

Сравнение результатов поляриметрической классификации по данным PCA ALOS PALSAR

М.Ю. Достовалов, Р.В. Ермаков, Т.Г. Мусинянц

*НИИ Точных Приборов, 127490, Москва, ул.Декабристов вл.51.Тел (495)404-53-47
E-mail mikhail.dostovalov@niitp.ru*

Перспективным направлением повышения информативности РЛ данных является использование поляриметрического режима съемки, данные которого позволяют судить об основных механизмах рассеяния объектов. В работе решалась задача оценка возможности обнаружения участков вырубки по РЛ изображениям тропического леса с использованием поляризационной информации PCA ALOS PALSAR. В процессе сравнительного анализа поляриметрической классификации радиолокационных данных оказалось, что эффективность выделения участков вырубки по данным с поляризационной матрицей из двух компонент оказалась существенно выше, чем по данным с полной поляризационной матрицей. Наиболее существенным различием в обрабатываемых наборах РЛ данных являлось изменение угла наблюдения в вертикальной плоскости, составляющее 25° для кадров с полной поляризационной матрицей и 39° для кадров с двумя поляризационными компонентами.

Ключевые слова: PCA, PALSAR, радиолокационные изображения, поляриметрическая классификация

1. Введение

Одним из перспективных направлений повышения информативности РЛ данных является использование поляриметрического режима съемки, данные которого позволяют судить об основных механизмах рассеяния объектов, т.е. получать дополнительную информацию об их свойствах.

В настоящее время на орбите функционируют несколько космических РСА позволяющие проводить анализ поляриметрических данных. Особенностью космического РСА PALSAR, функционирующего с 2006г является получение данных в L диапазоне в сочетании с возможностью регистрации полной поляризационной матрицы.

Целью работы было исследование возможностей поляриметрических данных по мониторингу состояния лесного покрова различных экосистем. На данном этапе исследовались тропические дождевые леса. При этом решалась задача оценка возможности обнаружения участков вырубки по РЛ изображениям тропического леса с использованием поляризационной информации.

Преимуществом РСА при решении данной задачи является возможность выделения участков леса от естественных фоновых поверхностей других типов, а также всепогодность и независимость наблюдений от времени суток.

Проблеме исследования состояния лесного покрова радиолокационными средствами посвящено значительное число исследований. Работы проводились в различных (C–5,6 см и L–23 см) диапазонах с использованием данных космических РСА ERS1/2, JERS-1, ENVISAT. Результаты классификации участков леса (отличия от других типов поверхностей), а также, участков вырубки по сериям радиолокационных (РЛ) изображений, полученных в разное время, представлены в [1,2].

Поляриметрическая классификация лесных массивов по данным авиационных РСА с использованием различных длин волн была представлена в [3]. Различные аспекты поляриметрической классификации (сегментации) рассмотрены в [4,5,6].

Использование радиолокационной информации космического РСА PALSAR позволяет применять эффективные средства поляризационного анализа, однако, требует учета ряда специфичных свойств обрабатываемых данных, анализу которых и посвящена представляемая работа.

2. Участок съемки. Обрабатываемые данные

Участок съемки – фрагмент тропического леса в Бразилии в районе р. Тапажос [Tapaјos]], – включал 2 РЛИ в режиме полной поляризации (комплексные РЛИ VV, VH, HV, HH), а также, 2 РЛИ в режиме съемки только двух поляризационных компонент – HH+ HV.

Изображения с полной поляризационной матрицей были получены 13.03.2007 и 28.04.2007. Угол наблюдения для кадров с полной поляризационной матрицей составлял порядка 25° от надира. Изображения с двумя поляризационными компонентами были получены 05.07.2007 и 20.08.2007. Угол наблюдения для этих кадров составлял порядка 39° от надира. Поляриметрическая обработка проводилась с использованием технологии, реализованной в рамках пакета PolSARpro_V4.

Изображения анализируемого участка представлены на рис. 1. Рисунок включает опорное оптическое изображение, полученное из программного комплекса Google Earth (слева), РЛ изображение, представленное в базисе Паули (в центре), а также, результат поляриметрической классификации (справа).

