

Том II, с. 310–314

УДК: 528.854 + 528.88

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДАРНЫХ ДАННЫХ SENTINEL-1 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТАЛЫХ/МЕРЗЛЫХ ПОЧВ В НЕСКОЛЬКИХ РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ В 2017-2018 ГОДАХ

**Н. В. Родионова**

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,  
141190, г. Фрязино, Моск. обл., пл. ак. Введенского, 1  
E-mail: rnv@ire.rssi.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается вопрос об идентификации талых/мерзлых почв в приповерхностном слое в районе Салехарда, Тикси и Норильска по радарным данным Sentinel 1B C-диапазона с поляризациями VV и VH за период 2017-2018 годов. Определение состояния мерзлой/талой почвы осуществляется тремя способами: 1) по многовременным радарным данным на основе значительного на 3-5 дБ перепада значений коэффициента обратного рассеяния (КОР) при переходе к состоянию замерзания/оттаивания почвы; 2) по нахождению порогового значения КОР, при котором температура в верхнем слое почвы опускается ниже 0°C; 3) по текстурным признакам.

**Ключевые слова:** радарные данные C-диапазона; коэффициент обратного рассеяния; температура воздуха; замерзание/оттаивание почвы

## SENTINEL-1 RADAR DATA USE TO RECOGNIZE THAWED/FROZEN SOIL STATE IN SOME RUSSIAN ARCTIC REGIONS IN 2017-2018

**N. V. Rodionova**

**Abstract.** The paper deals with the identification of thawed/frozen soils in the topsoil layer for three stations in Russia: Salekhard, Tiksi and Norilsk by using Sentinel 1B C-band radar data for the period of 2017-2018. Determination of the frozen/thawed soil state is carried out in three ways: 1) by multi-temporal radar data on the basis of 3-5 dB backscatter coefficient difference in the transition of freeze/thaw soil state; 2) by the backscatter coefficient threshold when the temperature in the topsoil layer falls below 0°C; 3) by texture features.

**Keywords:** C-band radar data; backscattering coefficient; air temperature; soil freezing/thawing state

### Введение

Находящаяся в открытом доступе радарная съемка арктических территорий России аппаратами ESA Sentinel-1 (S1) C-диапазона с поляризациями VV и VH, периодичностью съемки 12 дней, дает возможность с высоким пространственным разрешением дистанционное исследование приповерхностного состояния талых/мерзлых почв в труднодоступных районах с вечной мерзлотой. Изучение вечной мерзлоты связано в основном с наземными измерениями глубины промерзания и оттаивания почвы. Параметры мерзлых почв (МП) трудно напрямую измерить методами дистанционного зондирования (ДЗЗ). Исследования ограничены приповерхностным слоем почвы [1]. Волны сенсоров ДЗЗ проникают на глубину нескольких мм (видимые и ИК волны) или нескольких см (микроволны). Так, для Sentinel-1 с длиной волны 5.4 см глубина проникновения э/м волны в мерзлую почву с  $\epsilon' \approx 5.5$  и  $0.1 \leq \epsilon'' \leq 0.5$  равна  $4 \leq \delta r \leq 20$  см,  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$  - диэлектрическая проницаемость почвы. Достаточно подробный обзор работ, использующих ДЗЗ для исследования МП, дан в работе [1].

В данной работе рассматривается вопрос о различении талых и мерзлых почв в приповерхностном слое в районе аэропортов Салехарда и Тикси, и в районе Норильска (Талнаха) за период 2017-2018 годов.



На рис. 1(а) приведены Sentinel-2 (S2) изображения Салехарда, Тикси и Норильска (комбинация каналов 4-3-2), на рис. 1(б) даны радиолокационные изображения (РЛИ) с отмеченными положениями тестовых профилей, на рис. 1(в) показаны графики изменений температуры воздуха в градусах Цельсия за исследуемый период времени по данным gr5.ru и на рис. 1(г) приведены графики изменений среднего значения КОР в дБ по профилям для VV и VH поляризации за исследуемый период времени.

Для всех исследуемых районов коэффициент корреляции Спирмена между температурой воздуха и КОР для VH поляризации превышает значение корреляции для VV поляризации.

