



Валидация модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне

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

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязинский филиал
<http://www.ire-ras-lab208.narod.ru>

МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ

(Цели, задачи, назначение)

Исследование взаимосвязи крупномасштабной пространственно-временной динамики радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне и гидрологического режима почв, температурно-влажностных и биометрических показателей растительности, солености океана

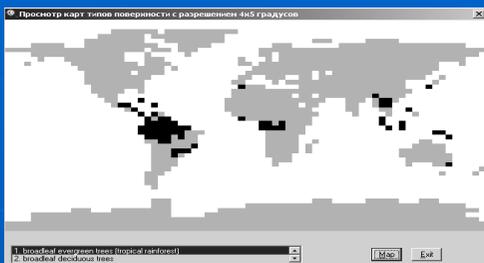
- Оценка научно-технического потенциала перспективных спутниковых радиометров L - и P - диапазонов (15 - 100 см) в климатологических задачах
- Создание и проверка универсальных алгоритмов глобального мониторинга влажности почв, солености океана в рамках российских проектов «СВЧ-радиометрия» на МКС и «Зонд ПП» на микроспутнике МКА-ФКИ №1 и проекта SMOS на КА Proteus европейского космического агентства
- Обоснование выбора второй длины волны спутникового радиометра
- Планирование спутниковых экспериментов
- Совместное использование технологий моделирования (ГИМС) и СВЧ – данных

Модель

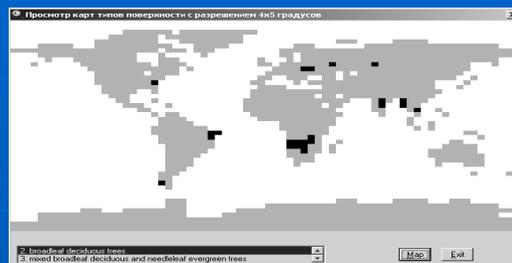
Пространственное разрешение по широте и долготе.....	4°x 5°
Временное разрешение.....	сутки, месяц, год
Излучающие слои.....	суша, вода, растительность, тропосфера, ионосфера, космическое радиоизлучение
Длины волн, см.....	10, 15, 21, 30, 43, 50, 60, 75, 100
Типы поверхностей	широколиственные вечнозеленые леса, широколиственные леса, смешанные хвойные и широколиственные леса, хвойные леса, высокоширотные лиственные леса, саванны, степи, тундры, пустыни
Почва.....	двухслойная среда с учетом долей песка, глины и гумуса



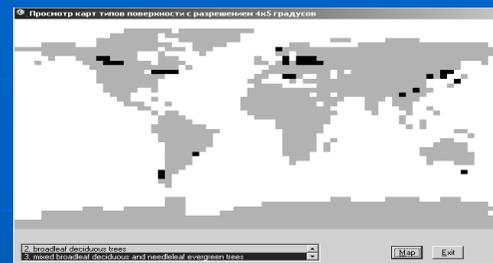
Пространственное распределение основных типов земной поверхности модели глобального радиоизлучения Земли