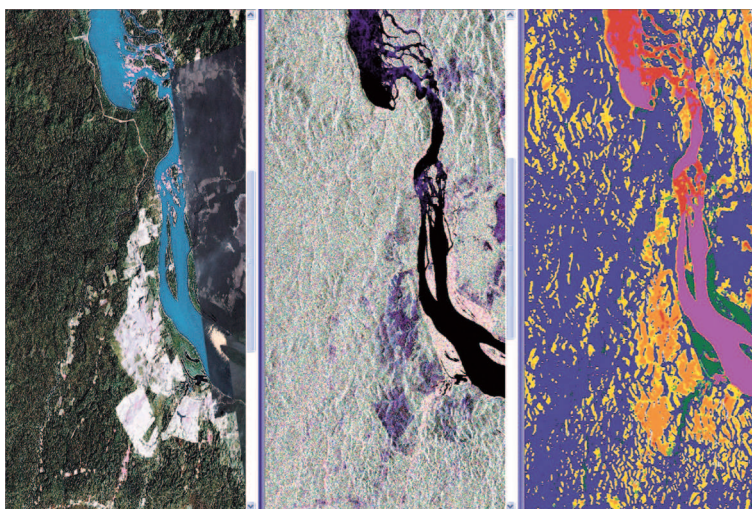


Рис. 1. Изображения исследуемого участка. Оптическое изображение (слева), РЛИ в базисе Паули (в центре) и результат поляриметрической классификации (справа). Леса отображаются зеленым тоном на оптике, светло-зеленым на РЛИ и синим на изображении поляриметрических классов. Участки вырубki выделяются на оптике белым цветом, на РЛИ – синим, на изображении классов – оранжевым

3. Поляриметрическая классификация

В результате проведения РЛ съемки поляриметрическим РСА (в режиме полной поляризационной матрицы), регистрируется матрица рассеяния S :

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для одноантенной (моностатической) системы и симметричной среды распространения три независимых компоненты матрицы S образуют вектор рассеяния u следующим образом: $u = [S_{HH}, \sqrt{2}S_{HV}, S_{VV}]^T$. Для случайной поверхности, состоящей из большого числа отдельных отражателей, вектор u имеет многомерное Гауссово распределение [5]:

$$p_u(u) = \frac{1}{\pi^3 |C|} \exp(-u^T C^{-1} u), \quad (2)$$

где T означает эрмитово сопряжение, C – комплексная ковариационная матрица $C = [uu^T]$, $|C|$ – определитель C .

Для уменьшения влияния спекл-шума при поляриметрической обработке используется некогерентное накопление данных. При этом происходит усреднение отдельных независимых ковариационных матриц. В результате, при усреднении n независимых отсчетов результирующая ковариационная матрица будет иметь вид:

$$Z = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u(k)u(k)^T, \quad (3)$$

где $u(k)$ – отдельный отсчет данных (с накоплением 1).

Поляриметрическая ковариационная матрица Z имеет комплексное многомерное распределение Вишарта [5]. Для случая, когда $C = E[Z]$, распределение вероятности матрицы Z , полученной путем накопления n независимых отсчетов, имеет вид:

$$p_Z^{(n)}(Z | C) = \frac{n^{qn} |Z|^{n-q} \exp\{-n \text{Tr}(C^{-1}Z)\}}{K(n, q) |C|^n}, \quad (4)$$

$$\text{где } K(n, q) = \pi^{\left(\frac{1}{2}\right)^{q(q-1)}} \Gamma(n) \dots \Gamma(n - q + 1),$$

n – число накапливаемых отсчетов, q – размерность вектора u ($q=3$ для одноантенного случая, $q=4$ для бистатической системы), Tr – след матрицы, $K(n, q)$ – коэффициент нормализации, Γ – гамма-функция.

