

Крупномасштабное радиотепловое излучение тундры в дециметровом диапазоне

А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Н.К. Шелобанова

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук 141190, Московская область, г. Фрязино, Пл. Ак. Введенского, д.1, amilshin@list.ru

Представлены результаты моделирования радиоизлучения тундры в дециметровом диапазоне длин волн. Рассмотрены спектральные и сезонные особенности радиоизлучения тундры на локальных и глобальных масштабах.

Results of modeling of a tundra emission at decimeter band are submitted. Spectral and seasonal features of a radio emission of tundra on local and global scales are considered.

В докладе рассматриваются особенности формирования крупномасштабного (разрешение $4^\circ \times 5^\circ$ по широте и долготе) радиотеплового излучения тундры в дециметровом диапазоне. Анализ базируется на разрабатываемой многослойной модели глобального крупномасштабного радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне радиоволн (10-100 см) [1-8]. Модель позволяет исследовать механизм формирования радиотеплового излучения Земли в диапазоне длин волн 10-100 см и учитывает вклад в глобальное радиоизлучение Земли различных природных сред: водной поверхности, почв и растительных покровов различных типов, тропосферы, ионосферы и космического радиоизлучения. Данная модель позволяет оптимизировать выбор новых спектральных областей перспективных спутниковых радиометров L - и P - диапазонов, оценить потенциал их использования в климатологических задачах.

Моделирование радиотеплового излучения тундры выполнено с использованием трехслойной плоскостной модели [5]. Нижний слой представляет вечную мерзлоту толщиной более 10 м. Средний слой моделирует деятельный горизонт мерзлоты толщиной 15-200 см в зависимости от механического состава подстилающих пород. Верхний слой моделирует тундровую растительность. Для арктической подзоны тундры характерен мозаичный покров, состоящий из осоково-кустарничково-моховых и кустарничково-моховых сообществ, в подзоне субарктических тундр преобладают моховые и кустарничковые тундровые сообщества. Фитомасса тундровой растительности задавалась в пределах $0.4-1.9 \text{ кг/м}^2$. Относительная доля растительности в моделируемой ячейке определялась на основании одноградусных карт типов растительности, полученных по данным измерений радиометром AVHRR в рамках проекта ISLSCP. Для определения состава почв в моделируемой ячейке применялись карты типов почв с одноградусным разрешением, используемые в FAO/UNESCO.

Расчеты вариаций радиационных характеристик - КДП, коэффициента излучения и радиояркостной температуры (ЯТ) выполнены на трех длинах волн - 21, 50 и 75 см. При моделировании использовались данные о среднемесячных значениях поверхностной температуры и влажности почв из архива NCEP/NCAR на горизонтах 2-10 и 10-100 см [4]. На рисунках 1, 2 представлены результаты моделирования, показывающие наличие спектрально-поляризационных вариаций.

Пример моделирования пространственного распределения радиоизлучения тундры на волне 21 и 75 см приведен на рис.3. На рис.3а показано распределение тундровой зоны в модели глобального радиоизлучения Земли для системы почва –

растительность – атмосфера - космос (СПРАК). Координаты границ тундровой зоны составляют: левый верхний угол (74° с.ш., 180° з.д.) - правый нижний угол (54° с.ш., 180° в.д.).

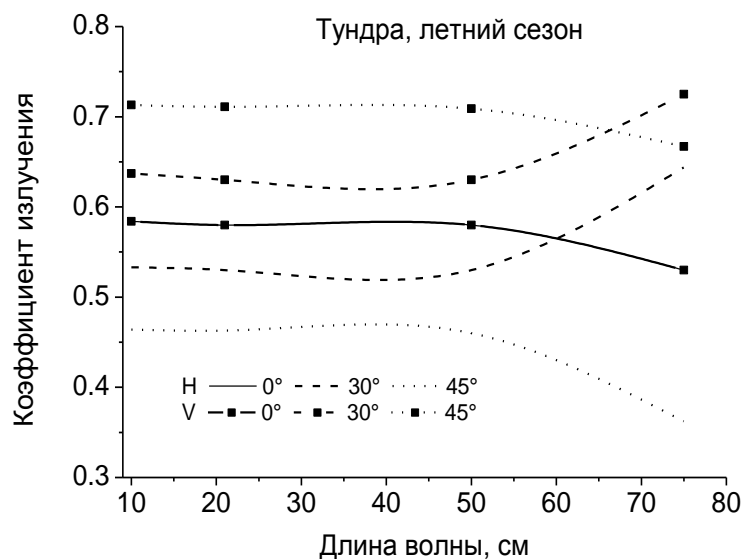


Рис. 1. Расчетная спектральная зависимость коэффициента излучения тундровой поверхности в летний сезон на вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризациях

