

## АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ РАДАРОВ TERRASAR-X, SENTINEL-1B, ALOS-2 PALSAR-2

В рамках выполнения заявленной в проекте задачи на 2018 г. «Обработка и анализ спутниковых архивных и текущих радиолокационных изображений снежного покрова. Обнаружение общих закономерностей и отличительных признаков для влажной, мерзлой и заснеженной почвы» были обработаны доступные изображения, полученные радаром TerraSAR-X (X-диапазон), Sentinel-1B (C-диапазон), ALOS-2 PALSAR-2 (L-диапазон) на некоторые районы Бурятии.

Данные TerraSAR-X и ALOS-2 PALSAR-2 импортировались и обрабатывались с помощью программного обеспечения ENVI и SARscape 5.4. Данные Sentinel-1 обрабатывались в программе ESA SNAP версии 6.0. Все данные подвергались процедуре некогерентного накопления сигнала (multilooking) для устранения спекл-шума. Итоговый размер пиксела на изображениях составляет 10 м. Результирующие ЭПР изображения являются геокодированными, радиометрически откалиброванными и нормализованными, значения коэффициентов обратного рассеяния пикселей выражены в децибелах.

Рассмотрим некоторые предварительные результаты анализа имеющихся радиолокационных изображений.

### **TerraSAR-X**

Дата запуска: 15 июня 2007 г.; X-диапазон (3,1 см); HH-поляризация.

Даты съемок: 19.01.2015; 04.03.2015; 17.04.2015; 20.05.2015; 03.07.2015.

На рис. 1 приведен разновременный композит территории охватывающего часть озера Байкал (залив Провал) и прибрежную территорию: R-19.01.2015, G-04.03.2015, B-03.07.2015. Преобладание синих оттенков на изображении говорит о большем обратном рассеянии в летний период (т.к. в канале синего цвета снимок за 3 июля). Желтый цвет в верхней части снимка указывает на наличие ледового покрова на поверхности залива Провал в весенне-зимний период.

На рис. 2 показаны дистанционные профили вдоль выделенного направления на тестовом поле за различные даты. Исследуемый тестовый участок выделен на изображении (рис.1) красной маркерной линией.

Из анализа поведения радарного сигнала на тестовом поле следует, что наименьшая интенсивность обратного рассеяния наблюдается в зимние месяцы (начало марта в Бурятии характеризуется отрицательными температурами) при наличии снежного покрова. В теплое время года (май, июль) уровень радарного сигнала увеличивается примерно на 2 дБ. Значительное увеличение обратного рассеяния (примерно на 5 дБ) наблюдается 17 апреля. К этому времени на открытых полях произошло таяние снега. Вследствие этого почва имеет высокую влажность, поскольку температуры воздуха и почвы в этот переходный период невысоки и, соответственно, испарение мало. Для диагностики снежного покрова необходимо иметь данные по обратному рассеянию зимой при отсутствии и наличии снежного покрова.

