

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ
РАДИОТЕПЛОвого ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АТМОСФЕРА-ТУНДРА
ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА МТВЗА-ГЯ СПУТНИКА МЕТЕОР-М № 2**

Д.ф.-м.н. Гранков А.Г.¹, с.н.с. Мильшин А.А.¹, вед. спец. Шелобанова Н.К.¹,
д.т.н. Черный И.В.², инж. Ямпольская Е.А.¹

¹ Фрязинский филиал ФГБУН Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова Российской академии наук

² Научно-технологический центр "Космонит"
ОА "Российские космические системы"

**THE STATISTICAL FEATURES OF THE LONG-TERM DYNAMICS
OF MICROWAVE RADIATION OF THE ATMOSPHERE-TUNDRA
SYSTEM USING MTVZA-GYA RADIOMETER OF METEOR-M № 2**

Grankov A.G., Milshin A.A., Shelobanova N.K., Cherny I.V., Yampolskaya E.A.

Ключевые слова: тундра, температура, радиометр, динамика.

Key words: tundra, temperature, radiometer, dynamics.

Представлены экспериментальные среднемесячные данные радиоизлучения тундры в сантиметровом и миллиметровом диапазоне. Исходными данными служат измерения яркостных температур тундры радиометром МТВЗА-ГЯ спутника Метеор-М №2 на частотах 10.6, 18.7 и 36.7 ГГц с августа 2014 по ноябрь 2016 г. Выполнен анализ сезонной динамики радиотеплового излучения тундры в восточном и западном полушариях с учетом поляризационных и спектральных отличий. Данные анализа 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 10.6 ГГц.

On the basis of long-term satellite microwave radiometric measurements obtained estimates of intra-annual variations of the monthly brightness temperatures (BT) in the tundra. Results of experimental monthly data of tundra emission at centimeter and millimeter band are submitted. The original data are measurements of brightness temperatures of the tundra using MTVZA-GYA radiometer at frequencies of 10.6, 18.7 and 36.7 GHz for 2014 - 2016 years. Investigated seasonal dynamics of a radio emission of the tundra in the Eastern and Western hemispheres. Data analysis indicates differences in the mechanism of the formation of a radio emission field of the tundra in the Western and Eastern hemisphere. The phase change of the tundra (melting and freezing) is most strongly observed at a frequency of 10.6 GHz.

Введение

В работах [1, 2] была рассмотрена сезонная динамика радиотеплового излучения тундры на частотах 6.9, 10.65 и 18.5 ГГц за 2010 год. Координаты границ тундровой зоны составляют: в западном полушарии (74° с.ш., 180° з.д.) - (50° с.ш., 60° з.д.) и в восточном полушарии (74° с.ш., 10° в.д.) - (54° с.ш., 180° в.д.). Пространственное распределение тундры по полушария приводится в работе [2]. Основными факторами по данным моделирования, определяющими сезонный ход яркостных температур (ЯТ) в дециметровом и сантиметровом диапазонах являются пространственно-временные вариации влажности и температуры верхнего слоя почвы.

В настоящей работе, так же как в работах [1-3], рассматривается взаимосвязь изменения фазового состояния поверхности тундры (мерзлое состояние, таяние, безморозное состояние и замерзание) с радиотепловым излучением среды на глобальных масштабах.

На основании среднемесячных данных реанализа объемной влажности и температуры верхнего 10 см слоя почвы тундры, имеющихся в архиве параметров земной и водной поверхности и атмосферы NCEP/NCAR с разрешением 2.5°x2.5°, нами [3] были получены следующие оценки сезонного хода глобальных изменений влажности и температуры - среднее, минимальное и максимальное значения влажности в г/см³ и температуры в Кельвинах, среднеквадратическая величина (скв) влажности и температуры, коэффициент вариаций (КВ) в % этих параметров. Пик влажности приходится на август, наибольшая пространственная изменчивость влажности (скв и КВ) отмечается в июле. Пик температуры почвы приходится на июль, минимальные значения скв и КВ наблюдаются в период с мая-июня по август.

