

Валидация модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне

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

*ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН
141190, г. Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1
E-mails: amilshin@list.ru*

В статье рассматриваются четыре подхода для валидации модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне. Первый подход основан на анализе погрешностей модели в рамках простейшей теории ошибок. При втором подходе сравнивались данные моделирования с систематизированными данными локальных натуральных и самолетных измерений 70 ÷ 90-х годов в различных географических зонах Северного полушария в весенне-летне-осенние сезоны в СССР, России и США. Третий подход основан на сопоставлении данных глобальных спутниковых измерений и модельных данных в сантиметровом диапазоне. В основе четвертого подхода лежит локальная валидация модели без географической привязки, основанная на учете в модели параметров почвы тестового участка, которые определяются посредством наземных измерений.

Ключевые слова: модель радиоизлучения Земли, дециметровый диапазон, натурные, самолетные, спутниковые измерения, глобальная, локальная валидация.

Введение

В настоящей работе кратко рассматриваются подходы, используемые для валидации (Гранков и др., 2010; Мильшин и др., 2010) модели глобального крупномасштабного радиотеплового излучения Земли в дециметровом (дм) диапазоне волн. Модель (Grankov & Milshin, 1997; Мильшин и др., 1998; Галкин и др., 2007) базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях радиотеплового излучения водной поверхности, суши, растительного покрова, тропосферы, ионосферы и космического радиоизлучения, выполненных в ИРЭ РАН в течение последних 30 лет. Эти исследования осуществлялись на локальных пространственно-временных масштабах в диапазоне 18-30 см. Разработанная модель предназначена для исследования механизма формирования радиотеплового излучения Земли в диапазоне волн 10-100 см на локальных и глобальных масштабах. В модели учитывается вклад излучения и поглощения различных природных сред: водная поверхность, поверхность суши, растительный покров, атмосфера (тропосфера и ионосфера), космическое радиоизлучение в интегральное радиоизлучение Земли. С помощью модели осуществляется синтез радиоизлучения суши и водной поверхности с пространственным разрешением 4° по широте и 5° по долготе и временных масштабах в сутки, месяц и год на основе архивных данных параметров океана, почвы, лесной растительности, атмосферы и космического радиоизлучения. Численное моделирование глобальных полей радиотеплового излучения выполняется для следующих типов земной поверхности – тропический лес (1), лиственный листопадный лес (2), смешанный лес (3), хвойный лес (4), лиственный лес (5), саванна (6), трава (7), лиственные кусты с травой (8), лиственные кусты с открытой почвой (D), пустыня (9), тундра (T), возделываемые травянистые культуры (C) и океан. Первая версия модели была разработана в 1997-1999 гг., разработка второй версии завершена в 2008 г. Поэтому мы не рассматриваем валидацию модели с использованием данных на волне 21 см ска-

нирующего радиометра MIRAS (Был запущен на орбиту Европейским космическим агентством в рамках миссии SMOS в ноябре 2009 г.) и панорамного L-радиометра РК-21-8 (СКБ ИРЭ РАН и ИРЭ РАН, радиометр установлен на борт МКС в начале 2011 г.).

1. Анализ погрешностей модели

Анализ погрешностей выполним на примере наиболее сложного компонента модели – модели яркостной температуры (ЯТ) системы «почва – растительность – атмосфера – космос» (Мильшин, Гранков, 2000; Галкин и др., 2007):

$$T_{\Sigma}^{BT} = T_S^{BT} + T_C^{BT} + T_{SKY}^{BT} = T_{SC}^{BT} + T_{SKY}^{BT}, \quad (1)$$

$$T_{SKY}^{BT} = T_A^{BT} + r_s (T_A^{BT} + T_{COS}^{BT} \exp(-\tau_A)) \cdot \exp(-2\tau_C - \tau_A) \quad (2)$$

$$T_{SC}^{BT} = (T_{S0}^{BT} t_C + T_{C0}^{BT} (1 + r_s t_C)) \exp(-\tau_A), \quad (3)$$

где T_S^{BT} – радиоизлучение почвы, ослабленное растительным пологом и атмосферой; T_C^{BT} – прямое и отраженное излучение растительности; T_{SKY}^{BT} – прямое восходящее T_A^{BT} излучение атмосферы и отраженное излучение атмосферы T_A^{BT} и космоса T_{COS}^{BT} , ослабленное растительностью и атмосферой; T_{S0}^{BT} , T_{C0}^{BT} – собственное радиоизлучение почвы и леса; r_s – коэффициент отражения почвы; τ_C , τ_A – интегральное ослабление растительным пологом и атмосферой; t_C – коэффициент прохождения растительного полога.

