

Статистические особенности многолетней динамики радиотеплового излучения системы атмосфера-тундра в микроволновом диапазоне

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

Фрязинский 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

Представлены экспериментальные среднемесячные данные радиоизлучения тундры в сантиметровом и миллиметровом диапазоне. Исходными данными служат измерения яркостных температур тундры радиометром AMSR-E на частотах 6.9, 18.7 и 36.5 ГГц за 2002 - 2011 г. Рассмотрены сезонные, пространственные, поляризационные и спектральные особенности радиоизлучения тундры на глобальных масштабах.

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 AMSR-E radiometer at frequencies of 6.9, 18.7 and 36.5 GHz for 2002 - 2011 years. Seasonal, spatial, polarization and spectral features of a radio emission of tundra on global scales are considered.

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 [3]. 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.

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° были получены следующие оценки сезонного хода глобальных изменений влажности и температуры, представленные на рис.1. Это среднее, минимальное и максимальное значения влажности в г/см³ (рис.1 а) и температуры в Кельвинах (рис.1 б), а также среднеквадратическое значение (скв) влажности (рис.1 в) и температуры (рис.1 г) и коэффициент вариаций (КВ) в % этих параметров. Как следует из рис.1 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 настоящее время накоплен большой объем спутниковых архивных глобальных данных, находящихся в свободном доступе. В данной работе 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 и горизонтальная поляризация принимаемого излучения среды.

Исходные данные хранятся в файлах в виде суточных глобальных массивов с разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ по широте и долготе в NSIDC (National Snow and Ice Data Center) в Боулдере США.

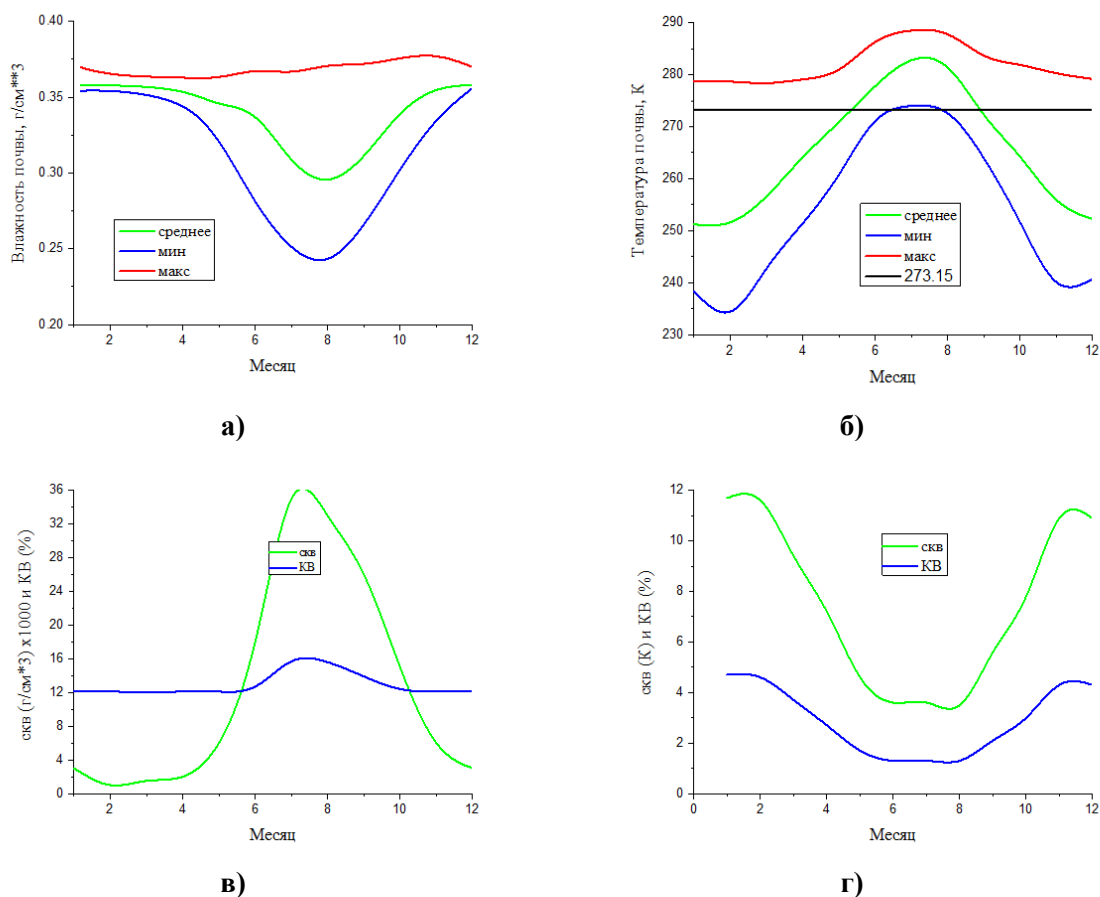


Рис.1. Глобальная сезонная изменчивость влажности (а, в)) и температуры (б, г)) поверхности почв тундры

