

## Наблюдаемые зависимости поляриметрических отражательных свойств лесов средних широт от погодных условий и угла обзора

Л.Н. Захарова, А.И. Захаров

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал, пл. Введенского, 1, 141190, Московская область, г. Фрязино, e-mail: ludmila@sunclass.ire.rssi.ru

*В докладе приведён анализ серии данных по двум лесным территориям, снятые радаром L-диапазона ALOSPALSAR и ALOS-2 PALSAR. Полнополяриметрический режим съёмки при различных углах обзора позволил сравнить результаты поляриметрической декомпозиции и обнаружить угловую зависимость. Показано, что для лесов умеренной полосы (ленточные боры Алтайского края) эта зависимость более ярко выражена, чем для влажных тропических лесов Амазонки. Отмечено влияние замерзания почвы и растительности на результаты поляриметрической классификации и угловую зависимость.*

*In the paper we analyze data series for two forested areas acquired by L-band radars ALOS PALSAR and ALOS-2 PALSAR. Quad-polarimetric mode for different incidence angles allows comparing results of Polarimetric decomposition and revealing the angle dependence. We showed that this dependence is more pronounced for moderate climate forests (ribbon forests in Altai Krai than for Amazon rainforest. An influence of vegetation and soil freezing on polarimetric classification and on incidence angle dependence is discussed.*

Поляриметрические декомпозиции, и, в частности, метод Клауда-Потье [1], основанный на параметризации матрицы когерентности, являются широко используемым инструментом для классификации земной поверхности.

Основным параметром для различения механизмов рассеяния в декомпозиции Клауда-Потье является угол  $\alpha$ : малые значения соответствуют поверхностному рассеянию, близкие к  $90^\circ$  — двойному переотражению, промежуточные (около  $45^\circ$ ) — дипольному типу рассеяния, характерному для растительности. Второй параметр декомпозиции — энтропия  $H$  собственных значений матрицы когерентности — является показателем наличия доминирующего механизма рассеяния. Восемь условных зон на плоскости  $H$ - $\alpha$  служат основой для классификации поверхностей (рис. 1).

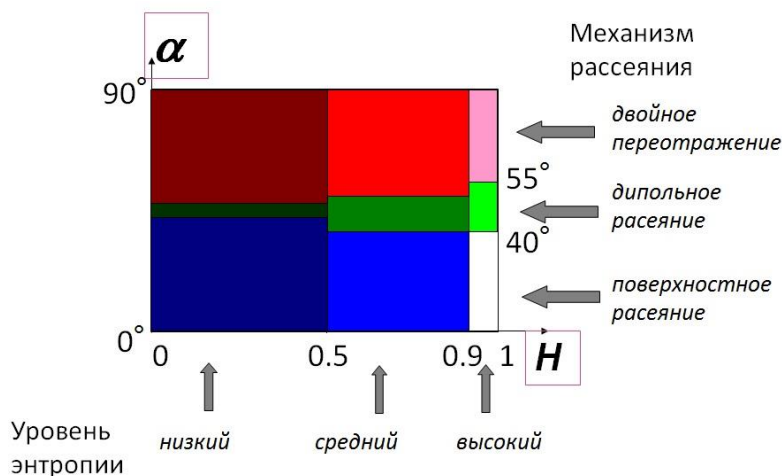


Рис. 1. Схема классификации на плоскости  $H$ - $\alpha$  [1]

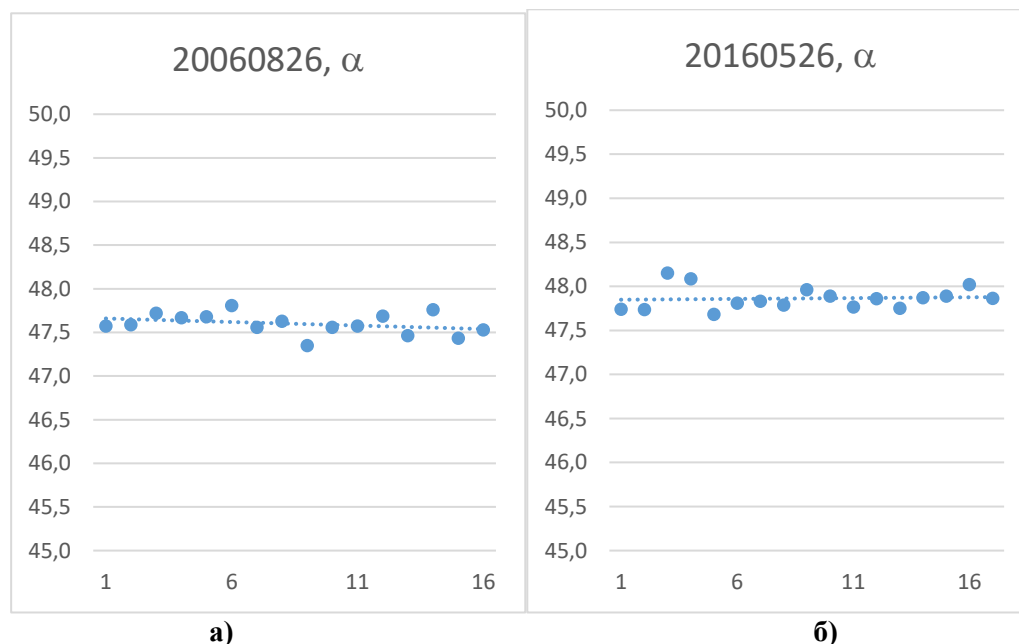
В работе использованы данные радиолокаторов L-диапазона со спутника ALOS (съёмки 2006-2011 гг.) и ALOS-2 (2016-2018 гг.) по двум территориям: леса Амазонки и ленточные боры Алтайского края.