Для сегментации (классификации) поляриметрических данных используется классификатор, основанный на свойствах распределения Вишарта. Оптимальная (в смысле отношения правдоподобия) оценка близости текущего элемента матрицы Z к классу w_m определяется выражением [3]:

$$d_3 = \ln |C_m| + \text{Tr}(C_m^{-1}Z), \quad (5)$$

где $C_m = E[Z | w_m]$ – среднее значение ковариационной матрицы по всем элементам класса w_m

Отнесение пикселя к классу, для которого реализуется минимальное значению расстояния d_3 , соответствует отнесению к классу с максимальной апостериорной вероятностью и максимизирует оценку функции правдоподобия матрицы когерентности (ковариационной матрицы).

Поляриметрическая классификация для кадров с полной поляризационной матрицей проводилась с использованием классификатора Вишарта без обучения, использующего для начальной инициализации классов результаты Н- α декомпозиции [4]. Для получения сравнительных оценок результатов классификации использовался классификатор Вишарта с обучением (как для 2-х компонентных, так и для 4-х компонентных кадров, с различной структурой ковариационной матрицы) [3].

Обучающая выборка классов для классификатора с обучением была подготовлена заранее, на основе совместной визуальной интерпретации оптических и РЛ изображений. Обучающая выборка включала 6 классов, включая различные типы участков леса, открытой поверхности и участки вырубки. Одни и те же опорные участки (в составе обучающей и контрольной выборок) использовались для классификации всех РЛ изображений. Это дало возможность сравнить результаты классификации между собой.

Сравнение результатов осуществлялось с использованием известной техники построения матриц рассогласования. Полученные количественные оценки уровня правильной классификации продемонстрировали различие в эффективности различных типов классификаторов и позволили определить оптимальные условия наблюдения для последующего построения карт лесных массивов и участков вырубки.

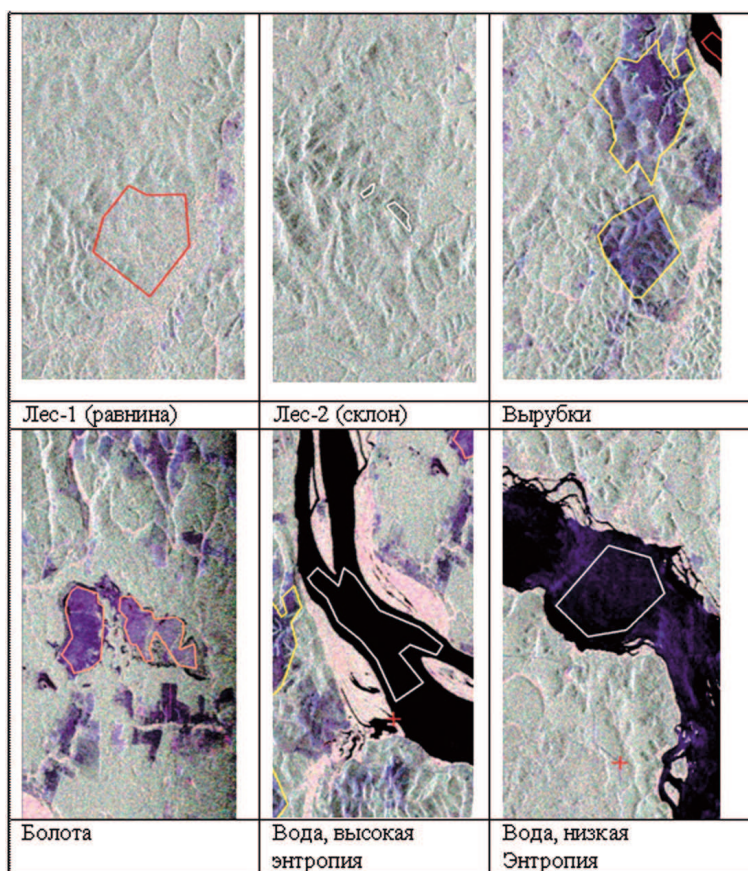


Рис. 2. Обучающая выборка данных из 6 классов природных объектов

Обучающая выборка включала 6 классов, представленных на рис. 2. Участки леса расположенные на равнине и на склонах холмов, «дальних» по отношению к облучающей РСА были выделены в отдельные классы. Участки вырубки также были разделены на несколько классов, образуя обучающую и контрольную выборки. На 2 отдельных класса были разделены также и участки водной поверхности – по различиям в уровнях энтропии, обусловленным, вероятно, различной степенью взволнованности поверхности.