Полагаем, что ошибки носят только случайный характер. Для результирующей максимальной ошибки имеем из (1) следующее соотношение:

$$\Delta(T_{\Sigma}^{BT}) = \pm \sqrt{[\Delta(T_{SC}^{BT})]^2 + [\Delta(T_{SKY}^{BT})]^2} = \Delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{[\Delta_{SC}]^2 + [\Delta_{SKY}]^2}.$$

Для составляющих ошибки $\Delta_{\Sigma 1}$ получим очевидные выражения на основе элементарной теории ошибок. Почвенно-растительная составляющая ошибки следует из (3). Поскольку величина $\exp(-\tau_A) < 0.98$ во всем дм диапазоне, мы ею пренебрегаем и получим:

$$\Delta_{SC} = \pm \sqrt{[t_C \Delta(T_{S0}^{BT})]^2 + [t_C T_{C0}^{BT} \Delta(r_s)]^2 + [r_s t_C \Delta(T_C^{BT})]^2 + [(T_{S0}^{BT} + r_s T_{C0}^{BT}) \Delta(t_C)]^2}.$$

Составляющая ошибки, обусловленная небосводом с учетом (2) имеет вид:

$$\Delta_{SKY} = \pm \sqrt{\left[\frac{dT_{SKY}^{BT}}{dT_A^{BT}} \Delta(T_A^{BT}) \right]^2 + \left[\frac{dT_{SKY}^{BT}}{dT_{COS}^{BT}} \Delta(T_{COS}^{BT}) \right]^2 + \left[\frac{dT_{SKY}^{BT}}{d\tau_C} \Delta(\tau_C) \right]^2 + \left[\frac{dT_{SKY}^{BT}}{d\tau_A} \Delta(\tau_A) \right]^2 + \left[\frac{dT_{SKY}^{BT}}{dr_s} \Delta(r_s) \right]^2}.$$

В таб. 1 приведены числовые значения составляющих погрешностей. Чувствительности за номером 1, 4, 7, 8 и 9 по модулю больше единицы и в этом случае наблюдается эффект усиления ошибки. При анализе было принято, что погрешности аргументов составляют 10% от их диапазона значений. Из таблицы следует, что составляющие погрешности, как правило, растут с увеличением длины волны. Наибольшую погрешность вносят почвенно-растительные составляющие модели 1, 2 и 3. Составляющие 5, 7 и 8 можно не учитывать при анализе.

Таблица 1. Значения основных составляющих погрешности модели

Вид производной	Чувствительность		Погрешность аргументов		Погрешность функции, К	
	Длина волны, см		Длина волны, см		Длина волны, см	
	10	100	10	100	10	100
1) $\frac{dT_{\Sigma}^{BT}}{dt_c}$	47 – 280	8 – 219	0.06 – 0.006	0.062 – 0.043	1.7 – 2.8	0.5 – 9.4
2) $\frac{dT_{\Sigma}^{BT}}{dT_C^{BT}}$	0.6 – 0.06	0.62 – 0.43	4.7 – 25.3	0.8 – 9.1	1.5 – 2.8	0.5 – 11
3) $\frac{dT_{\Sigma}^{BT}}{dT_S^{BT}}$	0.83 – 0.09	0.97 – 0.67	21.5	18.9	2 – 18	13 – 18
4) $\frac{dT_{\Sigma}^{BT}}{dr_s}$	39 – 2.9	7.9 – 61	0.032	0.027	0.09 – 1.2	0.2 – 1.6
5) $\frac{dT_{SKY}^{BT}}{dT_A^{BT}}$	0.18	0.19	0.3	0.3	0.05	0.06
6) $\frac{dT_{SKY}^{BT}}{dT_{COS}^{BT}}$	0.18	0.19	0.28 – 0.44	3.4 – 42.1	0.05 – 0.08	0.7 – 8
7) $\frac{dT_{SKY}^{BT}}{d\tau_c}$	-1.4	-(6.5 – 81)	0.05 – 0.28	0.05 – 0.08	-(0.07 – 0.4)	-(0.07 – 0.11)
8) $\frac{dT_{SKY}^{BT}}{d\tau_A}$	-2.1	-160	0.0002	0.001	-0.0004	-0.16
9) $\frac{dT_{SKY}^{BT}}{dr_s}$	61	22	0.008 – 0.06	0.008 – 0.05	0.5 – 3.7	0.2 – 1.1