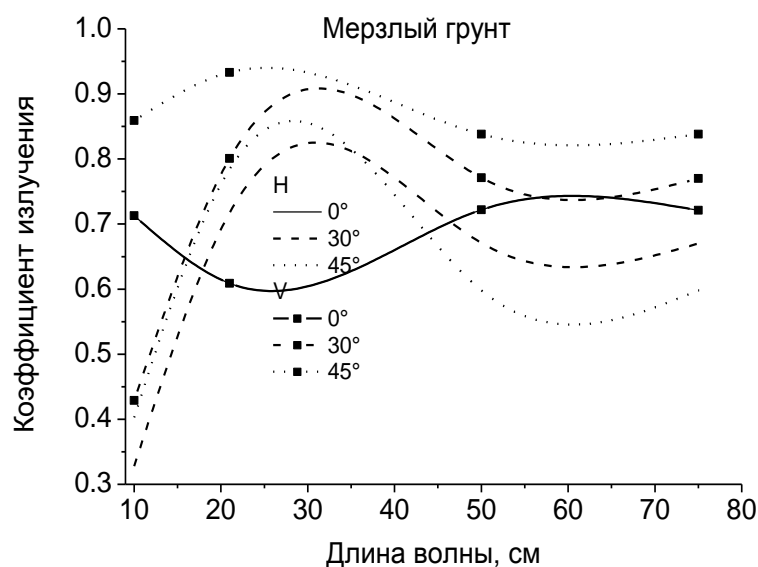
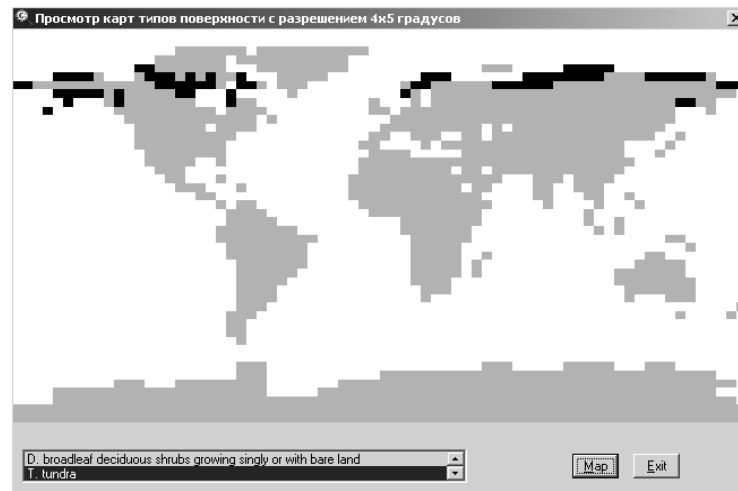


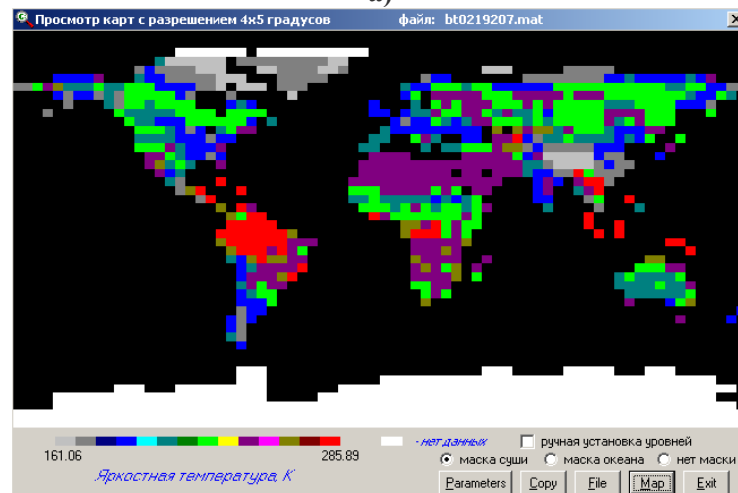
Рис. 2. Расчетная спектральная зависимость коэффициента излучения мерзлого грунта на вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризациях.