Для оценки поляриметрических характеристик объектов был проведен анализ распределения классов обучающей выборки по параметрам H и α . Результаты анализа представлены на рис. 3. Распределение пикселей отдельных классов представлено в виде наборов точек (на фрагменте слева) и в виде контуров равной вероятности распределения (справа). Рисунок 3 показывает, что пиксели различных классов обучающей выборки распределены в относительно узкой области значений параметров H и α и заметно пересекаются между собой. Цвета отображения классов обучающей выборки, представленные на рис. 3, будут использоваться ниже при отображении результатов классификации с обучением.

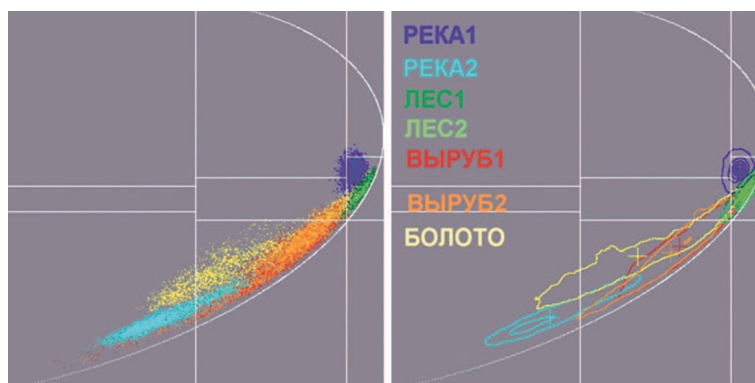


Рис. 3 Результаты анализа распределения классов обучающей выборки по параметрам H и α . Цвета отображения классов обучающей выборки будут использоваться ниже при отображении результатов классификации с обучением

4. Результаты поляриметрической классификации без обучения

Поляриметрическая классификация без обучения использовалась для анализа данных с полной поляризационной матрицей и проводилась по следующей схеме:

- H - α декомпозиция. Инициализация начальных значений классов Z1-Z9.
- Классификация без обучения с использованием классификатора Вишарта. Формирование выходных классов (в кодировке Z1-Z9).
- Анализ распределения выходных классов по параметрам H - α .

Анализ распределения выходных классов классификатора без обучения по параметрам H и α позволил провести общую оценку поляриметрических характеристик результатов обработки. Результирующие распределения классов, отображаемые в виде контуров равной вероятности реализации, представлены на рис. 4. Каждому классу (Z1-Z9) был поставлен в соответствие свой цвет. Эти же цвета имеют контура выходных классов классификатора. Положения контуров в плоскости H - α характеризует свойственные выходным классам механизмы рассеивания.

Рис. 4 демонстрирует, что, несмотря на инициализацию классов Z1-Z9 пикселями с существенно отличающимися поляризационными характеристиками (значениями H и α),

выходные классы классификатора без обучения сосредоточены в одной области и существенно между собой пересекаются, – т.е. имеют сходные механизмы рассеяния.