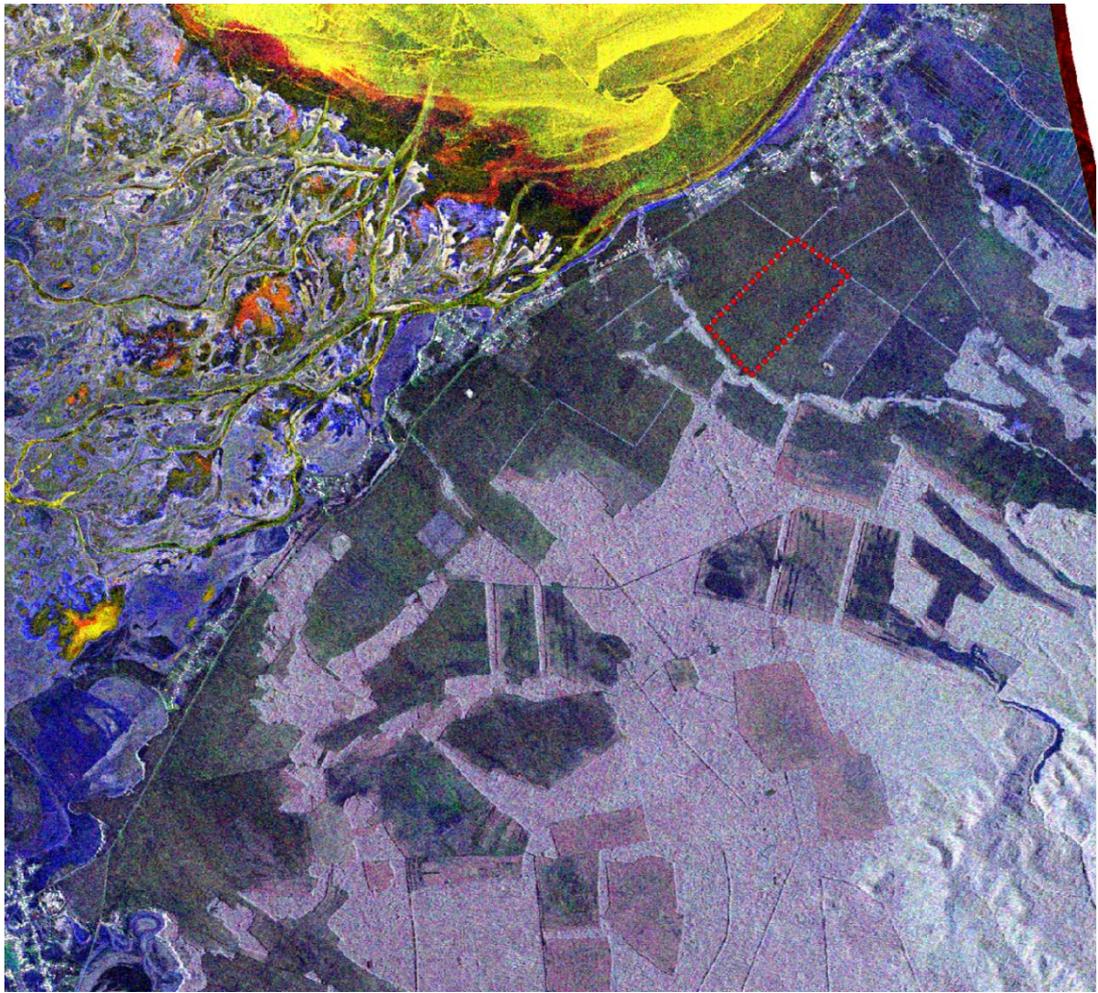


Рис. 1. Изображение территории, примыкающей к озеру Байкал в районе залива Провал (разновременный RGB композит)

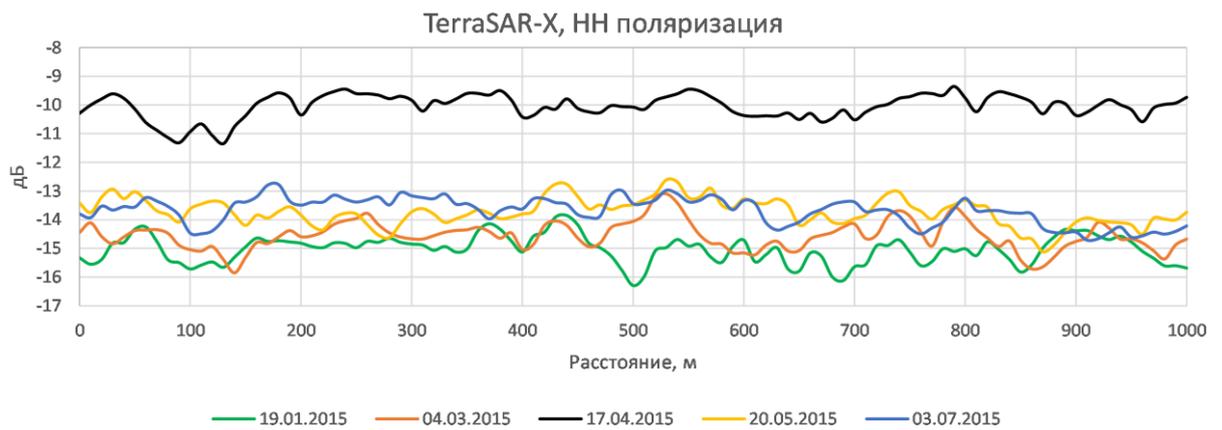


Рис. 2. Дистанционные профили коэффициента обратного рассеяния на тестовом поле в X-диапазоне

## Sentinel-1B

Дата запуска: 26 апреля 2016 г.; С-диапазон; VV-поляризация.