Сезонные вариации радиоизлучения 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 имеют максимум в июле месяце на частоте 6.9 ГГц (рис.2 а) и минимум в феврале. Величина поляризационного контраста $\Delta T_{VH}^{BT} = T_V^{BT} - T_H^{BT}$ составляет около $17 \div 22$ К в течение года. Максимум значений T_{max}^{BT} приходится на лето. Для ТЗП средние значения ЯТ имеют максимум в июне-июле месяце на частоте $F=18.7$ ГГц (рис.2 в) и минимум в январе-марте. Величина поляризационного контраста составляет около $15 \div 23$ К. Максимум значений T_{max}^{BT} приходится на июнь-июль. Для ТЗП средние значения ЯТ имеют максимум в июне-августе на частоте 36.5 ГГц (рис.2 д) и минимум в феврале-марте. Величина поляризационного контраста незначительно меняется в течение года и составляет около $10 \div 15$ К. Максимум значений T_{max}^{BT} приходит на лето.

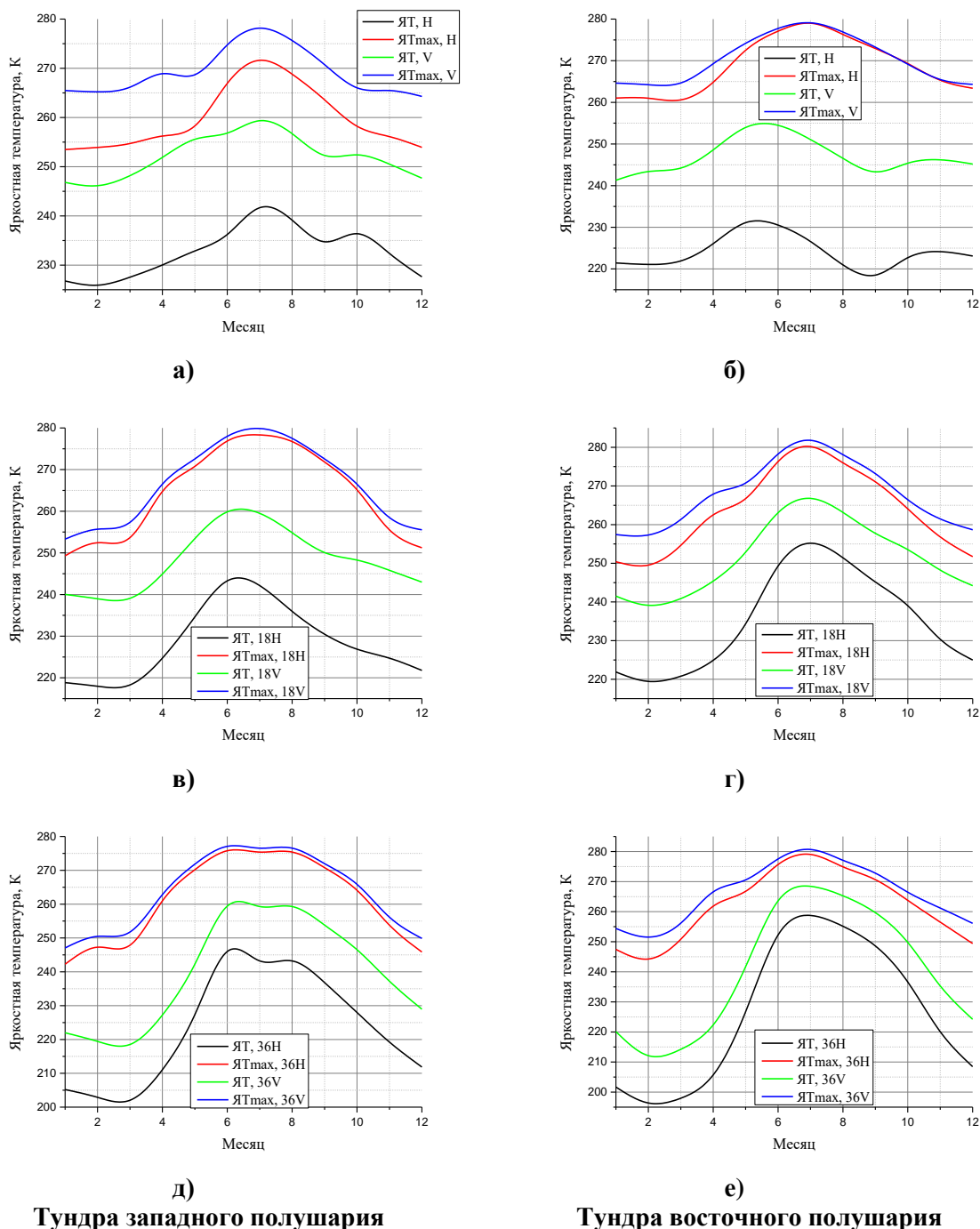
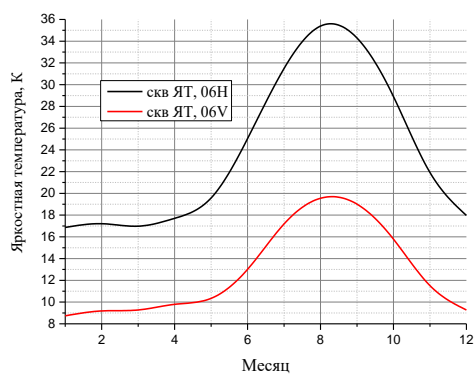
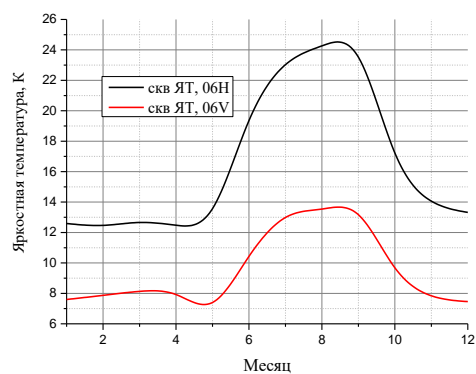