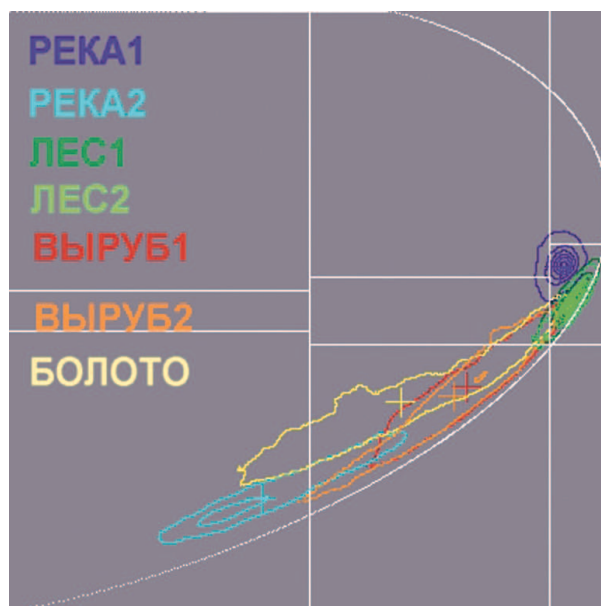


Рис. 4. Распределение выходных классов классификатора без обучения по параметрам H и α . Несмотря на инициализацию классов пикселями с существенно отличающимися значениями H и α , выходные классы классификатора без обучения сосредоточены в одной области и существенно между собой пересекаются

Результаты поляриметрической классификации без обучения представлены на рис. 5 и 6. Цвета на рис. 4-6 соответствуют различным поляриметрическим классам Z1-Z9 (в отличие от цветовой кодировки классов обучающей выборки на рис. 3).

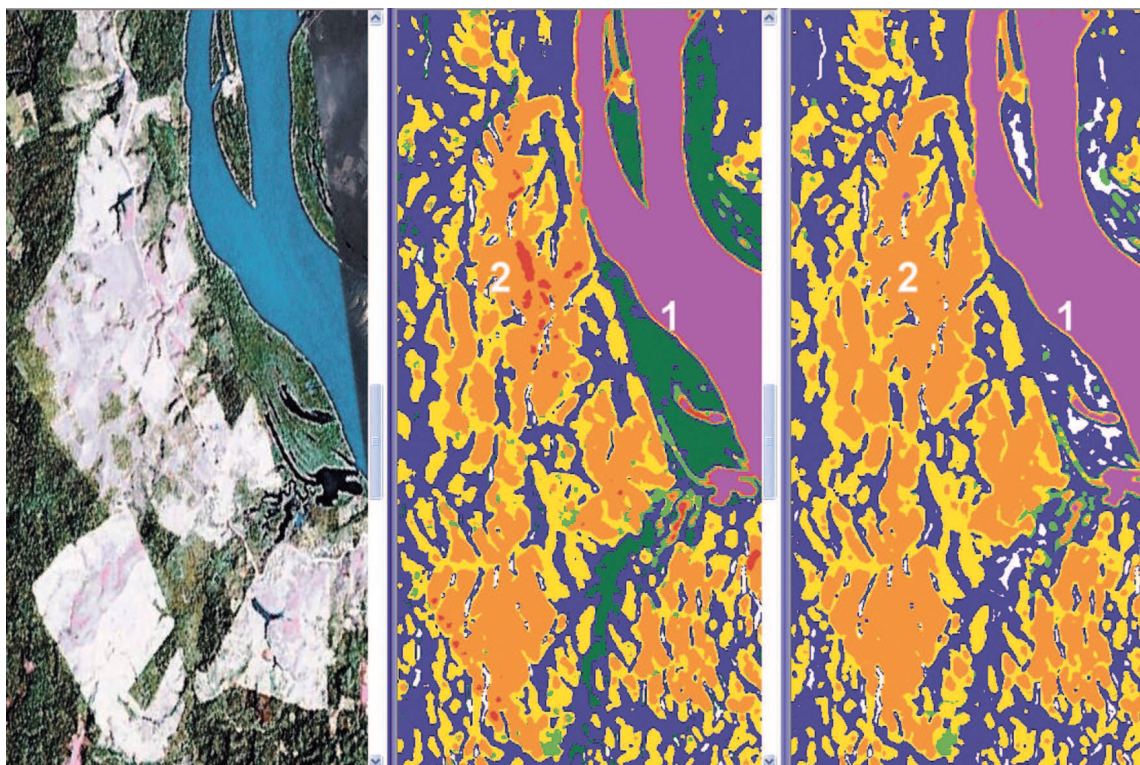


Рис. 5. Результаты поляриметрической классификации без обучения с использованием классификатора Вишарта. Участки вырубки хорошо выделяются на базе классов Z5 и Z6 H - α классификации

Рис. 5 показывает, что участки вырубки хорошо выделяются в виде классов Z5 и Z6 Н- α классификации (желтый и оранжевый цвета на рис. 5). Данные классы занимают более 80% общей площади участков вырубки и хорошо отделяются от области леса (класс Z2, синий цвет на рис. 5).