Даты съемок: с 21 марта по 22 декабря 2018 года с периодичностью 12 дней (за исключением 4 ноября)

21.03.2018  
02.04.2018  
14.04.2018  
26.04.2018  
08.05.2018  
20.05.2018  
01.06.2018  
13.06.2018  
25.06.2018  
07.07.2018  
19.07.2018  
31.07.2018  
12.08.2018  
24.08.2018  
05.09.2018  
17.09.2018  
29.09.2018  
11.10.2018  
23.10.2018  
16.11.2018  
28.11.2018  
10.12.2018  
22.12.2018

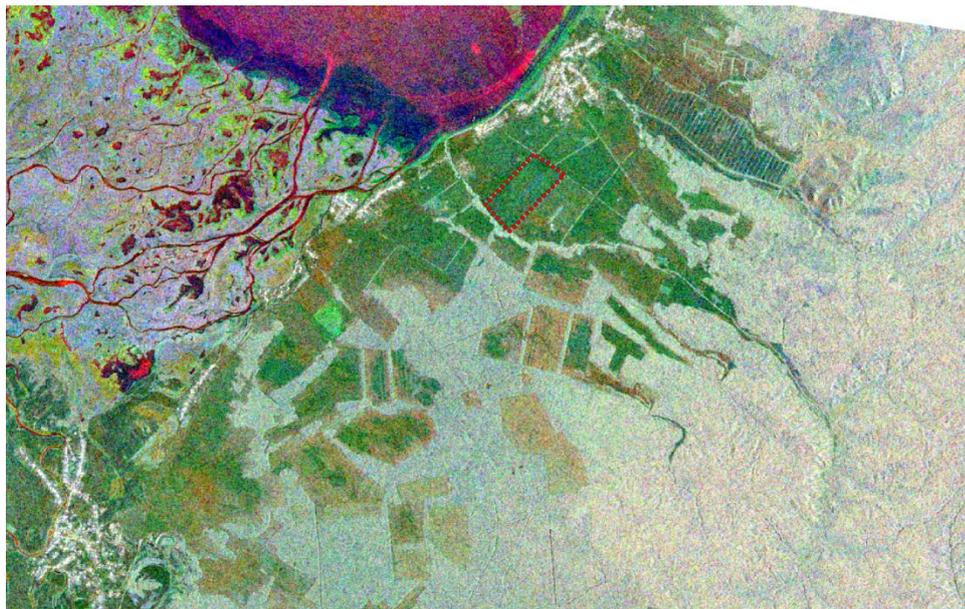


Рис. 3. Разновременный RGB композит в С-диапазоне

На рис. 3 представлен разновременный RGB композит территории, на которой расположен исследуемый участок, выделенный красной маркерной линией, на основе сочетания R-21.03.2018, G-07.07.2018, B-23.10.2018.

Преобладание зелёных оттенков на изображении говорит о большем обратном рассеянии в летний период (т.к. в канале зелёного цвета снимок за 7 июля 2018), как и для L-диапазона. Красный цвет в верхней части снимка указывает на наличие ледового покрова на поверхности залива Провал 21 марта 2018.

На рис. 4 приведены зависимости коэффициента обратного рассеяния в С-диапазоне, полученные вдоль того же направления, что и на рис. 2. Здесь также как и в X-диапазоне наименьшие уровни сигнала наблюдаются зимой при наличии снежного покрова. 23 октября 2018 наблюдается заметный скачок значений ЭПР, вызванный выпадением осадков и, соответственно, большой влажностью почвы.