Значения результирующей погрешности модели приведены в таб. 2. Отметим, что результирующая относительная погрешность не превышает 10%.

Таблица 2. Значения результирующей погрешности модели

Δ_{sc}, K		Δ_{sky}, K		Δ_{Σ}, K	
Длина волны, см		Длина волны, см		Длина волны, см	
10	100	10	100	10	100
18.5	23.1	3.7	8.1	18.8	24.5

2. Применение данных натурных и самолетных измерений для валидации модели

Для исследования вариаций ЯТ были систематизированы материалы полевых и самолетных экспериментов, выполненных в 70 ÷ 90-е годы в различных географических зо-

нах Северного полушария в весенне-летне-осенние сезоны. Схема расположения 23 экспериментальных участков, каждый площадью от десятков кв. метров до десятков кв. километров представлена в работе (Мильшин и др., 2000а). На ряде участков эксперименты выполнялись в течение нескольких сезонов. При обработке использовались данные измерений в диапазоне длин волн 18 – 50 см, при углах зондирования близких к надиру. В таб. 3 (третий столбец) представлены значения вариаций экспериментальных ЯТ для различных природных зон и типов земной поверхности при различных режимах увлажнения, температурных вариациях, наличии и отсутствии растительного покрова и осадков, при различных метеорологических условиях.

Таблица 3. Сопоставление экспериментальных и модельных ЯТ для различных природных зон Северного полушария в L- и P-диапазоне

Природные зоны и типы земной поверхности тестового участка (тип суши в модели)	Длина волны, см	ЯТ, К Эксперимент	ЯТ, К модель	Соответствие эксперимента и модели, %
Тайга (4)	30	170-230	232	16
Лесостепи (С). С/х поля	21	198-294	201-214	15.7
	30	200-240	199	9.6
Степи. Аридные районы (С). С/х поля	21	228-256	195-198	18.9
	30	230-270	189-196	23
Полупустыни и пустыни (9)	18	241-249	251	2.5
	30	260-290	250	9.1
Полупустыни и пустыни. С/х поля. Зона недостаточного увлажнения (D)	21	206-252	196	14.5
	43	209-262	168	28.7
Область высотной поясности. Зона переменного увлажнения (С). С/х поля	21	199-255	195	14.1
	43	184-256	189	14.1
Смешанные и широколиственные леса (С,2,3,4). Смешанные леса и с/х поля	21	229-273	178-235	17.8
	30	248-259	207-223	15.2
Смешанные и широколиственные леса (3). Торф, гари торфяного и сфангового болота	20	213-293	246	2.8
	30	223-293	239	7.4
	50	242-278	231	11.2
Смешанные и широколиственные леса (3). Смешанные леса и с/х поля	21	198-260	227	0.9
	27	179-258	221	1.2
Смешанные и широколиственные леса (3). Смешанные леса	21	234-265	237	5.1
Тропический лес (1). С/х поля	21	221-267	284	16.4
Переменно-влажные леса (С). С/х поля	21	183-284	214-221	6.9
	50	200-263	209-214	8.7
Сахель (8). Кустарники на плато и песках, поля просо	21	169-277	196-198	11.7