К сожалению, те же самые классы Z5 и Z6 детектируются в области сплошного лесного массива, расположенного в холмистом районе на «дальних» от РСА склонах (участки леса, выделенные в класс Лес-2). На оптическом изображении рис. 6 (слева) видно, что лесной массив в данном районе не имеет разрывов. Однако, результаты классификации на рис. 6 (справа) показывают наличие классов Z5 и Z6 (желтый и оранжевый цвета).

Существенное взаимное пересечение данных классов снижает общую эффективность использования классификатора без обучения для выделения участков леса и участков вырубки.

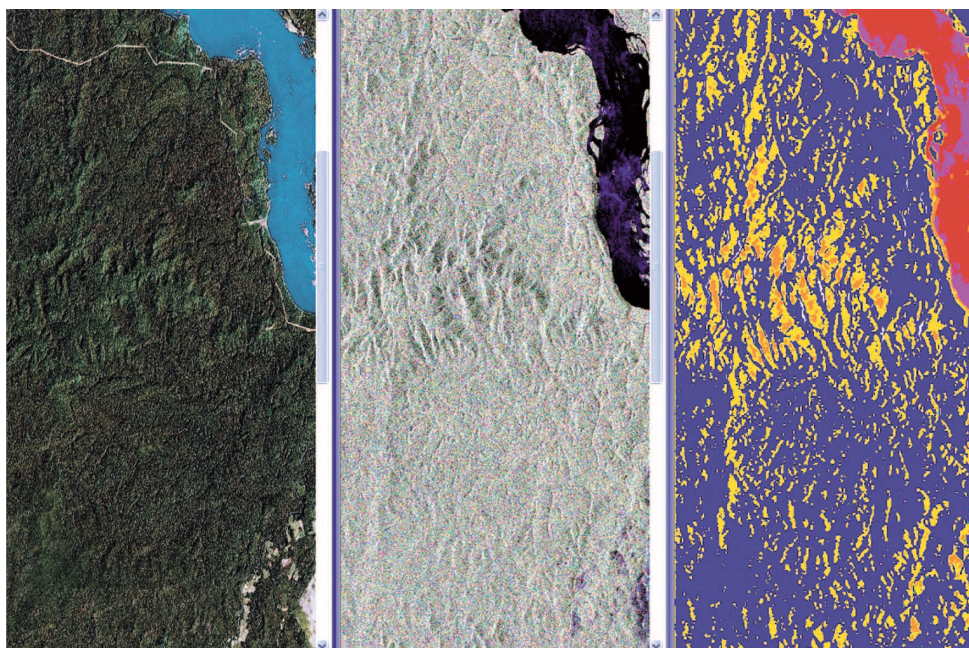


Рис. 6. Те же самые классы детектируются в области сплошного лесного массива, расположенного в холмистом районе на «дальних» от РСА склонах. (участки леса, выделенные в класс Лес-2)

5. Результаты поляриметрической классификации с обучением

5.1. Классификация РЛИ с полной поляризационной матрицей

Результаты поляриметрической классификации с обучением РЛИ с полной поляризационной матрицей с использованием классификатора Вишарта представлены на рис. 7. Начальная инициализация классов проводилась с использованием представленной выше обучающей выборки. Результаты классификации (рис. 7, справа) отображают сегментацию изображения по критерию «сходства» ковариационных матриц пикселей с ковариационными матрицами классов обучающей выборки.

Цвета отображения классов результатов классификации соответствуют цветам классов обучающей выборки, представленным выше на рис. 3. Классы, выделенные как лес-1 и лес-2 отображаются зеленым и светло-зеленым тонами. Классифицированные участки вырубки отображаются оранжевым и красным.

Рис. 7 показывает, что большая часть участков вырубки неправильно классифицируется как класс лес-2 или класс «болото». Матрица рассогласования показывает, что уровень правильной классификации не превышает 50%.