### Методы и результаты определения состояния мерзлой/талой почвы по радарным данным

#### Определение состояния МП по многовременным радарным данным

Для идентификация талого/мерзлого состояния почвы необходимо знать об изменениях в диэлектрической проницаемости (ДП) почвы, на которые реагирует сигнал радара. Созданы модели фазовых переходов воды от жидкого к мерзлому состоянию (и обратно). Наиболее известной является полу-эмпирическая модель Dobson et al. [2], обобщенная на отрицательные температуры Zhang et al. [3]. Показано, что при падении температуры почвы ниже  $0^{\circ}\text{C}$  наблюдается резкое уменьшение значений ДП почвы для частот от С- до  $K_u$  – диапазона, и соответствующий перепад КОР составляет 3-5 дБ [4].

Используя временной ряд S1, определим даты начала замерзания/оттаивания МП по значительным перепадам КОР и далее стабильно низким/высоким значениям  $\sigma^0$ . На рис. 2 показаны графики разности значений  $\sigma^0$  по абсолютной величине в дБ для соседних дат съемки Салехарда (а), Тикси (б) и Норильска (в), где по максимумам перепадов значений  $|\sigma^0|$  (показаны на рисунках стрелками) определяем даты начала замерзания/оттаивания почвы.

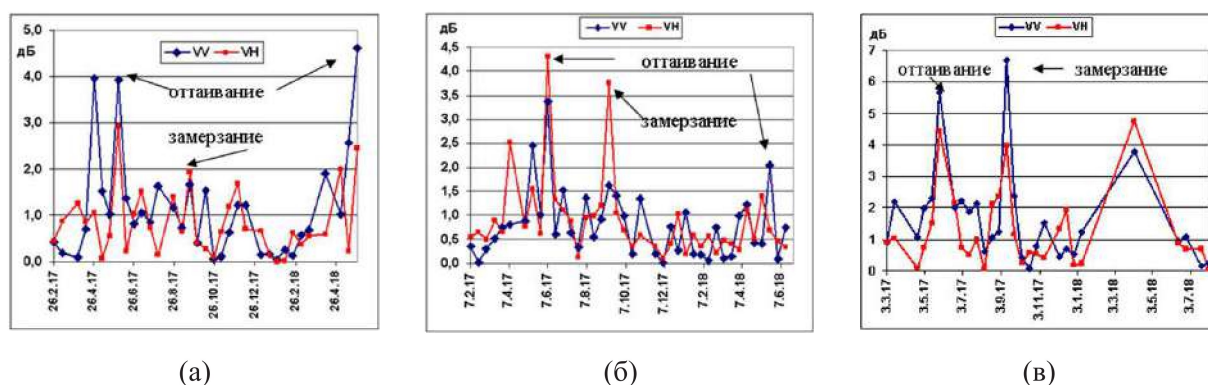


Рис. 2. Разность значений КОР в дБ для соседних дат радарной съемки.

Численные значения перепадов КОР равны 4.6, 3.4, 5.6 дБ при оттаивании почвы для VV и 2.9, 3.3, 4.4 дБ для VH поляризации, соответственно, для Салехарда, Тикси и Норильска. Похожие значения перепадов КОР получены при замерзании почвы. Используя модель Dubois et al. [2] связи КОР VV поляризации с реальной частью ДП почвы и шероховатостью поверхности, можно оценить изменение ДП почвы при перепадах КОР. Перепады реальной части ДП почвы составляют для Салехарда до 14 единиц при оттаивании и до 5 единиц при замерзании, для Тикси до 8 единиц при оттаивании и до 4 единиц при замерзании почвы, для Норильска до 14 единиц при оттаивании и до 17 единиц при замерзании почвы.

#### Определение состояния МП по фактору состояния поверхности

Воспользуемся формулой, приведенной в [6], для величины, характеризующей состояние поверхности почвы через фактор состояния поверхности (СПФ):  $\text{СПФ} = \frac{1}{2} + \frac{\sigma^0(t) - \sigma_{>5B}^0}{\sigma_{\text{лето}}^0 - \sigma_{\text{зима}}^0}$ , где  $\sigma_{\text{лето}}^0$  и  $\sigma_{\text{зима}}^0$  - средние значения КОР летом и зимой в дБ,  $\sigma^0(t)$  - текущее значение КОР,  $t$  - время. По

утверждению авторов [6], сезонные вариации СПФ сильно коррелируют с сезонными вариациями температуры почвы, принимая отрицательные значения при температуре почвы ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Сл., приповерхностный слой почвы можно классифицировать как замерзший, если значение СПФ, измеренное радаром, становится отрицательным. На рис. 3 показаны графики СПФ для Салехарда (а) и Тикси (б).