### Амазонка

Экваториальные леса бассейна реки Амазонки в Южной Америке являются одним из широко используемых полигонов для радиометрической калибровки из-за своей протяжённости и однородности. Для этого типа поверхности в общепринятой схеме классификации характерно значение угла альфа около  $45^\circ$ : рассеяние сигнала облаком хаотически ориентированных элементарных отражателей-диполей. Колебание среднемесячных температур в этом регионе весьма небольшое, поэтому можно исключить изменения в классификации, обнаруженные для сибирских и канадских лесов в холодное время года [2]. Таким образом, можно проследить зависимость параметров декомпозиции от угла обзора по совокупности данных, полученных в разное время.

При анализе данных было обнаружено, что ширины поляриметрической сцены 20-40 км недостаточно для надёжного детектирования зависимости угла альфа от угла падения радиоволн на земную поверхность (рис.2). На рис. 2а) заметен очень слабо выраженный отрицательный тренд, на рис. 2б) линия тренда практически горизонтальна. Съёмка проводилась в диапазоне углов от  $27.4^\circ$  до  $22.8^\circ$  для данных на рис. 2а) и в диапазоне от  $37.5^\circ$  до  $40.2^\circ$  от левого края изображения до правого на рис. 2б).

В таблице 1 приведены даты съёмки и диапазоны углов всех 12 поляриметрических сеансов, выбранных для анализа. Сцены ALOS-2 (№7-12 в таблице 1) оказалось возможным выбрать так, что набор данных представляет собой весь доступный набор углов от  $25.6$  до  $40.2$ , тогда как из шести доступных сцен ALOS (№1-6) повторяющийся диапазон углов оказался в пяти датах, однако этот диапазон удачно дополняет набор данных ALOS-2 наименьшими из доступных значений ( $22.9^\circ$ - $25.1^\circ$ ).