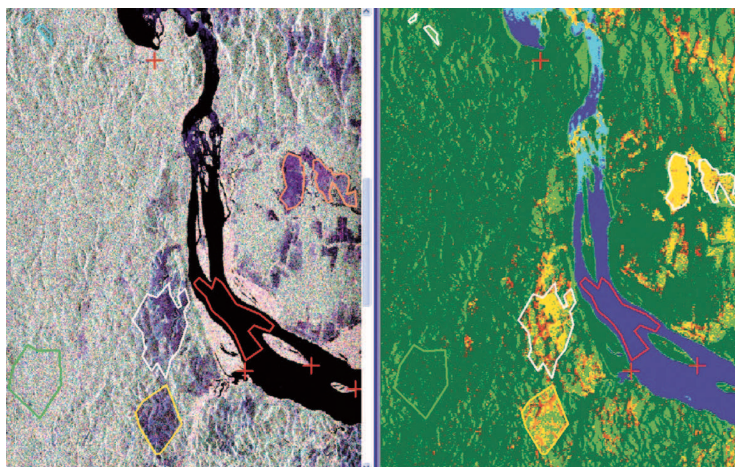


Рис. 7. Классификации с обучением кадра с полной поляризационной матрицей. Начальная инициализация классов проводилась с использованием обучающей выборки. Большая часть участков вырубки неправильно классифицируется как лес-2 или класс «болото»

Таким образом, оказалось, что в данном случае оба типа поляриметрических классификаторов (с обучением и без обучения) не позволяют провести эффективное отделение участков вырубки от участков лесного массива.

5.2. Классификация РЛИ с поляризационной матрицей из 2 компонент

Результаты поляриметрической классификации с обучением РЛИ с двумя компонентами поляризационной матрицы (НН+НV) с использованием классификатора Вишарта представлены на рис. 8. Начальная инициализация классов проводилась с использованием той же самой обучающей выборки. Цветовое отображение классов аналогично отображению, используемому на рис. 3 и 7. Участки леса (классы лес-1 и лес-2) должны отображаться зеленым и светло-зеленым, в то время, как участки вырубки должны отображаться оранжевым и красным.

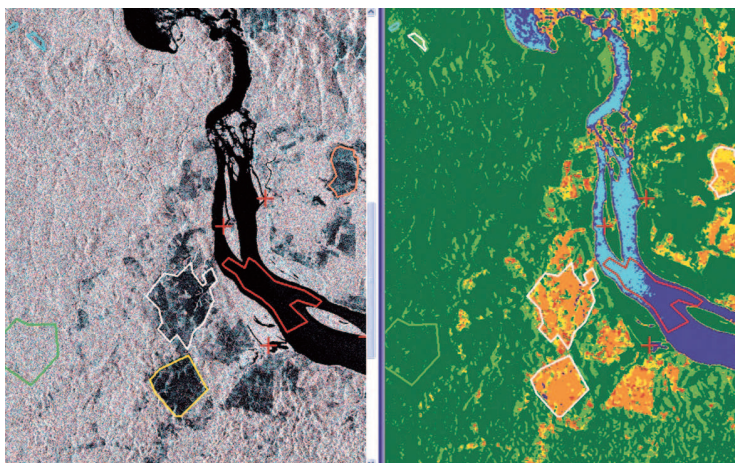


Рис. 8. Результаты поляриметрической классификации с обучением РЛИ с двумя компонентами поляризационной матрицы (НН+НV). Качество классификации существенно улучшилось. Уровень правильной классификации превышает 90%

Рис. 8, по сравнению с рис. 7, наглядно демонстрирует, что качество классификации существенно улучшилось. Участки вырубки практически полностью окрашены в оранжевый и красный цвета, что соответствует правильной классификации. Данные матрицы рассогласования показывают, что уровень правильной классификации превышает 90%. Кроме того, рис. 8 показывает, что ошибки классификации в областях леса на склонах практически исчезли. Обработка другого набора данных показала устойчивость полученного результата.