В первом столбце в скобках указан тип суши по классификации модели. В четвертом столбце находятся результаты моделирования. Расчеты выполнены с учетом географической привязки и временной привязки по сезону, но без учета года. Соответствие экспериментальных и модельных данных в процентах определялось как $\delta_{E-M} = |T_E^{BT} - T_M^{BT}| / T_E^{BT} \cdot 100$, где T_E^{BT} – среднеарифметические значения ЯТ экспериментальных и модельных данных. Наибольшее отклонение наблюдается для аридных районов, строка 4, на волне 30 см и для зоны недостаточного увлажнения, строка 6, на волне 43 см что возможно связано с густой растительностью и наличием пересушенного верхнего слоя почвы на с/х полях. В целом же соответствие экспериментальных и расчетных данных следует признать приемлемым.

Для валидации коэффициента излучения системы почва-лес можно использовать результаты систематизации коэффициента излучения различных типов поверхностей, полу-

ченные в работе (Milshin & Grankov, 2002). Значительный разброс коэффициентов излучения отражает различные режимы увлажнения; температурные вариации, связанные с сезонным ходом радиоизлучения земли; степень покрытия лесом и биомассу леса.

Таким образом, систематизация имеющихся экспериментальных данных радиотеплового излучения земных покровов в дм диапазоне позволяет проводить локальную валидацию модели глобального радиоизлучения Земли.

3. Глобальная валидация

Отсутствие до 2010 г. спутниковых СВЧ-радиометрических данных дм диапазона стимулировало исследование возможности использования данных спутниковых радиометров см диапазона для валидации глобальной модели излучения Земли в дм диапазоне. В работе (Мильшин и др., 2000б) приводятся результаты выполненного нами анализа сезонной динамики среднемесячных значений ЯТ на частоте 6.6 ГГц для основных типов земной поверхности (см. Введение). С этой целью выполнена обработка данных SMMR за май – сентябрь 1982 г., включающая накопление данных по ячейкам $4^{\circ} \times 5^{\circ}$, осреднение за месяц и селекцию по типам земной поверхности. С использованием модели были синтезированы среднемесячные ЯТ для 12 типов поверхностей для мая – сентября 1992 г. и рассчитаны отклонения ЯТ $(T_{\Sigma e}^{BT} - T_{\Sigma m}^{BT}) / T_{\Sigma e}^{BT} * 100$. Сравнительные результаты расчетов приведены на рис.1.