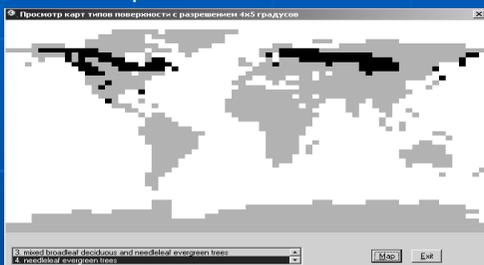
тропический лес



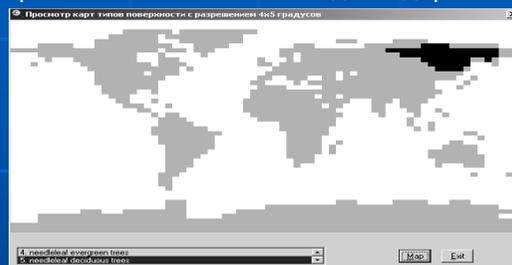
широколиственные листопадные деревья



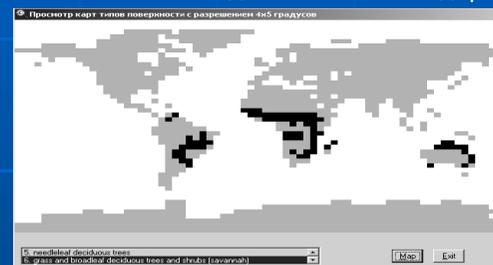
смешанные листопадные и хвойные деревья



хвойные вечнозеленые деревья



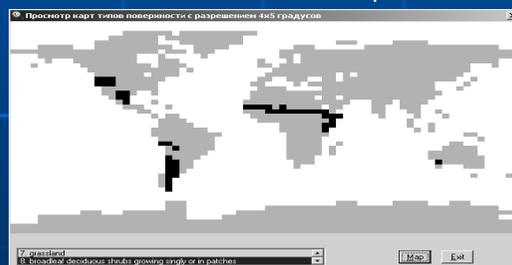
хвойные листопадные деревья



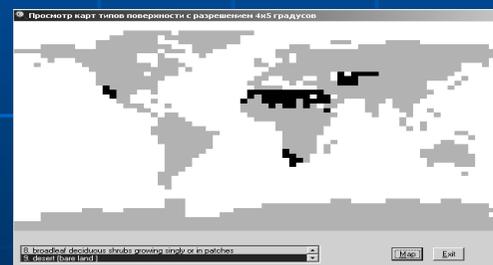
саванна



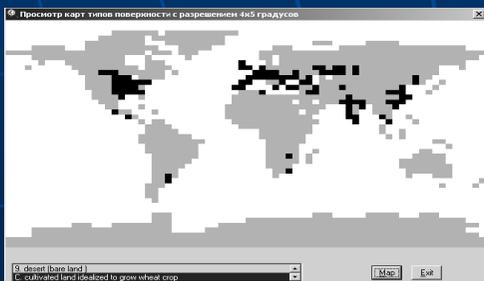
пастбища



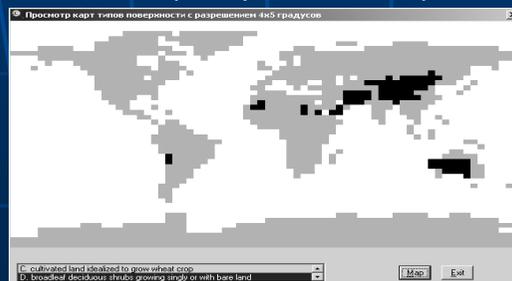
листопадные кусты (одиночные и участки)