Столь существенный пространственный разброс зоны тундры предполагает учет при анализе пространственной динамики радиотеплового излучения основных климатически значащих параметров – влажности почвы, ее температуры и температуры растительного полога. Поскольку температура растительного полога в модели принята равной температуре атмосферы на высоте 2 м, мы выполнили сравнительный анализ этой температуры и температуры поверхности суши. Анализ показал несущественные

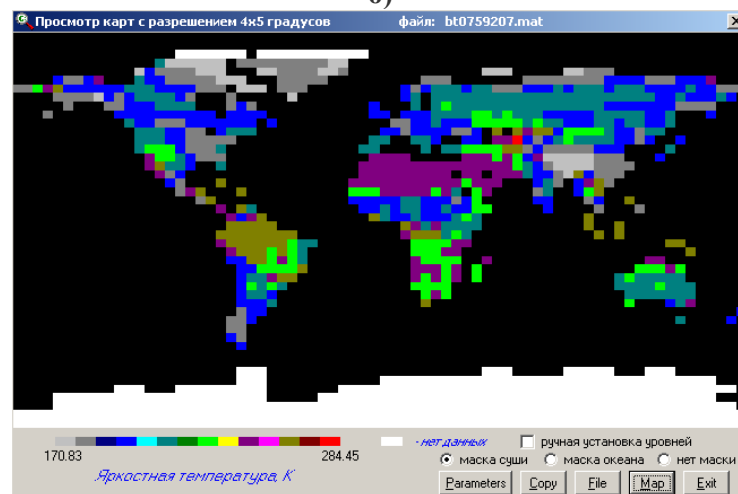
различия, поэтому будем анализировать только температуру суши. Результаты вариаций сведены в таб.1: в первой колонке среднее значение, во второй – среднеквадратическое значение, в третьей – минимальное значение, в четвертой – максимальное значение среднемесячной температуры.



а)



б)



в)

Рис. 3. Пространственное распределение ЯТ СПРАК по данным моделирования на волне 21 см (б) и 75 см (в) в июле 1992 г.

Таблица 1. Пространственные вариации температуры тундры в июле 1992 г.

\hat{T} , К	$\sigma(T)$, К	T_{\min} , К	T_{\max} , К
282.9	3.5	274	288.5

Таблица 2. Пространственные вариации влажности поверхности тундры в июле 1992 г.

\hat{W} , г/см ³	$\sigma(W)$, г/см ³	W_{\min} , г/см ³	W_{\max} , г/см ³	$\delta(W)$, %
0.31	0.034	0.25	0.36	11

Результаты вариаций среднемесячных значений влажности сведены в таб.2. В колонке 1 приведены средние значения параметра, в колонке 2 его среднеквадратическое значение и в колонках 3 и 4, соответственно, минимальное и максимальное значение параметра и в колонке 5 для влажности коэффициент вариаций. Коэффициент вариации $\delta(W) = \sigma(W)/\hat{W}$ (отношение среднеквадратического к среднему) мы используем, поскольку значительны вариации среднего значения влажности и дисперсия неверно характеризует пространственную изменчивость.

Пространственные вариации температуры имеют незначительную величину по сравнению с другими типами суши. Пространственные вариации влажности тундры не носят экстремальный характер. Рассмотрим, как вариации температуры и влажности верхнего слоя почвы тундры трансформируются в вариации яркостных температур.