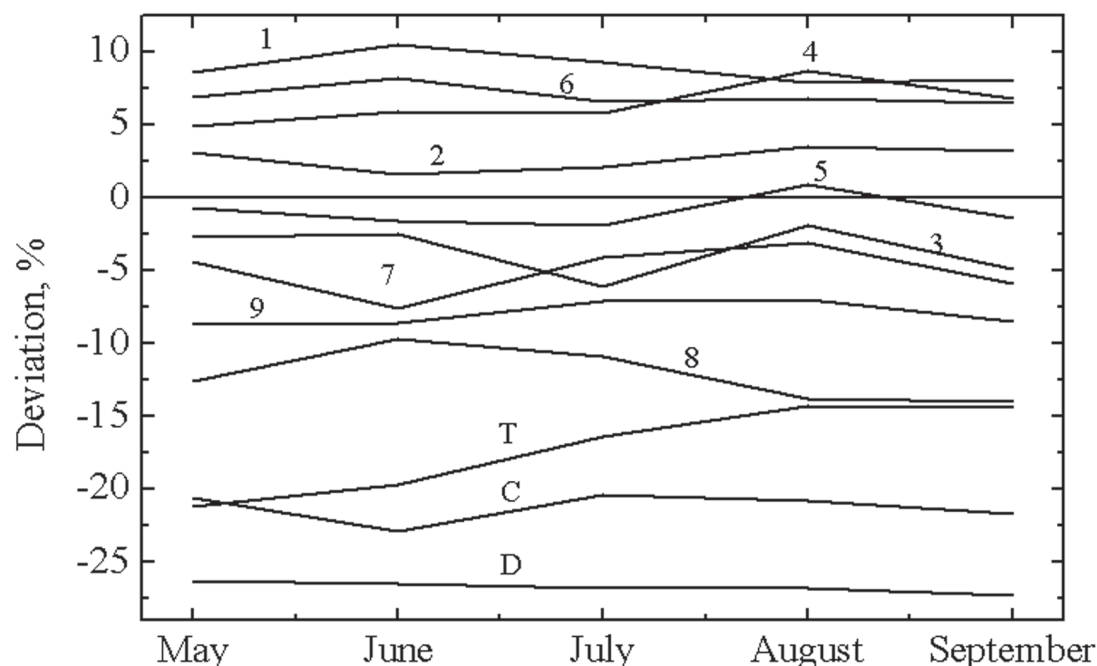


Рис.1. Сравнительная оценка сезонных экспериментальных и модельных ЯТ на волне 4.5 см на ГП для различных типов суши

Из анализа рис.1 следует, что экспериментальные и модельные глобальные данные дают хорошее совпадение, отклонение менее 10% для следующих типов суши 1-7, 9; для типа 8 величина отклонения увеличивается до $-(10 - 15)\%$; для типов С и Т отклонения увеличиваются до $-(15 - 23)\%$, а для типа D – до $-(26 - 27)\%$.

Выполним анализ погрешности между экспериментальными и модельными данными $\Delta T_{\Sigma}^{BT} = T_{\Sigma e}^{BT} - T_{\Sigma m}^{BT}$. Погрешность включает четыре основных составляющих:

$$\Delta T_{\Sigma}^{BT} = \pm \sqrt{\Delta_{Model}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_W^2 + \Delta_A^2},$$

где Δ_{Model} – погрешность модели (отличие алгоритма от истинного); $\Delta_W = \pm \sqrt{\Delta_{WR}^2 + \Delta_{WY}^2} = \pm \sqrt{(T_{\Sigma}^{BT}(1982, W) - T_{\Sigma}^{BT}(1982, W_R))^2 + (T_{\Sigma}^{BT}(1982, W) - T_{\Sigma}^{BT}(1992, W))^2}$; Δ_{WR} – влажностная погрешность, обусловленная различием влажности из архива NCEP/NCAR и истинным значением влажности; Δ_{WY} учитывает межгодовое различие влажности (расчеты ЯТ были выполнены с использованием данных за 1992 г.); $\Delta_t = \pm (T_{\Sigma}^{BT}(1982, t_s) - T_{\Sigma}^{BT}(1992, t_s))$ – температурная погрешность, обусловленная межгодовым различием температур; Δ_A – атмосферная погрешность – при расчетах на волне 4,5 см использовалась модель атмосферы для дм диапазона.

Погрешность модели не превышает 10% (см. раздел 1). Погрешность $\Delta_{WY} = dT_S^{BT} / dW \cdot \Delta W$ при ΔW менее ± 0.05 г/см³ составляет около 10 К. Величина составляет около 15 К. Температурной погрешностью в единицы градусов Цельсия можно пренебречь. Атмосферная погрешность не превышает 6 К. Результирующая величина ΔT_{Σ}^{BT} без учета Δ_{WR} составляет около 25 К или в процентном выражении около 9 – 12%.

Из анализа рис.1 следует, что для типов суши С, D и Т экспериментальные ЯТ существенно превышают значения расчетных ЯТ, что указывает на наличие систематической составляющей ошибки. Предварительный анализ показывает, если значение полей влажности снизить на 0,1 г/см³, то это будет эквивалентно повышению ЯТ среды на 20 К.

4. Применение данных натуральных и самолетных измерений для валидации модели без географической привязки

При расчете ЯТ будем учитывать тип поверхности тестового участка по классификации модели для учета ослабления растительностью. В качестве СВЧ-радиометрических и наземных данных были использованы некоторые результаты эксперимента в штате Флорида и Джорджия, представленные в отчете (Jackson et al, 1979). Используемые данные приведены в таб. 4. В таблице представлены данные, каждое из которых является результатом осреднения по всей площади тестового участка (поля).