6. Заключение. Сравнение полученных результатов

В процессе сравнительного анализа поляриметрической классификации радиолокационных данных одного и того же участка был получен неожиданный результат – эффективность выделения участков вырубки по данным с поляризационной матрицей из двух компонент оказалась существенно выше, чем по данным с полной поляризационной матрицей.

Наиболее существенным различием в обрабатываемых наборах РЛ данных являлось изменение угла наблюдения в вертикальной плоскости, составляющее 25° для кадров с полной поляризационной матрицей и 39° для кадров с двумя поляризационными компонентами.

При обработке РЛ кадров, полученных под более пологими углами, было зафиксировано существенное повышение эффективности выделения участков вырубки. При этом, обработка показала, что повышение эффективности выделения устойчиво.

Для объяснения причины данного эффекта было сделано предположение, что при зондировании под крутыми углами в L диапазоне существенную роль в отраженном сигнале лесного массива играет компонента отражения от поверхности (почвы). На это дополнительно указывает тот факт, что интерферометрические пары PCA ALOS PALSAR сохраняют относительно высокую когерентность даже для участков лесных массивов.

При переходе же на более пологие углы визирования влияние компоненты отражения от поверхности в области леса снизилось, что привело к возрастанию относительной роли более специфических для леса компонент объемного рассеяния и переотражения, и позволило эффективно разделить лес и участки вырубки по поляризационным характеристикам.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения поляриметрических методов обработки радиолокационных данных PCA ALOS PALSAR для мониторинга состояния лесных массивов. В то же время, при решении данной задачи необходимо учитывать целый комплекс воздействующих факторов, – в частности, углы наблюдения объектов съемки, – влияющих на качество получаемых результатов.

Литература

1. Thiel C., Weise C., Riedel T., Schmullius C. Object Based Classification of L-band SAR Data for the Delineation of Forest Cover Maps and the Detection of Deforestation. Conference Proc OBIA-2006.
2. Quegan S., Toan T. L., Yu J.J., etc. Multitemporal ERS SAR Analysis Applied to Forest Mapping. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2000, Vol. 38, №. 2, pp 741–753

3. *J.S. Lee, M. R. Grunes and E. Pottier*, “Quantitative Comparison of Classification Capability: Fully polarimetric versus Dual- and Single polarization SAR,” *IEEE Trans. on Geoscience & Remote Sensing*, November 2001
4. *Cloude, S.R., Pottier, E.* An Entropy Based Classification Scheme for Land Applications of Polarimetric SAR// *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.—1997.—Vol. 35.—No. 1—P. 68–78.
5. *Jong-Sen Lee, K. W. Hoppel, Stephen A. Mango* Intensity and Phase Statistics of Multilook Polarimetric and Interferometric SAR Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, Vol. 32, N5, pp 1017-1028.
6. *Cloude, S.R., Pottier, E.* A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry. // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.—1996.—Vol. 34.—No. 2—P. 498–518.

Comparison of Polarimetric Classification Results Using ALOS PALSAR Data

M.Y. Dostovalov, R.V. Ermakov, T.G. Moussinians

*Research Institute of Precision Instruments, 127490, Dekabristov st. 51, Moscow, Russia,
phone: (007) 495 404-9191, 404-5347, fax: (007) 495 404-7966,
e-mail: mikhail.dostovalov@niitp.ru*

Polarimetric SAR data allow the possibility to increase the amount of information about ground objects obtained using SAR. ALOS PALSAR data combine polarimetric capabilities with relatively long wavelength. Different methods of polarimetric classification were tested to detect deforestation areas in the tropical forest using full-polarization and dual polarization data. The processing of full-polarization data showed that the intersection of reference classes degrading the effectiveness of deforestation detection using both supervised and unsupervised methods. At the same time it was founded that the quality of classification for the same areas improved significantly using dual polarization data. The main difference between two datasets is the difference in incident angles. Full polarization datasets were acquired with incident angle 25° while dual polarization datasets had the corresponding angle 39°.

Keywords: SAR, ALOS PALSAR, SAR images, polarimetric classification.