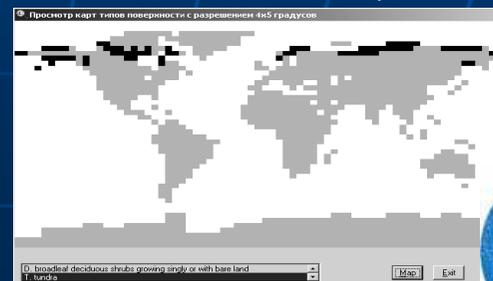
листопадные одиночные кусты



зеоновые культуры

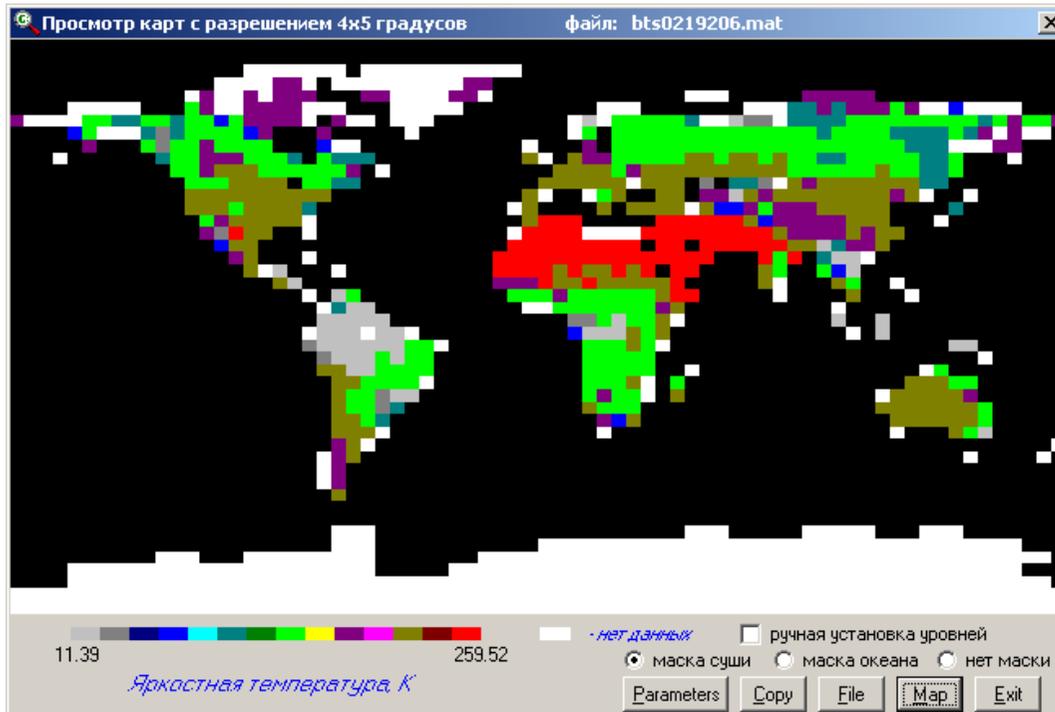


пустыня



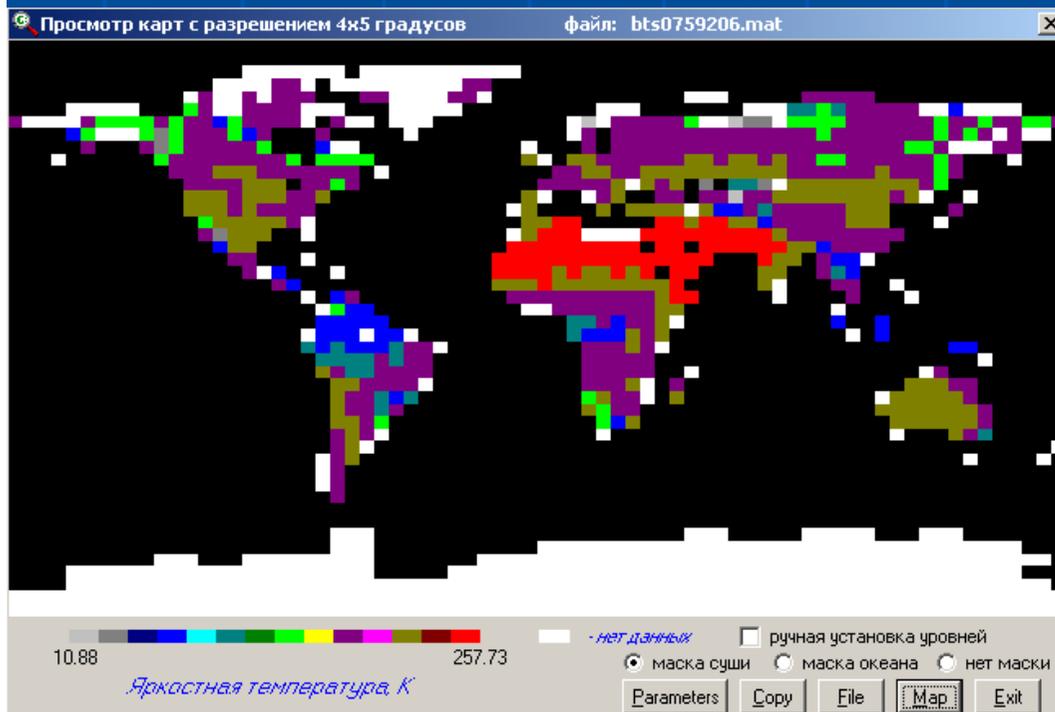
тундра





на волне 21 см

Пространственное
распределение
радиоизлучения
земной поверхности



на волне 75 см



Подходы при валидации

1. Анализ погрешностей определения глобального радиоизлучения земли на примере наиболее сложного компонента модели - модели ЯТ системы «почва – растительность – атмосфера - космос»
2. Обработка и применение данных натуральных и самолетных измерений для локальной валидации модели
3. Сопоставление данных натуральных, самолетных измерений в сантиметровом диапазоне с данными моделирования
4. Локальная валидации модели без географической привязки, основанный на учете в модели параметров почвы тестового участка, которые определяются посредством наземных измерений