В таблице используются следующие обозначения: W_{5-10} и W_{10-15} – объемная влажность почвы в слое 5 – 10 см и 10 – 15 см; t_s – температура поверхностного слоя почвы в °С; ρ_B – плотность поверхностного слоя почвы; $T_{\Sigma E}^{BT}$ – ЯТ поверхности тестового участка, измеренная самолетным радиометром на волне 21 см; $T_{\Sigma M}^{BT}$ – расчетное значение ЯТ на волне 21 см; $\delta_{E-M} = |T_{\Sigma E}^{BT} - T_{\Sigma M}^{BT}| / T_{\Sigma E}^{BT} * 100$ – относительная погрешность модели в %.

Сравнивая экспериментальные и модельные оценки ЯТ тестовых участков, отметим их хорошее согласие, различие менее 10%. В трех случаях различие более 10%, это участок G404 в пойме реки с аномально высокой влажностью почвы, земля под паром на участке G104 и плантация земляного ореха с 10% покрытием на участке G205.

Рассмотренный подход обеспечивает хорошее качество локальной валидации модели.

Таблица 4. Результаты сопоставления данных самолетных и наземных измерений и расчетных данных на волне 21 см для различных типов суши

<i>Дата</i>	<i>Поле</i>	W_{5-10} <i>г/см³</i>	W_{10-15} <i>г/см³</i>	t_s , <i>°C</i>	ρ_B <i>г/см³</i>	$T_{\Sigma E}^{BT}$ <i>К</i>	$T_{\Sigma M}^{BT}$ <i>К</i>	δ_{E-M} <i>%</i>	<i>Тип суши</i>	<i>Тип поверхности</i>
30.11.78	F310	0.229	0.207	26	1.23	229.5	242.9	-5.8	7	Пастбище, густая трава 2.5 -10 см
2.05.79		0.181	0.179	26		254.4	253	0.6		
22.05.79		0.177	0.167	27		259.5	257.5	0.8		
13.06.79		0.113	0.098	32		277.5	271.1	2.3		
2.05.79	F306	0.217	0.187	25	1.3	269.5	262.3	2.7	3	лесная местность, пальмы, листопадный лес
22.05.79		0.173	0.151	26		269.5	267	0.9		
13.06.79		0.169	0.146	31		273	268	1.8		
13.06.79	G103	0.107	0.115	31	1.72	277.4	262.5	5.4	7	Пастбище, густая трава
11.09.79		0.136	0.135	23		278.8	264.8	5		
19.11.79		0.166	0.183	19		260.1	249.6	4		
1.05.79	G404	0.613	0.552	17	1.31	266.6	224	16	4	сосна твердой породы, пойма реки
11.09.79		0.262	0.232	22		276	254.5	7.8		
19.11.79		0.341	0.347	18		259.5	246.3	6.1		
1.05.79	G405	0.091	0.09	20	1.49	272.2	267	1.9	4	сосна подлесок, плантация
11.09.79		0.056	0.062	23		281.2	273.2	2.8		
19.11.79		0.092	0.084	19		266.4	262	1.7		
1.05.79	G104	0.09	0.09	30	1.46	287.4	252	12.3	C	земля под паром
13.06.79		0.062	0.072	29		293.7	267.7	8.9		земляной орех 20 см
11.09.79		0.033	0.036	21		291.1	276.5	5		земляной орех, густая растительность
19.11.79		0.077	0.083	26		268.7	256.3	6.4		голая почва
1.05.79	G205	0.096	0.114	30	1.64	286.8	252.5	12	C	земляной орех 10% покрытия
13.06.79		0.053	0.064	31		291.6	270.3	7.3		земляной орех 75% покрытия
11.09.79		0.077	0.082	28		287.4	260.1	9.5		земляной орех 50% покрытия
19.11.79		0.087	0.095	22		265.3	244.4	7.9		голая почва
1.05.79	G403	0.103	0.111	29	1.44	287.9	260.9	9.4	C	земляной орех, слабое покрытие
13.06.79		0.087	0.09	30		290.4	268	7.7		земляной орех 75% покрытия
11.09.79		0.041	0.041	28		288.2	273.1	5.2		земляной орех, густая растительность
19.11.79		0.085	0.036	22		271.3	249.4	8.1		земляной орех, урожай собран
11.09.79	G208	0.045	0.04	35	1.48	280.7	276.3	1.6	C	земляной орех 25% покрытия
19.11.79		0.093	0.101	23		247.4	246.5	0.4		земляной орех, урожай собран

Заключение

В работе рассмотрены подходы для валидации модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне. Получена оценка погрешности самой модели, составляющая менее 10%. Для локальной валидации лучший результат дает под-

ход, когда в модель вводятся параметры тестового участка. Глобальная валидация выполнена с использованием спутниковых экспериментальных данных на волне 4,5 см. Следует отметить, что в области длин волн более 30 см, практически отсутствуют экспериментальные данные по радиоизлучению земных покровов.