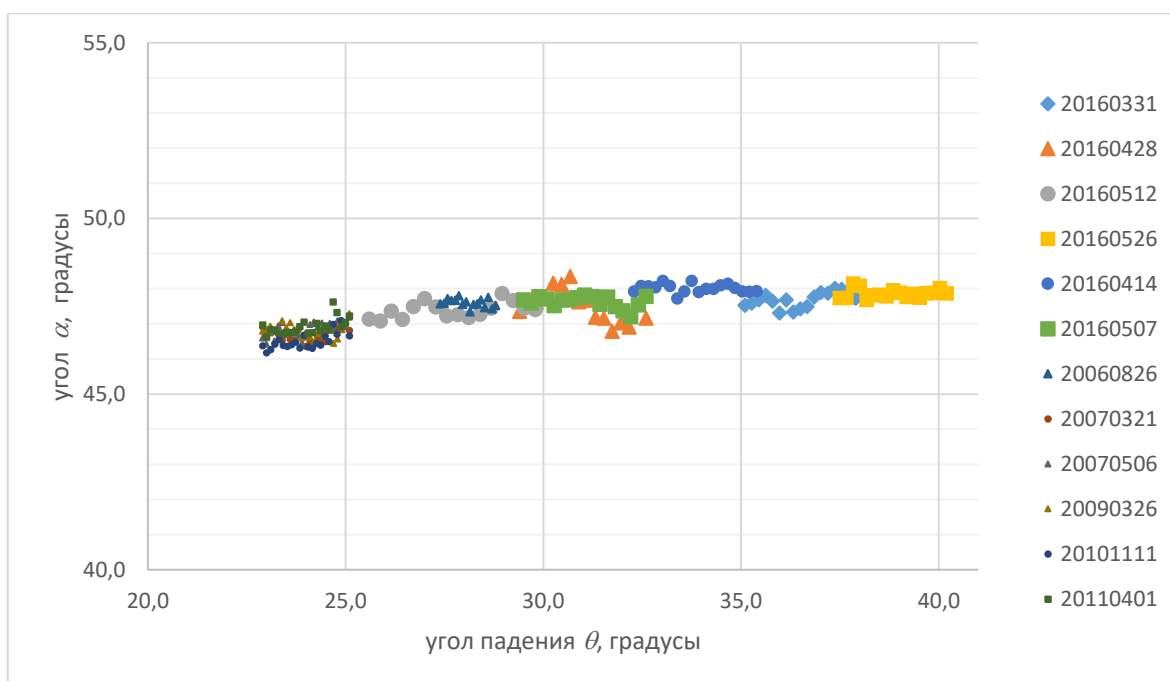


**Рис. 2. Усреднённые значения угла  $\alpha$  (в градусах), вычисленные по прямоугольным фрагментам с равномерным шагом по наклонной дальности от левого до правого поля изображения (по горизонтальной оси отложены порядковые номера фрагментов): а) по данным ALOS 26 августа 2006 г.; б) по данным ALOS-2 26 мая 2016 г.**

**Таблица 1. Даты съёмки и диапазоны углов падения для 12 сцен по Амазонке**

№	Дата, ггггммдд	Углы, в градусах
1	20060826	27.4-28.8
2	20070321	22.9-25.1
3	20070506	22.9-25.1
4	20090326	22.9-25.1
5	20101111	22.9-25.1
6	20110401	22.9-25.1
7	20160331	35.1-37.9
8	20160414	32.3-35.4
9	20160428	29.4-32.6
10	20160507	29.5-32.6
11	20160512	25.6-29.8
12	20160526	37.5-40.2

Проанализировав таким образом 12 поляриметрических сцен с максимальными различиями в углах падения от сцены к сцене (6 сцен ALOS и 6 сцен ALOS-2) по отдельности, к определённому выводу прийти сложно. Однако после объединения всех данных на одном графике получаем картину, представленную на рис. 3. Заметен рост угла  $\alpha$  от приблизительно  $46.5^\circ$  на левом краю графику до  $48^\circ$  на правом.



**Рис. 3. Амазонка: изменение угла  $\alpha$  от края до края сцены по данным ALOS и ALOS-2. Даты приведены в формате ггггммдд.**

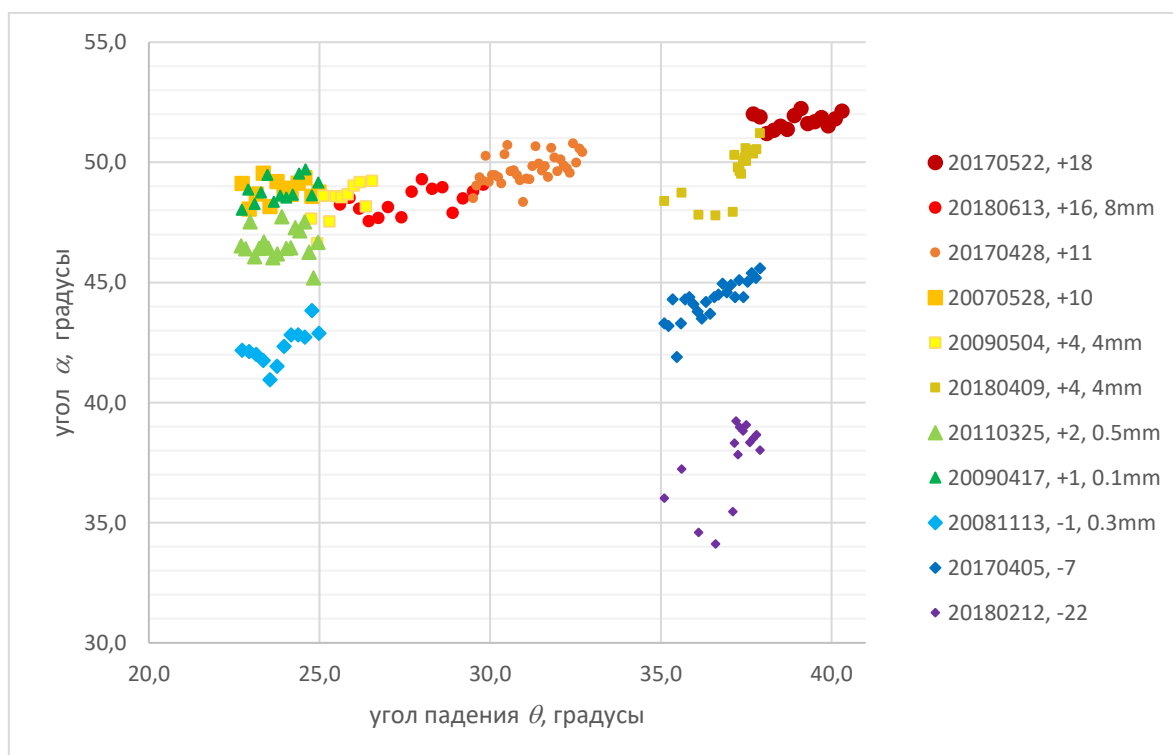
### Ленточные боры

Ленточные боры Алтайского края выбраны в качестве предмета для анализа дополнительных факторов, влияющих на зависимость угла  $\alpha$  от угла падения. Эти боры представляют собой длинные, до нескольких сотен километров, полосы соснового леса,

вытянутые в направлении с юго-запада на северо-восток. Ширина полос небольшая, составляет около 8-15 км.

