

Мониторинг многолетней динамики радиотеплового излучения локальных областей тундры по данным радиометра AMSR-E

А.Г. Гранков¹, А.А. Мильшин¹, Н.К. Шелобанова¹, И.В. Черный²

¹Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

Пл. Ак. Введенского, д.1, г. Фрязино Московской области 141190, amilshin@list.ru

²Научно-технологический центр "Космонит" ОА "Российские космические системы". 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, icherny@cpi.space.ru

Представлены экспериментальные среднемесячные данные радиоизлучения тундры в сантиметровом диапазоне. Исходными данными служат измерения яркостных температур (ЯТ) тундры радиометром AMSR-E на частоте 6.9 ГГц за 2002 - 2011 гг. и радиометром AMSR2 на частоте 6.9 ГГц за период 2014 – 2017 гг. Рассмотрены сезонные вариации среднего значения яркостной температуры, поляризационного контраста, коэффициента поляризации радиоизлучения тундры в локальных точках.

Experimental average monthly data of tundra radio emission in the centimeter range are presented. The initial data are measurements of the brightness temperatures (BT) of the tundra with an AMSR-E radiometer at a frequency of 6.9 GHz for 2002–2011 and an AMSR2 radiometer at 6.9 GHz for the period 2014-2017. Seasonal variations of the mean value of the brightness temperature, polarization contrast, polarization coefficient of tundra radio emission at local points are considered.

Введение

Основной целью наших исследований является поиск индикаторов фазового состояния поверхности тундры (мерзлое состояние, таяние, безморозное состояние и замерзание) по данным спутниковых пассивных СВЧ измерений.

В работе [1] отмечается, что время максимального промерзания грунтов (как и время их протаивания) в сезонном и многолетнем ходе заметно запаздывает относительно изменения температуры на поверхности грунтов. Для изучения фазовых особенностей пространственно-временной динамики радиотеплового излучения тундры в работах [2-4] была рассмотрена сезонная и многолетняя динамика радиотеплового излучения тундры в западном и восточном полушариях по данным радиометра AMSR-E на частотах 6.9, 18.7 и 36.5 ГГц. Пространственное распределение тундры по полушария приводится в работе [3]. Аналогичные исследования были выполнены с использованием данных радиометра МТВЗА-ГЯ на частотах 10.6, 18.7 и 36.7 ГГц за период 2014-2017 гг. [5, 6]. Основными факторами, по данным моделирования, определяющими сезонный ход яркостных температур в дециметровом и сантиметровом диапазонах, являются пространственно-временные вариации влажности и температуры верхнего слоя почвы. Экспериментальные данные [2-6] указывают на более сложный механизм формирования радиотеплового излучения, он определяется фазовыми изменениями состояния поверхности тундры в течение года. В работах [2-6] были получены интегральные оценки средних и максимальных значений ЯТ, скв ЯТ и коэффициента вариаций ЯТ на трех частотах и двух поляризации, осредненные по всей площади тундры в обоих полушариях. Данные анализа сезонной динамики указывают на различия в механизме формирования радиотеплового поля тундры в западном и восточном полушарии. Изменение фазового состояния тундры

(таяние и замерзание) наиболее сильно проявляется на частоте 6.9 и 10.6 ГГц. Радиотепловое поле на горизонтальной поляризации наиболее чувствительно к изменению физических параметров системы атмосфера-тундра.

В настоящей работе, в отличие от работ [2-6], рассматривается взаимосвязь изменения фазового состояния поверхности тундры с радиотепловым излучением среды на локальных масштабах, в пикселях размером 25x25 км, там, где расположены метеостанции. В качестве индикаторов изменения фазового состояния тундры используются среднее значение ЯТ, поляризационный контраст РС, коэффициент поляризации PI на частоте 6.9 ГГц.