Рис.2. Многолетние вариации средних и максимальных значений ЯТ тундры по данным радиометра AMSR-E на частотах 6.9 (а, б), 18.7 (в, г) и 36.5 ГГц (д, е)

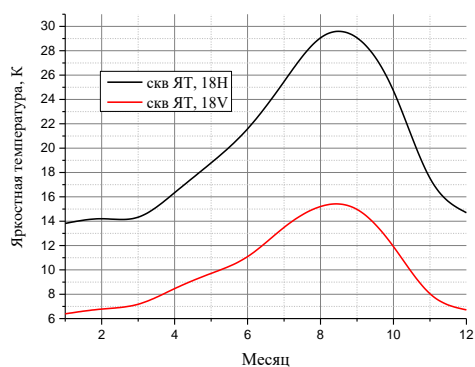
В восточном полушарии для тундровой зоны (ТВП) характер пространственно-временной динамик радиоизлучения тундры несколько отличается от ТЗП. Для ТВП средние значения ЯТ имеют максимум в мае-июне месяце на частоте 6.9 ГГц и июле на частотах 18.7 и 36.5 ГГц (рис.2 б, г, е); минимум наблюдается в сентябре и январь-марте на частоте 6.9 ГГц, а на частотах 18.7 и 36.5 ГГц минимум отмечается в январь-марте. Величина поляризационного контраста незначительно меняется в течение года и составляет около 22÷25 К (6.9 ГГц), 12÷20 К (18.7 ГГц) и 7÷14 К (36.5 ГГц). Максимум значений T_{\max}^{BT} приходит на лето.