5. Глобальная валидация модели в сантиметровом диапазоне





Значения основных составляющих погрешности модели

Вид производной	Чувствительность $\frac{dY}{dX_i}$		Погрешность аргументов ΔX_i		Погрешность функции ΔY_i , К	
	Длина волны, см		Длина волны, см		Длина волны, см	
	10	100	10	100	10	100
1) $\frac{dT_{\Sigma 1}^{BT}}{dt}$	47 - 280	8 - 219	0.06 – 0.006	0.062 - 0.043	1.7 - 2.8	0.5 – 9.4
2) $\frac{dT_{\Sigma 1}^{BT}}{dT_C^{BT}}$	0.6 – 0.06	0.62 – 0.43	4.7-25.3	0.8 – 9.1	1.5 – 2.8	0.5 - 11
3) $\frac{dT_{\Sigma 1}^{BT}}{dT_S^{BT}}$	0.83 – 0.09	0.97 – 0.67	21.5	18.9	2 - 18	13 – 18
4) $\frac{dT_{\Sigma 1}^{BT}}{dr_s}$	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

Δ_{SC} , К		Δ_{SKY} , К		$\Delta_{\Sigma 1}$, К	
Длина волны, см		Длина волны, см		Длина волны, см	
10	100	10	100	10	100
<18.5	<23.1	<3.72	<8.1	<18.8	24.5