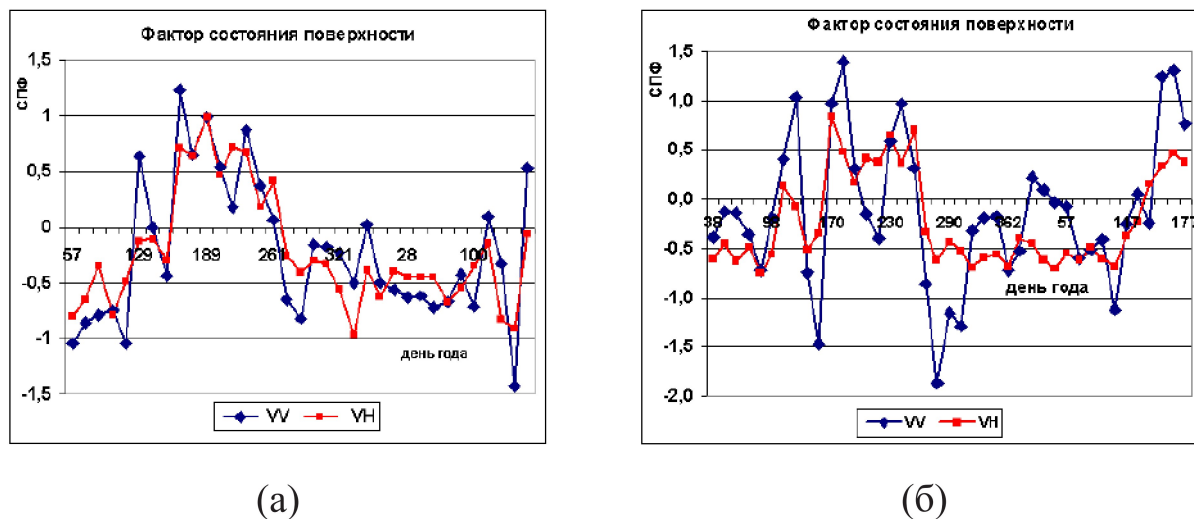


Рис. 3. Изменение СПФ для Салехарда (а) и Тикси (б).

Значение  $\sigma^0$ , при котором СПФ=0, назовем пороговым значением  $\sigma_{порог}^0$ . Для Салехарда  $\sigma_{порог}^{VV} = -14.8$  и  $\sigma_{порог}^{VH} = -20.6$ , для Тикси  $-15.6$  дБ и  $-22,8$  дБ, для Норильска  $-12.2$  дБ и  $-18.7$  дБ. Зная  $\sigma_{порог}^0$ , построим локальные карты мест мерзлой/талой почвы для района аэропорта Салехарда для дат 18.9.2017 и 12.10.2017 (замерзание почвы). Размер изображений  $2,8 \times 3$  км (рис. 4). Синий цвет - значения КОР меньше порога (мерзлая почва), желтый цвет – значения КОР больше порога (таялая почва). Отмечаем значительное увеличение площади мерзлой почвы на изображении за 12.10.2017 при замерзании почвы.

#### Определение состояния МП по текстурным признакам

В работе [7] показана возможность выделения на радарных изображениях разных типов поверхности на основе использования текстурных признаков Харалика [8]. В качестве индикатора замерзшей/оттаявшей почвы можно использовать текстурный признак «обратный момент», значение которого больше для мерзлой почвы. На рис. 4 показаны текстурные изображения после фильтрации спеклов в RGB кодировке: красный цвет – «контраст», зеленый – «энтропия», синий – «обратный момент».