Тундра является многослойной средой, и для лучшего понимания механизма формирования излучения, желательно проводить измерения в широком участке спектра, включая сантиметровый и миллиметровый диапазоны волн. В работе [3] были продолжены исследования динамики радиотеплового излучения тундры на климатически значимых временных масштабах, и для анализа использовался миллиметровый диапазон в отличие от работ [1, 2]. Для анализа пространственно-временных вариаций радиоизлучения тундры мы обработали данные радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua за период с 2002 по 2011 годы на частотах 6.9 (каналы 06V, 06H), 18.7 (18V, 18H) и 36.5 ГГц (37V, 37H). Здесь V, H – вертикальная (ВП) и горизонтальная (ГП) поляризация принимаемого излучения среды. В данной работе анализируются данные радиометра МТВЗА-ГЯ космического аппарата Метеор-М №2 на частотах 10.6, 18.7 и 36.7 ГГц за период с августа 2014 года по ноябрь 2016 года.

Сезонные вариации радионизлучения тундры

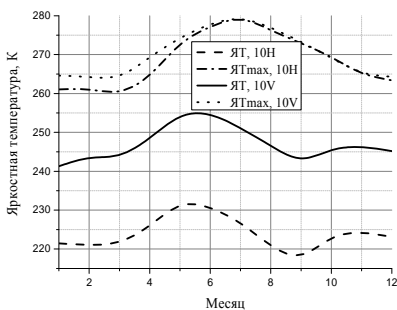
Характер распределения ЯТ в мае для тундры в западном полушарии (ТЗП) определяется процессами таяния снега, льдов, особенно в северной части исследуемой области. В июне-сентябре акватория на севере и Гудзонский залив и пролив освобождаются ото льда. Процесс оттаивания верхнего слоя почвы стабилизируется, и картина пространственного распределения ЯТ за этот период практически не меняется и определяется характером распределения многочисленного числа озер и болот.

Для ТЗП средние значения ЯТ на частоте 10.6 ГГц имеют максимум в июне - июле (рис. 1 а) на ВП 255 К, на ГП - в мае 215 К. Минимум ЯТ наблюдается на ВП в декабре – феврале 241.5÷240 К, на ГП - в сентябре-октябре 194.6÷196.6 К. Величина поляризационного контраста $\Delta T_{VH}^{BT} = T_V^{BT} - T_H^{BT}$ составляет около 20÷24 К в течение года.

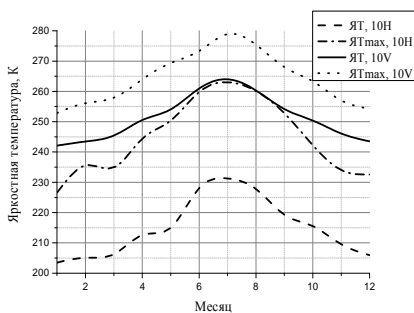
Для ТЗП средние значения ЯТ на частоте F=18.7 ГГц имеют максимум в июне-июле 256.7 К на ВП и 232.5 К на ГП (рис. 1 в). Минимум наблюдается в январе-марте 239 К на ВП и 204 К на ГП. Величина поляризационного контраста составляет около 20÷35 К.

Для ТЗП средние значения ЯТ на частоте 36.7 ГГц имеют максимум на ВП 272.4 К и на ГП 234.3 К (рис. 1 д). Минимум отмечается в феврале-марте и составляет на ВП 236 К и 177 К на ГП. Величина поляризационного контраста меняется в течение года и составляет около 38÷51 К. В восточном полушарии для тундровой зоны (ТВП) характер пространственно-временной динамики радионизлучения тундры отличается от распределения ЯТ ТЗП. Для ТВП средние значения ЯТ на частотах 10.6, 18.7 и 36.5 ГГц (рис. 1 б, г, е) имеют максимум в июле на ВП: 264, 264.3, 277.3 К и на ГП: 231.3, 252.7, 248 К. Минимум наблюдается в декабре-феврале на частоте 10.6 ГГц на ВП 243 К, на ГП 204 К в январе-феврале. Минимум на частотах 18.7 и 36.7 ГГц отмечается в январе-марте и составляет на ВП 238.9, 234.3 К, на ГП – 205, 176.1 К. Величина поляризационного контраста меняется в течение года и составляет около 32.6÷39.2 К (10.6 ГГц), 11.6÷34.7 К (18.7 ГГц) и 28.7÷59.3 К (36.7 ГГц).