Подход № 1



Погрешность
< 10%

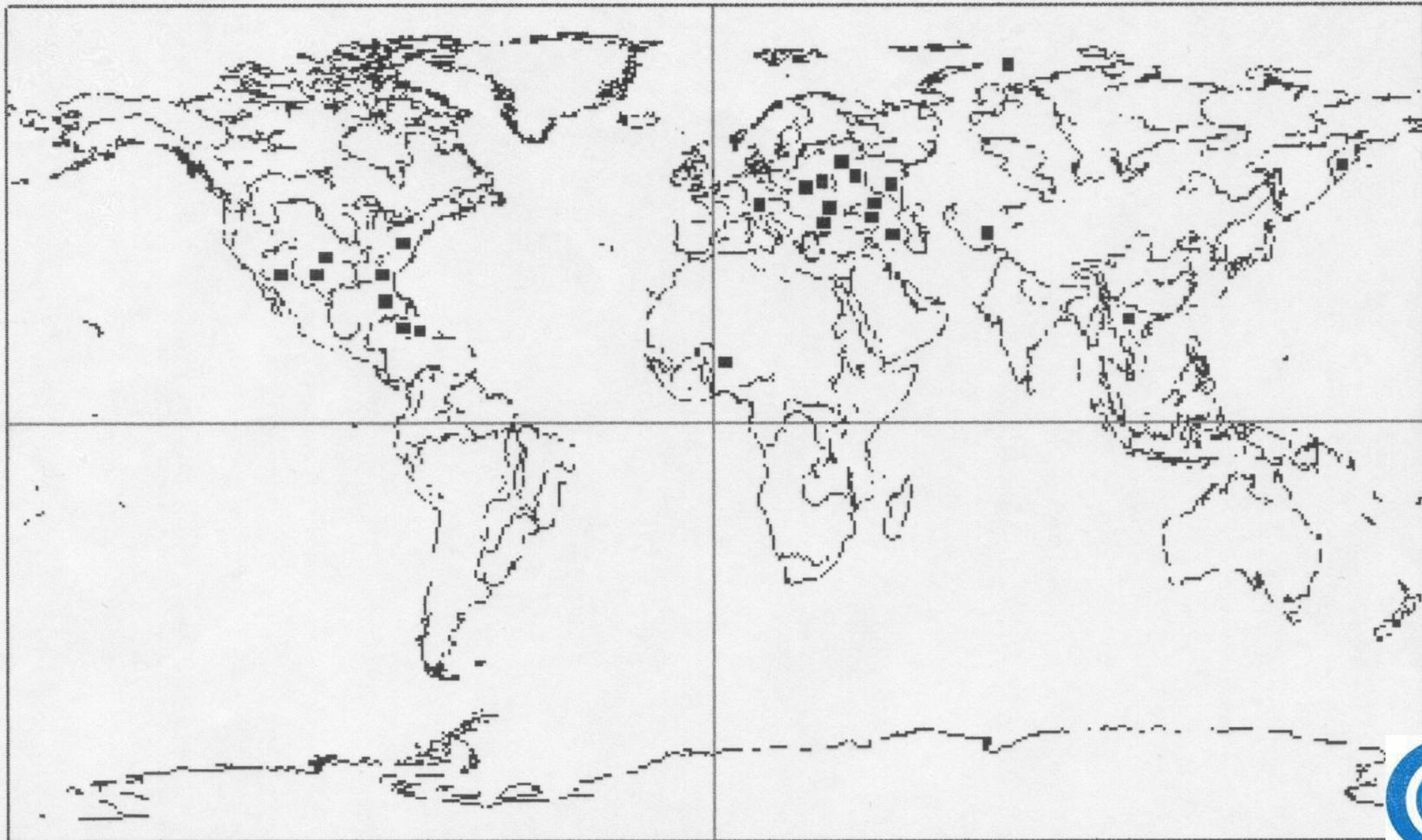
Районы самолетных и наземных измерений радиоизлучения суши в дециметровом диапазоне

Подходы № 2,3

23 района

Площадь участков от десятков кв. метров до десятков кв. километров

Измерения в диапазоне волн 18 – 50 см в весенне-летне-осенние сезоны



Сопоставление экспериментальных и модельных РЯТ для различных природных зон Северного полушария в L- и P-диапазоне

ц/п	Природные зоны и типы земной поверхности тестового участка (тип суши в модели)	Длина волны, см	ЯТ, К Эксперимент	ЯТ, К модель	Соответствие опыта и модели
1	Тайга (4)	30	170-230	232	X
2	Лесостепи (С). С/х поля	21	198-294	201-214	X
		30	200-240	199	X
3	Степи. Аридные районы (С). С/х поля	21	228-256	195-198	У
		30	230-270	189-196	Н
4	Полупустыни и пустыни (9)	18	241-249	251	X
		30	260-290	250	У
5	Полупустыни и пустыни. Зона недостаточного увлажнения (D). С/х поля	21	206-252	196	У
		43	209-262	168	Н
6	Область высотной поясности. Зона переменного увлажнения (С). С/х поля	21	199-255	195	X
		43	(184-256)	189	X
7	Смешанные и широколиственные леса (С,2,3,4). Смешанные леса и с/х поля	21	229-273	178-235	X
		30	248-259	207-223	У
8	Смешанные и широколиственные леса (3). Торф, гари торфяного и сфагнового болота	20	213-293	246	X
		30	223-293	239	X
		50	242-278	231	У
9	Смешанные и широколиственные леса (3). Смешанные леса и с/х поля	21	198-260	227	X
		27	179-258	221	X
10	Смешанные и широколиственные леса (3). Смешанные леса.	21	234-265	237	X
11	Тропический лес (1). С/х поля	21	221-267	284	У
12	Переменно-влажные леса (С). С/х поля	21	183-284	214-221	X
		50	200-263	209-214	X
13	Саванна (8). Кустарники на плато и песках, поля просо	21	169-277	196-198	X