Сезонные вариации ЯТ многолетнего радиотеплового излучения локальных областей тундры

К вопросу о выборе точек для исследования. Из 30 метеостанций, входящих в ВМО (Всемирная метеорологическая организация) и расположенных на территории тундры восточного полушария, мы отобрали 9 станций. В качестве критерия мы отбирали участки, не содержащие значительные области с поверхностной водой. Среднемесячная ЯТ таких участков должна следовать на вертикальной и горизонтальной поляризации за ходом физической температуры поверхностного слоя тундры. В таблице приведены следующие параметры метеостанций – номер метеостанции в выборке из 30 штук, название, широта и долгота, номер станции в ВМО. Столбцы с названиями «Станции V, H» содержат отобранные метеостанции, соответствующие принимаемому излучению на вертикальной и горизонтальной поляризации.

Таблица. Параметры метеостанций

Номер в выборке	Название станции	Широта	Долгота	Номер станции	Станции V	Станции H
6	Волочанка	71	94.6	20982	+	+
7	Крести	70.9	89.9	20973	+	+
11	Норильск_Алыкель	69.3	87.2	23078		+
13	Мурманск_город	69	33.1	22113		+
17	Воркута	67.5	64	23226	+	+
20	Среднеколымск	67.45	153	25206	+	
21	Илирней	67.2	168	25248	+	+
24	Мухоморное	66.4	173.3	25356	+	+
27	Печора	65.1	57.1	23418		+

Особенностью ряда метеостанций является то, что они расположены в узком широтном поясе от 65 до 71 градуса. На рис.1 кривые можно разбить на 3 группы. К первой относится зеленая кривая 17 на станции в Воркуте. Ко второй группе относятся кривые 21 и 24 на станциях Илирней и Мухоморное, разнесенные по долготе на 5.3°. К третьей группе относятся кривые 6, 7 и 20 на станциях Волочанка, Крести и Среднеколымск. Станция Среднеколымск расположена на 50 градусов восточнее Волочанки и Крести, что проявляется в существенно более низкой зимней температуре.

Пик максимальной ЯТ наблюдается в июле, исключение составляет ЯТ в Волочанке, где майский пик ЯТ превышает приблизительно на 1К июльский пик. Наименьший сезонный контраст ЯТ наблюдается на станции Волочанка и Воркута и составляет 10К. Наибольший сезонный контраст ЯТ отмечается на станциях Среднеколымск, Илирней и Мухоморное и составляет 20К.

Кривые на рис.2 так же разбиваем на 3 группы. К первой группе относится кривая 27, станция Печора. Ко второй группе относятся уже три кривые 17, 21 и 24. Это метеостанции Воркута, Илирней и Мухоморное, причем Воркута отстоит более, чем на 100° западнее станций Илирней и Мухоморное. К третьей группе относятся кривые 7, 11 и 13, что соответствует метеостанциям Крести, Норильск-Алыкель и Мурманск-город.