Аналогично выборке по Амазонке, набор данных здесь включает сцены, снятые ALOS и ALOS-2 для всех доступных диапазонов углов падения. На рис. 4 приведён совмещённый график для всех дат.

Первое, наиболее заметное, отличие рис. 4 от рис. 3 состоит в том, что данные по борам не выстраиваются в единую ленту: есть четыре даты, выбивающиеся из общей картины. Важно отметить, что три из этих четырёх относятся к холодному времени года (20081113, 20170405 и 20180212), и метеоархив [3] сообщает, что в эти дни температура воздуха была отрицательной ( $-1^{\circ}\text{C}$ ,  $-7^{\circ}\text{C}$  и  $-22^{\circ}\text{C}$ , соответственно). Кроме этого, разброс значений на графике рис. 4 существенно больше, чем на рис. 3. Величины среднеквадратичного отклонения для Амазонки составляют 0.1 - 0.2, для ленточных боров 0.5 - 1.1, за исключением даты 20180212, где за счёт неоднородности леса отсчёты с третьего по пятый имеют более низкие значения угла  $\alpha$ , и с.к.о. составляет 2.6 (абсолютный максимум по всем датам). Те же три отсчёта заметно ниже остальных значений от 20180409, из-за чего с.к.о. этой даты, равное 1.1, является наихудшим из всех сцен, снятых при положительной температуре воздуха.



**Рис. 4. Ленточные боры: изменение угла  $\alpha$  от края до края сцены по данным ALOS и ALOS-2. Даты приведены в формате ггггммдд. В легенде представлена температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) на момент съёмки и количество выпавших осадков (мм) за сутки.**

Следующим отличием графиков на рис. 3 и 4 является более заметный рост угла  $\alpha$  как в целом по всему диапазону углов падения, так и в каждую дату в отдельности, от ближнего к радиолокатору краю сцены к дальнему. Исключив даты, в которых значение угла  $\alpha$  снижено из-за замерзания почвы и растительности, получаем рост усреднённой величины  $\alpha$  приблизительно от  $47.5^{\circ}$  до  $52^{\circ}$  при увеличении угла падения  $\theta$  от  $22.9^{\circ}$  до  $40.2^{\circ}$ .

За счёт меньшей плотности и высоты лесного полога в ленточных борях рассеяние представлено сочетанием всех трёх механизмов рассеяния, причём доля двойного

переотражения выше, чем для лесов Амазонки (так как среднее значение угла  $\alpha$  выше). Из-за участков с низкой плотностью роста деревьев поверхностный механизм рассеяния здесь также присутствует (а в зимних сеансах не только присутствует, но и преобладает; измеренные значения угла  $\alpha$  на сеансе 20180212 целиком находятся ниже уровня  $40^\circ$ , что, по классификации на рис.1, относится к поверхностному типу рассеяния). Таким образом, несмотря на то, что доля собственно объёмного рассеяния в сосновом бору ниже по сравнению с экваториальными лесами, за счёт увеличившейся доли двойного переотражения угол  $\alpha$  летом остаётся в пределах  $40^\circ$ - $55^\circ$ , позволяющей отнести их к классу растительности (средняя горизонтальная полоса на рис.1).

В зимних съёмках, при температуре  $-1^\circ\text{C}$ ,  $-7^\circ\text{C}$  и  $-22^\circ\text{C}$ , наиболее ярко выражена угловая зависимость: изменение угла  $\alpha$  от ближнего к радару края кадра до дальнего достигает 3.

### **Заключение**

Обнаружена зависимость параметра  $\alpha$  поляриметрической классификации от угла обзора. Лесные массивы умеренного климата демонстрируют большой перепад угла  $\alpha$  и большую полную вариацию как для каждой сцены в отдельности, так и для всего набора углов обзора.

### **Литература**

1. S.R. Cloude and E. Pottier, An Entropy Based Classification Scheme for Land Applications of Polarimetric SAR, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1997. Vol. 35, no. 1, pp. 68–78, January 1997.
2. Liudmila Zakharova. Changes of Scattering Mechanisms in Boreal Forests Under Freezing Conditions by Means of SAR Polarimetry. 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan, 28 July-2 Aug. 2019. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8898477.
3. Погода в странах мира. –Режим доступа: [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)