Подход № 2

$$\left| T_E^{BT} - T_M^{BT} \right|$$

X < 5К

У < 25К

Н > 25К



Коэффициенты взаимной корреляции яркостных температур для природных зон Северного полушария



Подход № 3

Коэффициенты взаимной корреляции ЯТ для различных комбинаций длин волн. Э – эксперимент, М – модельные данные. Ячейки 4°x5°

Район	Природные зоны Тип поверхности тестового участка	Дата	Вид измерений	λ_1 λ_2 , см	Коэффициент корреляции, R		
					V	H	$\theta=0$
США, Мэритенд	Переменно- влажные леса. С/х поля	октябрь 1979	полевые	6, 21	0.89	0.87	0.92
США, Мэритенд	Переменно- влажные леса. С/х поля	июль- сентябрь 1980	полевые	6, 21	0.89	0.87	0.93
США, Мэритенд	Переменно- влажные леса. С/х поля	июнь 1982	полевые	6, 21	0.33	0.70	-
США, Мэритенд	Переменно- влажные леса. Голая почва, поля кукурузы	июнь, июль, сентябрь 1994	полевые	11,3, 21	-	-	0.99
США, Техас, Оклахома	Лесостепь и степь. С/х поля	май 1978	Самолет С-130	6, 21	-	0.79	0.84
США, Флорида	Переменно- влажные леса. С/х поля	Ноябрь 1978, май- июнь 1979	Самолет С-130	6, 21	-	0.68	0.77
США, Джорджия	Переменно- влажные леса. С/х поля	Май, июнь, сентябрь, ноябрь 1979	Самолет С-130	6, 21	-	0.61	0.76
США, Оклахома	Лесостепь и степь. С/х поля	Июнь, август, сентябрь 1980	Самолет С-130	6, 21	-	0.92	0.93
Краснодарский Край	Область высотной поясности. С/х поля	Март 1989	Самолет АН-2	5,5, 21	-	-	0.68
Одесская область	Лесостепь и степь. С/х поля	Июль 1991	Самолет АН-2	2, 6 6, 21 6, 27	-	0.61-0.98 0.29-0.97 0.13-0.95	
Германия, Бавария	Смешанные и широколиственные леса. Смешанные леса и с/х поля	Ноябрь 1992	Самолет Dornier- 228	6, 21	-	0.48-0.96	
Белорусь	Смешанные и широколиственные леса. С/х поля	Сентябрь 1993	Вертолет МИ-2	6, 27	-	0.56-0.98	
Московская область, Шатура	Смешанные и широколиственные леса. Смешанный хвойно-лиственный лес	Июль 1995	Самолет АН-2	2, 21	-	0.68-0.95	

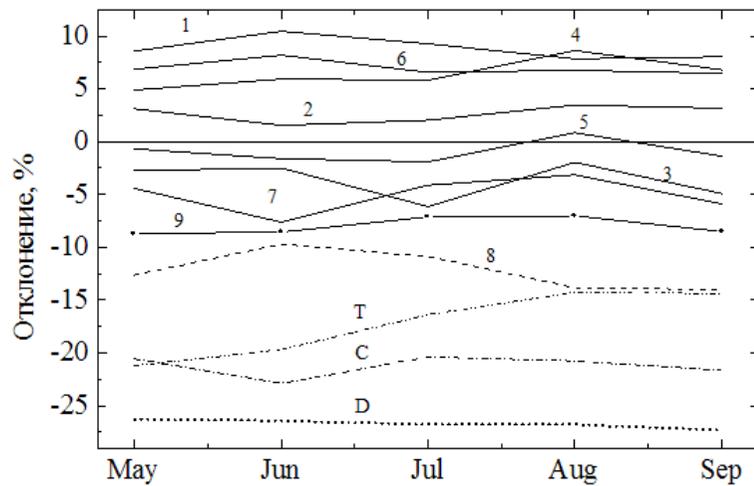
Волна, см	Коэффициент корреляции, R					
	май	июнь	июль	авгус т	сентя брь	Май- сентя брь
4.5 (Э), 21 (М)	0.80	0.53	0.61	0.61	0.76	0.66
4.5 (Э), 50 (М)	0.76	0.49	0.49	0.59	0.74	0.62
4.5 (М), 21 (М)	-	-	-	-	-	0.82
4.5 (М), 50 (М)	-	-	-	-	-	0.67