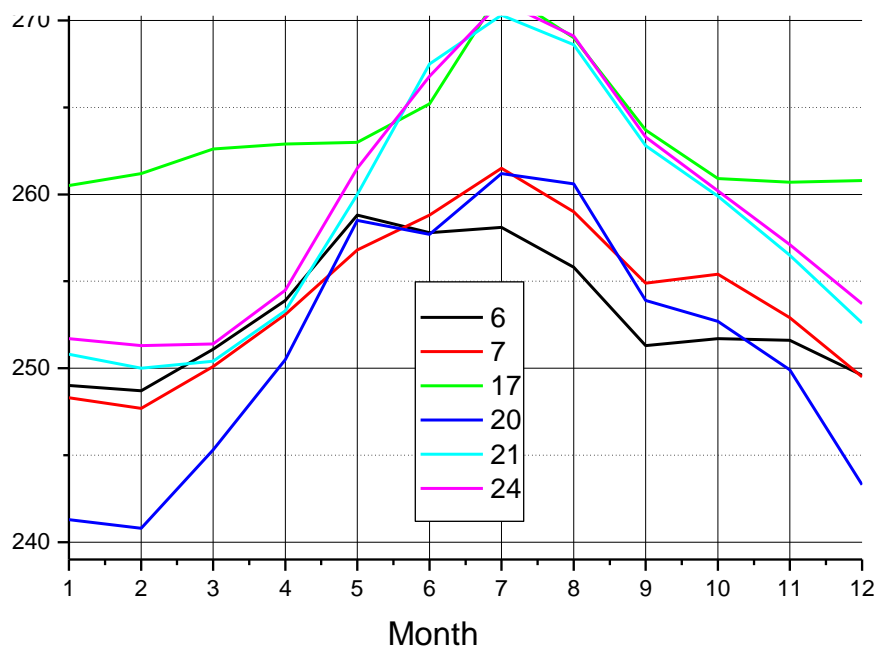


Рис.1. Сезонная многолетняя динамика радиотеплового излучения тундры на вертикальной поляризации канала 06V в локальных точках

Пик максимальной ЯТ наблюдается в июле. Для кривых 17, 21, 24 и 27 он составляет $263\text{K} \div 267\text{K}$, а для кривых 7, 11 и 13 – $243\text{K} \div 247\text{K}$. Наименьший сезонный контраст ЯТ наблюдается на станции Мурманск-город и составляет 10К. Наибольший сезонный контраст ЯТ отмечается на станциях Воркута и Мухоморное и составляет 30К.

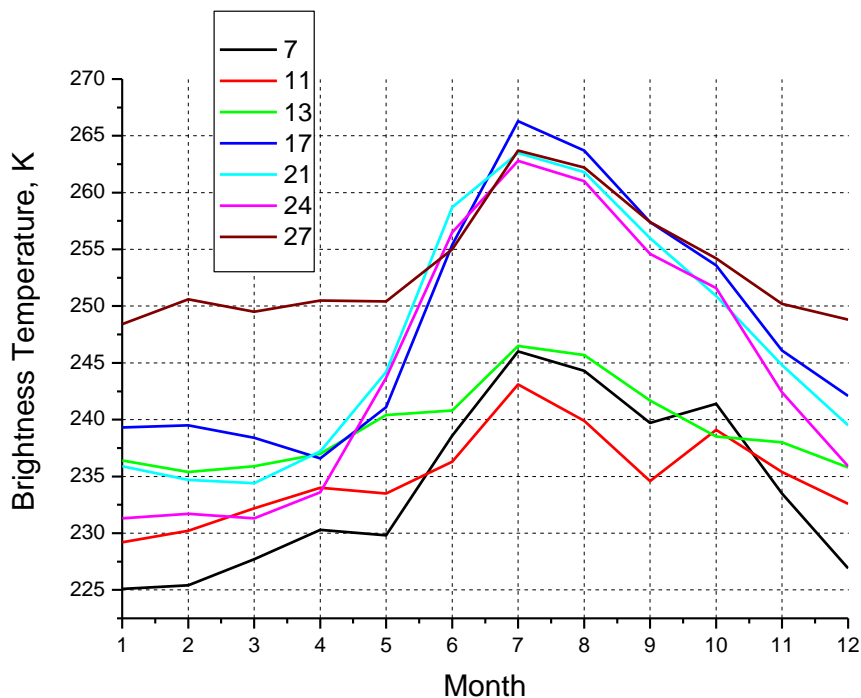


Рис.2. Сезонная многолетняя динамика радиотеплового излучения тундры на горизонтальной поляризации канала 06Н в локальных точках

Сезонные вариации поляризационного контраста, коэффициента поляризации многолетнего радиотеплового излучения локальных областей тундры

Поляризационные измерения позволяют четко фиксировать изменения фазового состояния природной среды. На рис.3 представлен годовой ход поляризационного контраста измеренных яркостных температур $PC = T_V^B - T_H^B$ на частоте 6.9 (06V, 06H) ГГц. Наибольшие сезонные изменения контраста ЯТ около 20К наблюдаются в Воркуте, кривая 17, а наименьшие сезонные изменения контраста ЯТ около 9К наблюдаются в Илирнее, кривая 21. Для кривой 7 (станция Крести) отметим два сезонных экстремума – положительный в мае и отрицательный в октябре. На станциях Воркута и Мухоморное (кривые 17 и 24) процесс таяния происходит в апреле, а на станциях Крести и Илирней (кривые 7, 21) в мае. Процесс замерзания наступает на станции Илирней в сентябре месяце, а на остальных станциях в октябре. Для всех кривых, характерен плавный сезонный ход с минимумом контраста в летний период (незамерзшее состояние почвы) и составляет от 5 до 14К. Поляризационный контраст в зимний период и в периоды таяния и замерзания более чем вдвое превышает поляризационный контраст в летний период.