Литература

1. *Галкин Ю.С., Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шмаленюк А.С.* (2007) Моделирование ослабления радиоволн лесным пологом в глобальной модели радиоизлучения земной поверхности в L- и P- диапазонах // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2007. Вып. 2 (51). С. 90-99.
2. *Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К.* (2010) Подходы при валидации модели глобального радиоизлучения земли в дециметровом диапазоне // Материалы VII научно-технической конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли». Москва, 2010. С. 329-331.
3. *Мильшин А.А., Гранков А.Г.* (2000) Некоторые результаты экспериментальных исследований радиотеплового излучения леса в L-диапазоне // Исследование Земли из космоса. 2000. № 3. С. 1-8.
4. *Мильшин А.А., Гранков А.Г., Паришина Л.А.* (2000а) Экспериментальные значения радиояркостных температур земных покровов в L- и P-диапазоне // В сб.: «Проблемы экоинформатики» (материалы 4-го международного симпозиума). 2000. М.: ИРЭ РАН, ИПЭ РАЕН. С. 90-93.
5. *Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К.* (1998) 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. Москва. С. 75-76.
6. *Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К.* (2010) Валидация модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне // Тезисы докладов. Восьмая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15-19 ноября 2010. Москва. ИКИ РАН. С. 136-137.
7. *Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К., Кузнецов О.О.* (2000б) Крупномасштабная пространственно-временная динамика радиотеплового излучения земной поверхности по данным радиометра SMMR // LV научная сессия РНТОРЭС им. А.С. Попова. 17-19 мая 2000. Москва. С. 101-102.
8. *Wang J., Jackson T, Engman E., et al.* (1984) Microwave radiometer experiment of soil moisture sensing at BARC test site during summer 1981 NASA Technical Memorandum 86056 GSFC. January 1984.
9. *Grankov A.G. and Milshin A.A.* (1997) Modeling microwave emission of land surface at L-, P-bands in the frame of the general circulation model // Annales Geophysicae Suppl. II to Vol. 14, Part II (Hydrology, Oceans, Atmosphere & Nonlinear Geophysics). 1997. P. 276.
10. *Milshin A.A., Grankov A.G.* (2002) Influence of the cosmic radiation on the data of satellite radiometric measurements in L- and P-bands // В сб.: «Проблемы экоинформатики» (материалы 5-го международного симпозиума). 2002. М.: ИРЭ РАН, ИПЭ РАЕН. С. 33-37.

Validation of the Model of the global-large scale natural microwave Earth radiation in a decimeter band

A.A. Milshin, A.G. Grankov, N.K. Shelobanova

*Kotel'nikov Institute of Radioengineering & Electronics, Fryazino Branch, RAS
141190 Fryazino, Moscow region, 1 Vvedenskii sq.
E-mails: amilshin@list.ru*

In the article four approaches for validation of the model of the global large-scale natural microwave Earth radiation in a decimeter band are considered. The first approach is based on the analysis of errors of model on the basis of the elementary theory of errors. At the second approach data of model data were compared to the systematic data of local natural and airplane measurements 70 ÷ 90th years in various geographical zones of Northern hemisphere during spring-summery-autumnal seasons in the USSR, Russia and the USA. The third approach is based on comparison of the data of the global satellite measurements and the model data in a centimeter band. At the basis of the fourth approach lays a local validation of the model without the geographical location, based on the account in model of soil parameters on a test site which are defined by means of land measurements.

Keywords: natural microwave Earth radiation model, decimeter band, natural, airplane and satellite measurements, global, local validation.