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

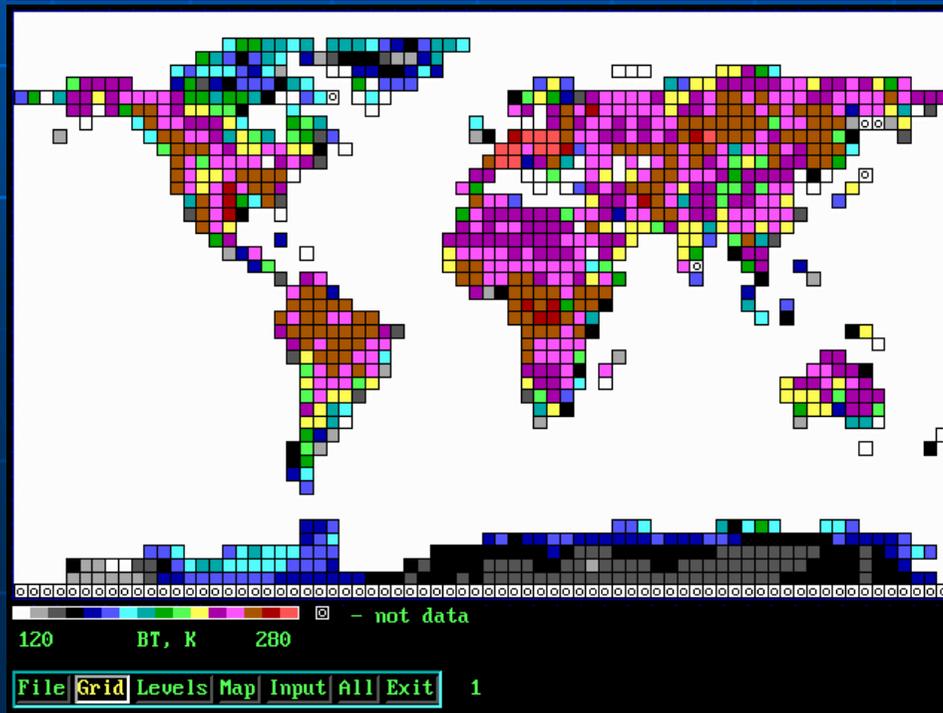
Дата	Участок	W_{5-10} г/см ³	W_{10-15} г/см ³	$t_{S,}$ °C	ρ_B г/см ³	T_{LE}^{BT} К	T_{LM}^{BT} К	δ_{E-M} %	Тип суши	Тип поверхности
30.11.78	F310	0.229	0.207	26	1.23	229.5	242.9	-5.8	7	Пастбище, густая трава 2.5 -10 см
2.05.79		0.181	0.179	26		254.4	253	0.6		
22.05.79		0.177	0.167	27		259.5	257.5	0.8		
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

Подход № 4





Сравнительная оценка $(T_{\Sigma e}^{BT} - T_{\Sigma m}^{BT})/T_{\Sigma e}^{BT}$ сезонных экспериментальных $T_{\Sigma e}^{BT}$ и модельных $T_{\Sigma m}^{BT}$ ЯТ на волне 4.5 см на ГП для различных типов суши



Глобальная валидация модели в сантиметровом диапазоне

Подход № 5

Крупномасштабное
радиотепловое излучение
Земли на волне 4.5 см на
горизонтальной
поляризации по данным
радиометра SMMR спутника
Nimbus-7



Планируется привлечь для глобальной
валидации данные ЯТ европейского
радиометра MIRAS (SMOS) и российских L-
радиометров на МКС и МКА-ФКИ №1

Спасибо за внимание!