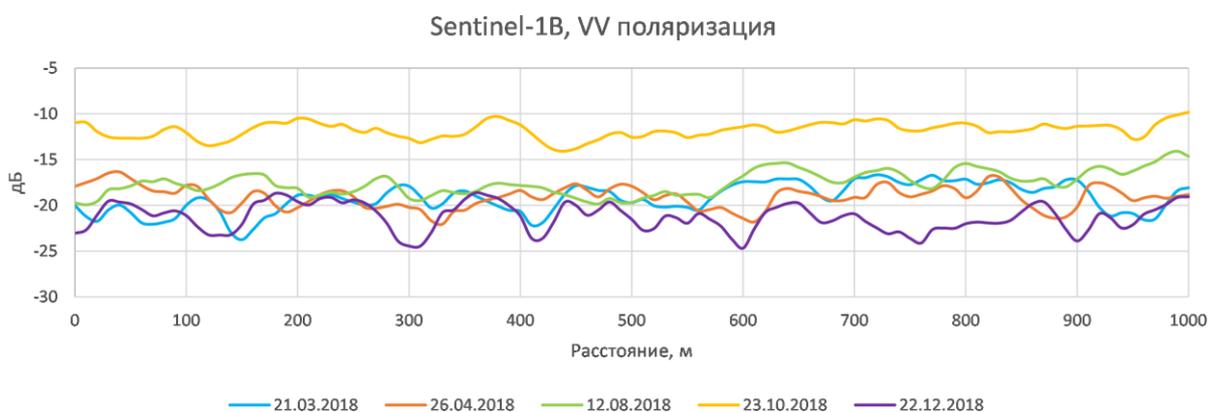


Рис. 4. Дистанционные профили коэффициента обратного рассеяния на тестовом поле в С-диапазоне

На рис 5 приведены усредненные в окне 11x11 пикселей временные зависимости обратного рассеяния на трех различных полях, разнесенных на несколько километров друг от друга. Отметим, что наблюдается достаточно согласованное поведение кривых. Характерной чертой всех кривых является определенная периодичность, связанная с изменениями влажности почвы вследствие осадков. Например, с начала сентября наблюдается заметный рост радарного рассеяния, связанный с сезоном дождей и таянием временного снежного покрова. С середины ноября и далее в зимние месяцы наблюдается стабилизация обратного рассеяния на одном уровне для каждого профиля. Летние скачки значений коэффициента обратного рассеяния связаны с выпадением осадков.

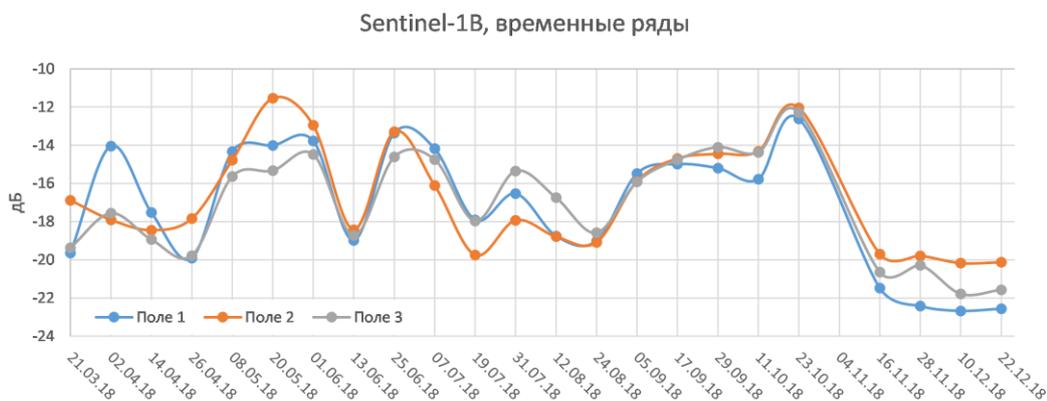


Рис. 5. Усредненные временные ряды изменения обратного рассеяния на различных тестовых полях

## ALOS-2 PALSAR-2

Дата запуска: 24 мая 2014 г; L-диапазон (23,4 см); HH-поляризация  
Даты съемки: 25.07.2018; 05.09.2018; 14.11.2018; 28.11.2018; 12.12.2018

На рис. 6 представлен разновременный композит RGB, полученный по результатам съемок R-25.07.2018, G-05.09.2018, B-12.12.2018 г. Улан-Удэ и прилегающей территории.