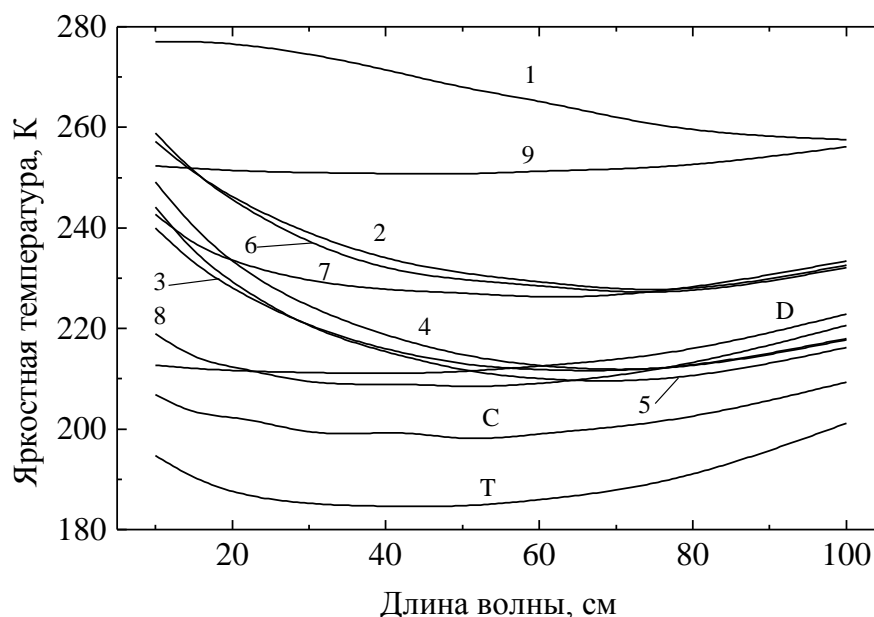


Рис.4. Спектральная зависимость модельных средних значений ЯТ основных типов поверхности суши для июля 1992 г.

Аналогичная, но спектральная обработка была выполнена для ЯТ СПРАК, результаты обработки представлены на рис.4 (для среднего ЯТ) и рис.5 (для среднеквадратического). Среднее значение $\hat{T}_{\Sigma}^{BT}(\lambda)$ для большинства типов поверхностей (включая тундру T) является спадающей функцией для диапазона 10 – 50

см и нарастающей для более длинных волн. Эффект нарастания ЯТ обусловлен влиянием отраженного от поверхности радиоизлучения космос.

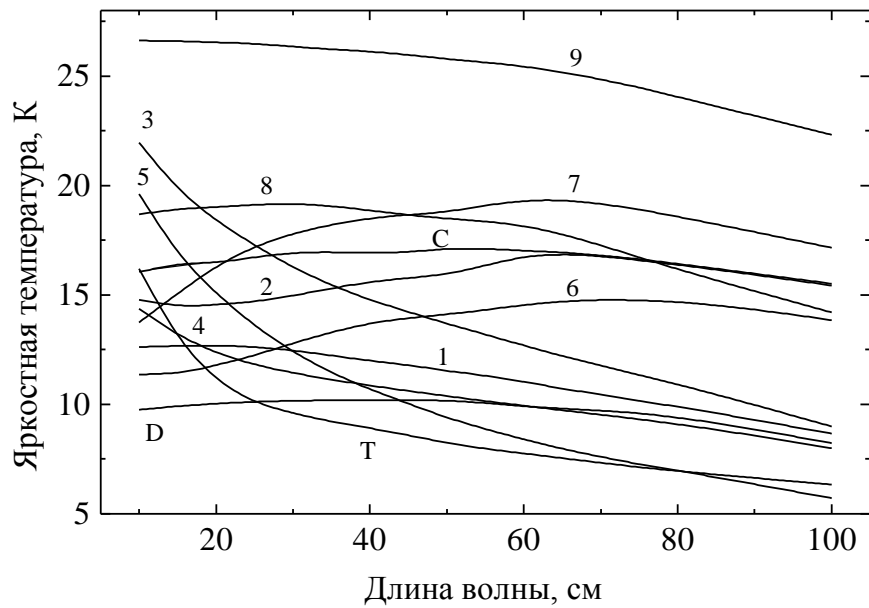


Рис.5. Спектральная зависимость модельных среднеквадратических значений ЯТ основных типов поверхности суши для июля 1992 г.

Функция $\delta(T_{\Sigma}^{BT}, \lambda)$ (рис.5, кривая Т) монотонно убывает при $\lambda > 10$ см для тундры с 16 К до 6 К. Это связано с проявлением сглаживающего пространственного эффекта.

Рассмотрим сезонную динамику спектров радиотеплового излучения тундры. Результаты моделирования представлены на рис.6.