На рис.4 представлены многолетние сезонные вариации среднемесячных значений PI восточной частей тундры. PI определяется как:

$$PI = \frac{T_V^B - T_H^B}{T_V^B + T_H^B}$$

и характеризует поляризационные свойства излучаемой среды – системы атмосфера-тундра. PI является производным параметром от поляризационного контраста. Поэтому вид кривых на рис.3 и 4 является подобным.

Наибольшее значение PI наблюдается в период ноябрь-декабрь-май и составляет $0.03 \div 0.055$. PI снижается по величине в период таяния/замерзания и имеет наименьшее значение в неморозный летне-осенний период и составляет $0.01 \div 0.03$. В остальном характер поведения кривых полностью повторяет поведение кривых на рис.3.

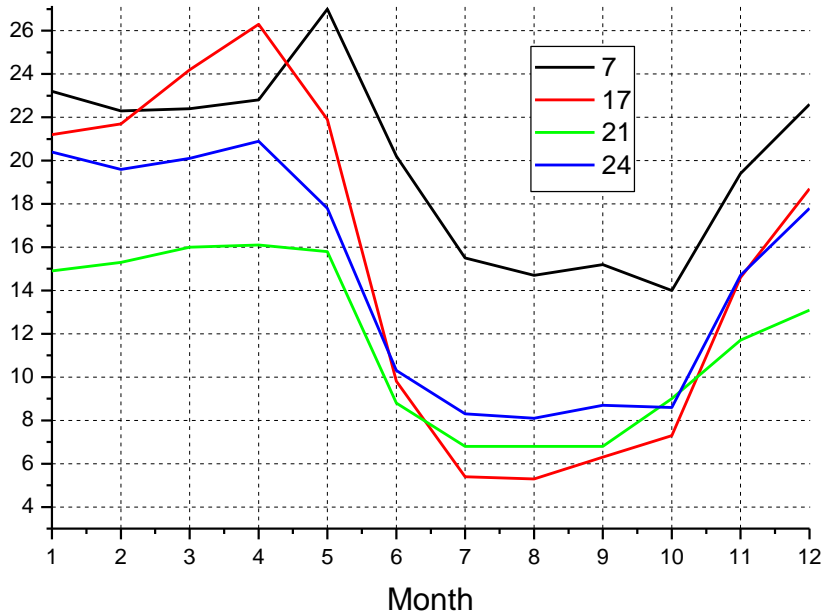


Рис.3. Сезонная многолетняя динамика поляризационного контраста тундры

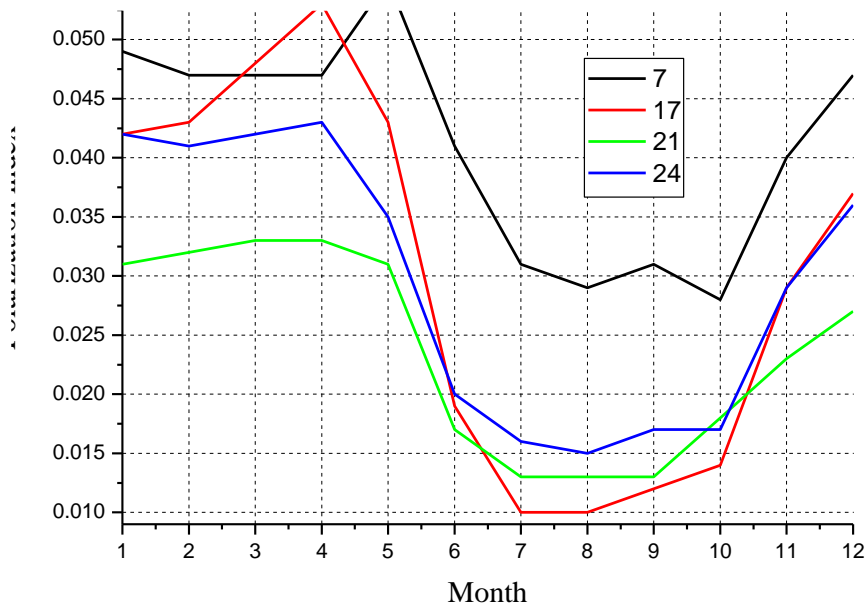


Рис.4. Сезонная многолетняя динамика коэффициента поляризации PI

Заключение

В работе были использованы суточные ЯТ из архивных данных радиометра AMSR-E за период 2002 - 2011 гг. и радиометра AMSR2 за период 2014 - 2017 гг. Были

обработаны данные AMSR-E и AMSR2 на частотах 6.9 ГГц на горизонтальной и вертикальной поляризации для тундры в восточном полушарии.

Получены сезонные среднемесячные оценки ЯТ, поляризационного контраста, коэффициента поляризации за указанные выше периоды.

Средняя ЯТ, поляризационный контраст, коэффициент поляризации могут быть использованы как индикаторы фазового состояния поверхности тундры.

Поляризационные данные лучше отслеживают период таяния/замерзания.

Мы благодарим центр NSIDC и HTЦ Космонит за предоставленные спутниковые данные ЯТ радиометров AMSR-E и AMSR2.

Литература

1. Шполянская Н.А. Вечная мерзлота и глобальные изменения климата. Москва-Ижевск: 2010. - 200 с.
2. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Черный И.В., Чухланцев А.А. Исследование пространственной и временной динамики радиотеплового излучения мерзлых почв и тундры на суточных, месячных и годовых масштабах // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2018. №7. С.97-125