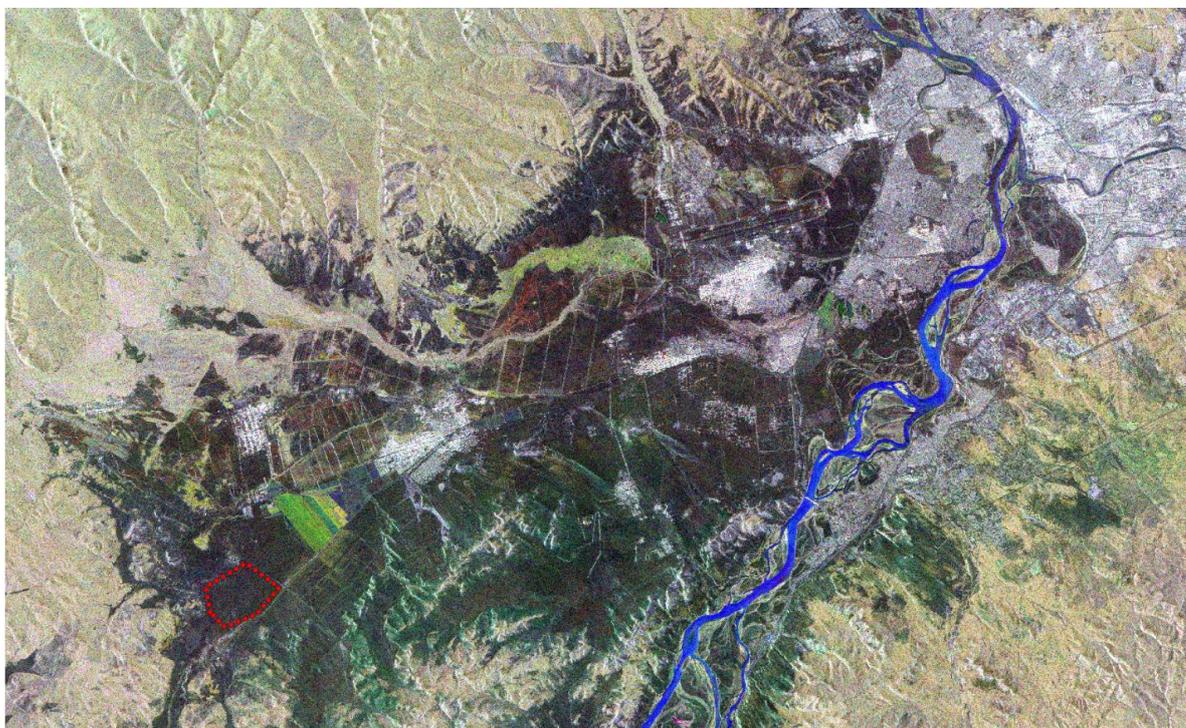


Рис. 6. Разновременный RGB композит в L-диапазоне. Г. Улан-Удэ и прилегающая территория

Преобладание темных оттенков цвета на равнинных участках говорит о меньших значениях интенсивности отраженного сигнала по сравнению с прилегающими территориями, покрытыми лесом. Синий цвет реки Селенги обусловлен образованием устойчивого шероховатого ледового покрова к 12 декабря 2018г. Тестовое поле на равнинном участке выделено красным цветом.

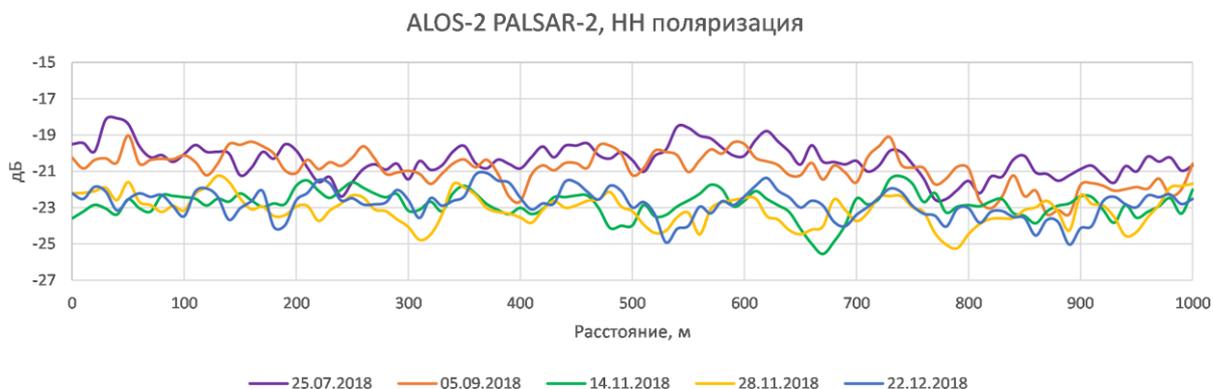


Рис. 7. Дистанционные профили коэффициента обратного рассеяния на тестовом поле в L-диапазоне

Из рис. 7, где показаны дистанционные зависимости обратного рассеяния на тестовом поле, видно, что, как и в предыдущих случаях в L-диапазоне меньшее обратное рассеяние наблюдается в зимний период.