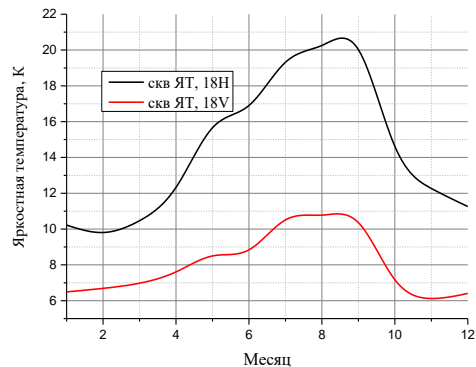
а)



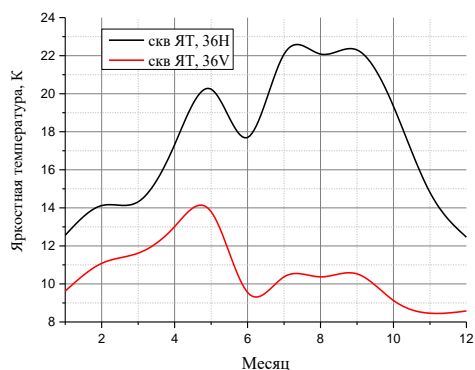
б)



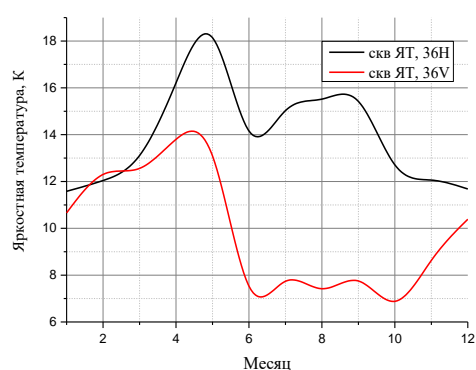
в)



г)



д)



е)

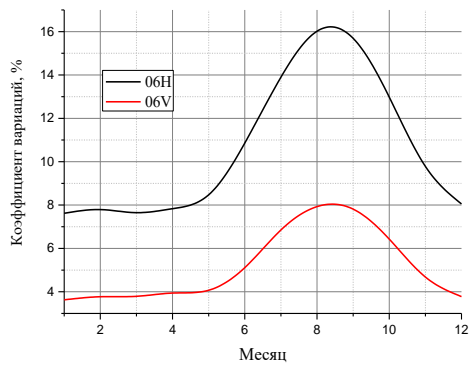
Тундра западного полушария

Тундра восточного полушария

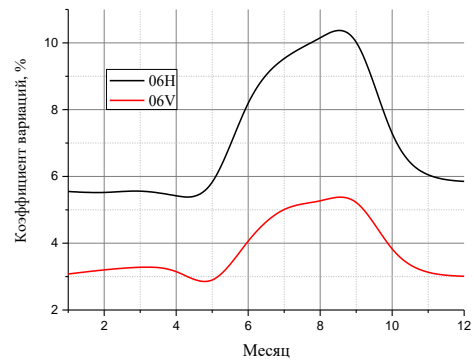
Рис.3. Многолетние вариации скв ЯТ тундры по данным радиометра AMSR-E на частотах 6.9 (а, б), 18.7 (в, г) и 36.5 ГГц (д, е)

На рис.3 представлены многолетние сезонные вариации среднемесячных среднеквадратических (СКВ) значений ЯТ западной и восточной частей тундры. К особенностям следует отнести сезонный ход СКВ ЯТ на частоте 6.9 ГГц в форме «купола на пьедестале» (рис.3 а, б). Поляризационный контраст минимален зимой и достигает максимума в августе и лежит в диапазоне 4÷15 К. На частоте 18.7 ГГц зависимость «купол на пьедестале» деформируется. Поляризационный контраст снижается до 3÷13 К. На частоте 36.5 ГГц сезонная зависимость СКВ ЯТ носит сложный характер, особенно для ТЗП, и для интерпретации необходимы

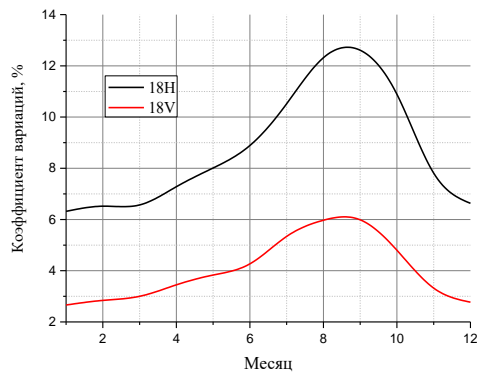
дополнительные исследования. Поляризационный контраст изменяется от нуля до 12 К. Сезонный максимум СКВ ЯТ на частотах 6.9 и 18.7 ГГц приходит на август.