3. Гранков А. Г., Мильшин А. А. Сезонная динамика радиотеплового излучения тундры в сантиметровом диапазоне по данным спутникового радиометра AMSR-E // Межотраслевой институт «Наука и образование». Ежемесячный научный ж-л. 2015. 8(15). - С.50-55
4. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К. Многолетняя динамика радиотеплового излучения системы атмосфера-тундра по данным радиометра AMSR-E // Доклады РНТОРЭС им. А.С.Попова. Серия: Проблемы экоинформатики. Выпуск: XII. Москва, 6-8 декабря 2016. - С. 94-98.
5. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Ямпольская Е.А. Статистические особенности многолетней динамики радиотеплового излучения системы атмосфера-тундра в микроволновом диапазоне // VII Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской научной конференции. –Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВЛГУ, 2017. –465 С. ISSN 2304-0297 (CD-ROM). - С.95-100.
6. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Черный И.В., Ямпольская Е.А. Фазовые особенности сезонной динамики радиотеплового излучения системы атмосфера-тундра по данным радиометра МТВ3А-ГЯ спутника МЕТЕОР-М №2 // Тезисы докладов. 15 Всероссийская конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2017 г. - С.377.
7. Zuerndorfer B.M., England A.W., Dobson M.C. and Ulaby F.T. Mapping freeze/thaw boundaries with SMMR data // Agricultural and Forest Meteorology, 52. 1990. - P.199-225.
8. Zhao T. J. et al. A new soil freeze/thaw discriminant algorithm using AMSR-E passive microwave imagery // Hydrol. Process., Vol. 25, No. 11. 2011. - P. 1704–1716.
9. Linna Chai, Lixin Zhang, Xiaoran Lv, Zhenguo Hao, and Shuzhen Liu. An Investigation Into the Feasibility of Using Passive Microwave Remote Sensing to Monitor Freeze/Thaw Erosion in China // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, Vol. 8. No.9. 2015. - P.4460-4469.