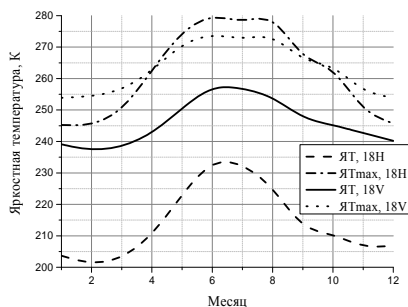
На рисунке 2, 3 представлены сезонные изменения скв ЯТ и коэффициента вариаций $\delta(T_{VH}^{BT})$ ЯТ западной и восточной частей тундры. Анализ выполнен в докладе.



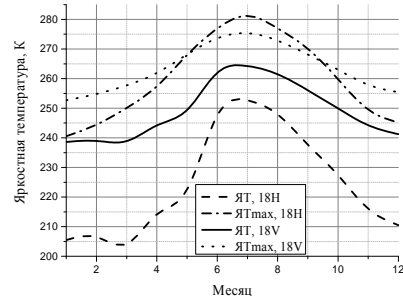
а)



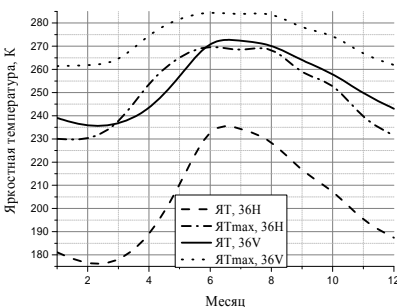
б)



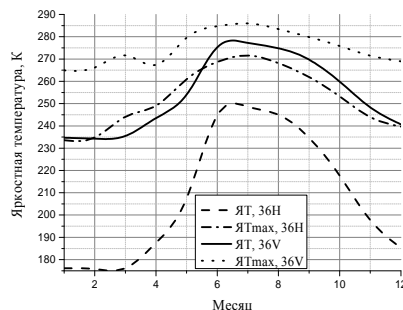
в)



г)



д)

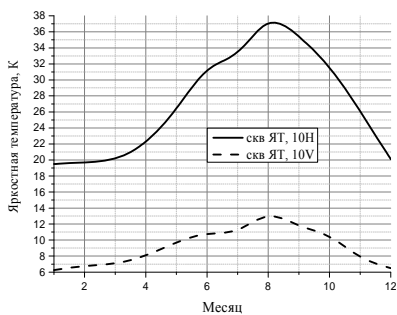


е)

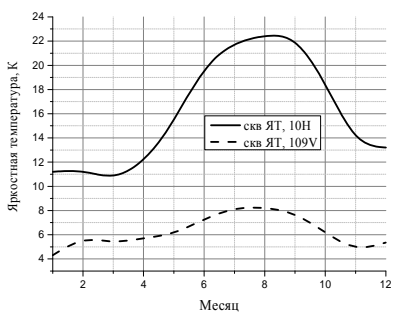
Тундра западного полушария

Тундра восточного полушария

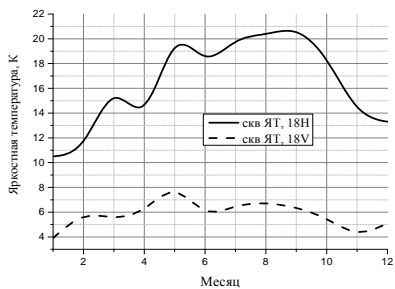
Рис. 1. Сезонные вариации средних и максимальных значений YТ тундры по данным радиометра МТВЗА-ГЯ на частотах 10.6 (а, б), 18.7 (в, г) и 36.7 ГГц (д, е)



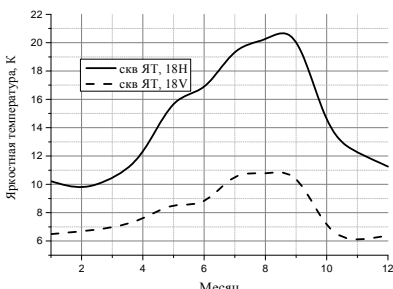
а)



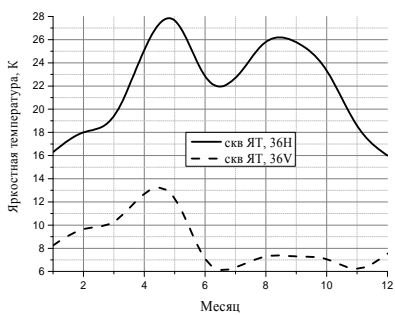
б)