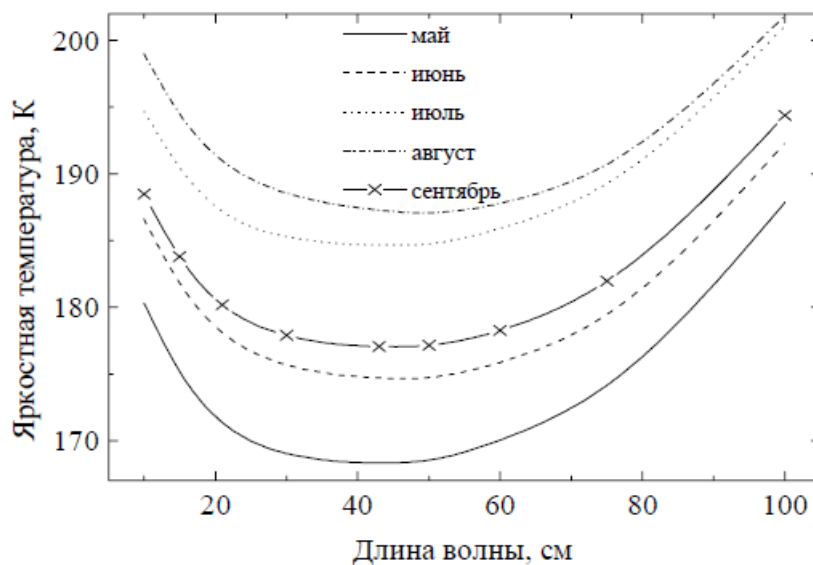


Рис.6. Сезонная динамика спектров радиотеплового излучения тундры

Сезонные вариации тундры находятся в пределах 14 (100 см) – 19 (43 см) К, спектральный контраст составляет $\Delta T_{100-43}^{BT} = 14.6 - 19.5$ К, нарастание величины ЯТ по месяцам: 5 – 6 – 9 – 7 – 8. Минимальные сезонные вариации ЯТ наблюдаются у

тропических лесов, а - максимальные у тундры. Спектральные зависимости для тундры представлены полиномом вида: $T_{\Sigma 1}^{BT} = a + b1 \cdot \lambda + b2 \cdot \lambda^2$, здесь $a = 193.8$, $b1 = -0.65$, $b2 = 0.0067$. Коэффициент корреляции аппроксимации полиномом составляет 0.97.

Отдельные результаты, приведенные в данной работе, докладывались на Всероссийских конференциях "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", "Научная сессия РНТОРЭС им. А.С.Попова", "Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий", "Распространение радиоволн" и опубликованы в работах [1-8].

Литература

1. Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К. Глобальная модель радиотеплового излучения земной поверхности в L- и P-участках СВЧ-диапазона // LIII научная сессия РНТОРЭС им. А.С.Попова (20-21 мая 1998 г.). Москва: 1998 г. С.75-76.
2. Галкин Ю.С., Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шмаленюк А.С. Моделирование ослабления радиоволн лесным пологом в глобальной модели радиоизлучения земной поверхности в L- и P- диапазонах // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. Вып.2 (51). 2007. С.90-99.
3. Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К. Валидация модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2011. Т.8. №1. С.246-254
4. Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К. Формирование радиоизлучения почвы в модели глобального крупномасштабного радиотеплового излучения земли в дециметровом диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2012. Т.9. №3. С.43-49.
5. Мильшин А.А. Моделирование радиотеплового излучения тундры и мерзлых почв в L- и P-диапазоне // LV научная сессия РНТОРЭС им. А.С.Попова, 17-19 мая 2000г., Москва, 2000 г., С.103.
6. Арманд Н.А., Гранков А.Г., Мильшин А.А., Тищенко Ю.Г., Шелобанова Н.К. Контроль состояния поверхности тундры и мерзлых почв в дециметровом диапазоне с космического аппарата МКА-ФКИ №1 // Труды Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий"/ Под ред. Ю.М. Урличича, А.А. Романова.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.-376 с.
7. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К. Контроль состояния поверхности тундры и мерзлых почв в L-диапазоне // Труды XXII Всероссийской конференции «Распространение радиоволн», 18-22 сентября 2008, п. Лоо, Сочи. – С.13-16
8. Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К. Модель крупномасштабного радиотеплового излучения тундры и мерзлых почв в дециметровом диапазоне // Труды РНТОРЭС им. А.С.Попова. Серия: Научная сессия, посвященная дню радио. Выпуск: LXVI. 4. 11-12 мая 2011 г. Москва. С.94-97.