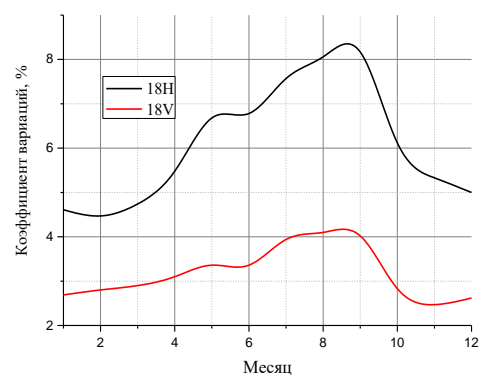
а)



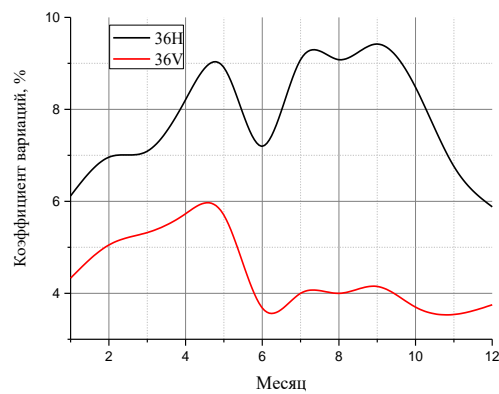
б)



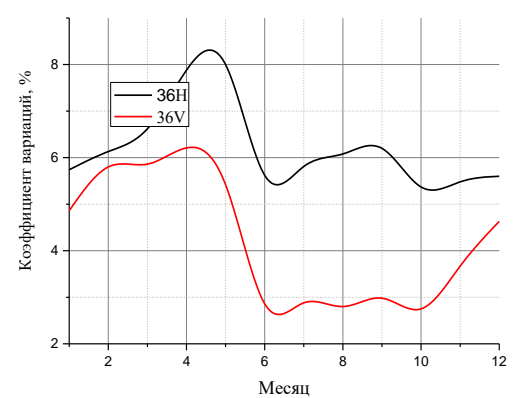
в)



г)



д)



е)

Тундра западного полушария **Тундра восточного полушария**
Рис.4. Многолетние изменения коэффициента вариаций ЯТ тундры по данным радиометра AMSR-E на частотах 6.9 (а, б), 18.7 (в, г) и 36.5 ГГц (д, е)

На рис.4. представлены многолетние сезонные изменения коэффициента вариаций $\delta(T_{VH}^{BT})$ ЯТ западной и восточной частей тундры. Ход кривых идентичен кривым на рис.2.

Таблица 1. Максимальные сезонные изменения средних значений ЯТ, скв ЯТ и КВ

Частота ГГц	ЯТ, К		скв ЯТ, К		КВ, %	
	Н	V	Н	V	Н	V
Тундра западного полушария						
6.9	15.7	13.2	11.8	6.21	4.7	2.4
18.7	25.3	20.9	15.2	8.8	6.3	3.3
36.5	43.1	40.9	9.8	2.1	3.5	2.2
Тундра восточного полушария						
6.9	12.6	13.2	18.4	10.4	8.4	4.4
18.7	35.7	27.6	10.5	4.7	3.7	1.6
36.5	62.4	56.3	6.6	5.7	2.6	3.5

В таблице 1 приведены максимальные сезонные изменения характеристик радиотеплового излучения тундры в западном и восточном полушариях.

Заключение

Выполнена обработка среднемесячных ЯТ на основе архивных данных сканера AMSR-E. В работе использовались данные измерений на частотах 6.9, 18.7 и 36.5 ГГц на горизонтальной и вертикальной поляризации для тундры в западном и восточном полушарии.

Получены оценки средних и максимальных значений ЯТ и коэффициента вариаций ЯТ для трех частот и двух поляризаций по всей площади тундры в обоих полушариях за период с 2002 по 2011 годы.

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 6.9 ГГц.

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

Мы благодарим центр NSIDC за предоставленные спутниковые данные ЯТ радиометра AMSR-E.

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., Черный И.В., Ямпольская Е.А.. Оценка сезонной динамики потоков тепла и влаги в Северной Атлантике по данным радиометра AMSR-E // V Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Практическая радиолокация / Материалы Всероссийской научной конференции (Муром, 29.06.–1.07.2015 г.) – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2015. – 183 с.: ил. ISSN 2304-0297 (CD-ROM)