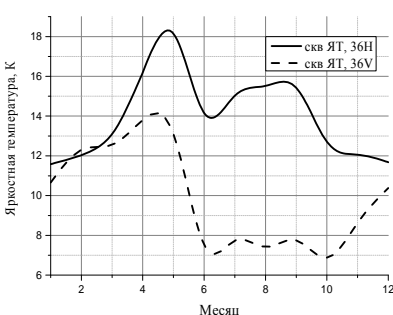
в)



г)



д)

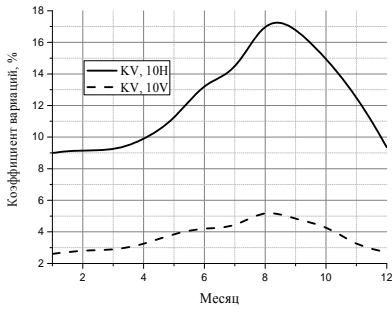


е)

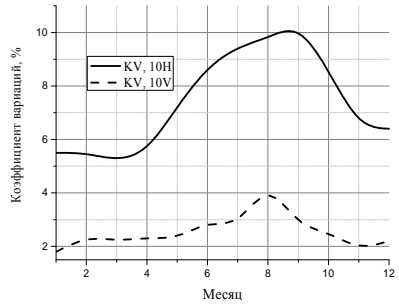
Тундра западного полушария

Тундра восточного полушария

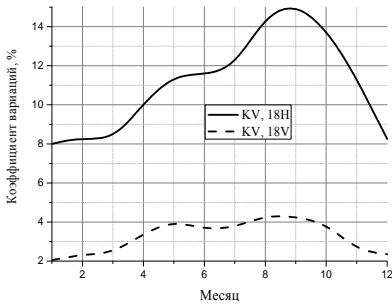
Рис. 2. Сезонные вариации скв ЯТ тундры по данным радиометра МТВЗА-ГЯ на частотах 10.6 (а, б), 18.7 (в, г) и 36.7 ГГц (д, е)



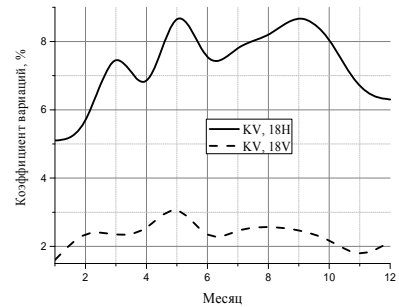
а)



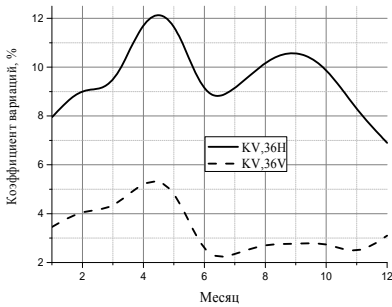
б)



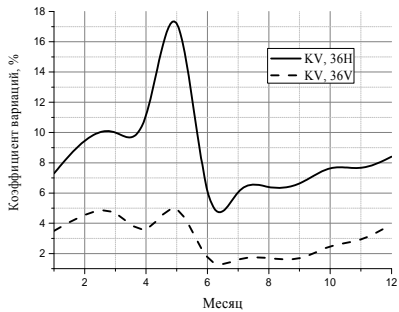
в)



г)



д)



е)

Тундра западного полушария

Тундра восточного полушария

Рис. 3. Сезонные изменения коэффициента вариаций ЯТ тундры по данным радиометра МТВЗА-ГЯ на частотах 10.6 (а, б), 18.7 (в, г) и 36.7 ГГц (д, е)

Заключение

Получены оценки средних и максимальных значений ЯТ, скв ЯТ и коэффициента вариаций ЯТ для трех частот и двух поляризаций по всей площади тундры в обоих полушариях.

Выполнен анализ сезонной динамики радиотеплового излучения тундры с учетом поляризационных и спектральных отличий. Данные анализа 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 10.6 ГГц.

Радиотепловое поле на горизонтальной поляризации наиболее чувствительно к изменению физических параметров системы атмосфера-тундра.

Литература

1. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К. Внутригодовая динамика радиотеплового излучения тундры по данным радиометра AMSR-E // Труды РНТОРЭС им. А.С.Попова. Серия: Инженерная экология. Выпуск: VIII. Москва 2015. С.29-34

2. 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

3. 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.