиции позволяет выделить кластеры с чётко обоснованными различиями по типам и распределению механизмов рассеяния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам классификации можно сделать следующие выводы:

1. Декомпозиция матрицы Стокса в системе матриц Паули и разложения Кротагера позволяют наглядно оценить типы природных объектов по

степени неоднородности: водная поверхность, ровная поверхность с малой растительностью, поверхности с высокой растительностью и искусственные строения.

2. Методы разложения матрицы когерентности в системе собственных чисел и собственных векторов позволяет разделить природные объекты на кластеры с различными механизмами рассеяния.
3. Комбинация этих методов декомпозиции матрицы рассеяния является эффективными для определения физических характеристик природных и искусственных объектов, что очень важно для решения экологических и природноресурсных и хозяйственных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boerner W. –M. The manual of Remote Sensing. 3rd Edition. ASPRS publishing, Bethesda, MD, 1997.
2. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Научная серия. Поляризация радиоволн. М. Радиотехника. 2005-2007 г.г.
3. Татаринов В.Н., Татаринов С.В., Лигтхард Л.П. Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов. Томск. Изд. Том. Ун-та. 2006 г.
4. Cloude S.R. and E. Pottier, 1997, "An Entropy-Based Classification Scheme for Land Applications of Polarimetric SAR", IEEE Trans GRS, vol. 35(1), pp. 68-78.