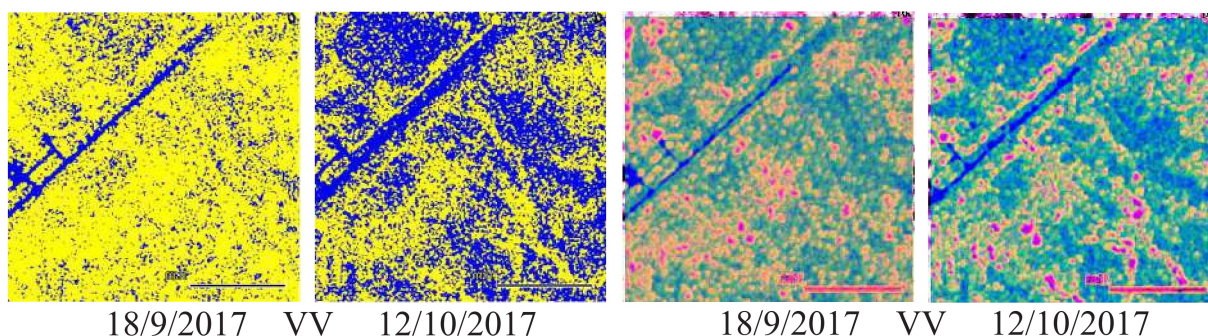


Рис. 4. Изображения после пороговой обработки (замерзание почвы) и текстурные изображения. Сравнивая изображения после пороговой обработки и текстурные изображения, отмечаем, что именно текстурный признак «обратный момент» выделяет области с мерзлой почвой.

### Заключение

В данной работе определение состояния мерзлой/талой почвы в приповерхностном слое осуществляется тремя способами: 1) по многовременным радарным данным на основе перепада значений КОР при переходе к состоянию заморзания/оттаивания почвы. Для Салехарда значения перепадов КОР составили 4.6 дБ и 2.9 дБ при оттаивании и 1.6 дБ и 1.9 дБ при заморзании почвы для VV и VH поляризации. Для Тикси - при оттаивании 4.3 дБ и 3.3 дБ, при заморзании 1.6 дБ и 3.7 дБ. Для Норильска - 5.6 дБ и 4.4 дБ при оттаивании и 6.6 дБ и 3.9 дБ при заморзании почвы; 2) по нахождению порогового значения КОР, при котором температура в верхнем слое почвы опускается ниже 0<sup>0</sup>С, что позволяет построить локальные карты мерзлой/талой почвы в окрестности тестовых участков; 3) по использованию текстурного признака Харалика. «обратный момент» как индикатора участков с мерзлой почвой.

### Список литературы

1. Duguay C.R., Zhang T., Leverington D.W., Romanovsky V.E.. Satellite remote sensing of permafrost and seasonally frozen ground// Rem. Sens. of Northern hydrology, geophysical monograph series. – 2005.– 163. – P. 91–117.
2. Dobson M.C., Ulaby F.T., Hallikainen M.T., El-Rayes M.A. Microwave dielectric behavior of wet soil Part II: Dielectric mixing models// IEEE Trans. GRS. – 1985. – GE-23. – P. 35–46.
3. Zhang L., Shi J., Zhang Z., Zhao K. The estimation of dielectric constant of frozen soil-water mixture at microwave bands// Proc. IGARSS'2003. CityplaceToulouse, 21-25 July 2003. – P. 608–611.
4. Khaldoune J., Van Bochove E., Bernier M., Nolin M.C. Mapping agricultural frozen soil on the watershed scale using remote sensing data// Appl. Environment. Soil Sci. – 2011.- Article ID 193237. – P. 1–16. doi: 10.1155/2011/193237.
5. Dubois P.C., van Zyl J.J., Engman T. Measuring soil moisture with imaging radars// IEEE Trans. GRS. – 1995. – Vol. 33, № 4. – P. 916-926.
6. Mironov V.L., Muzalevsky K.V. Spaceborne radar monitoring of soil freezing/thawing processes in the arctic tundra// Russian Physics Journal. – 2013. – Vol. 55(8). – P. 899–902.
7. Родионова Н.В. Классификация поверхности на поляриметрических РЛИ с использованием текстуры и разложения по механизмам рассеяния// ИЗЖ. – 2007. – № 34. – С. 8–14.
8. Haralick R.M. Statistical and structural approaches to texture// Proc. IEEE. – 1979. Vol.– 67(5). – P. 786–804.