

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СУШИ ПО ДАНЫМ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.И. Соловьев, С.А. Успенский, А.Б. Успенский
ГУ «НИЦ «Планета», Москва
e-mail: uspenskys@planet.iitp.ru

Конкретная фундаментальная задача, на решение которой направлена работа

Развитие метода спутникового мониторинга термического режима поверхности суши, обеспечивающего получение возможно более точных оценок температуры поверхности суши (ТПС) по данным измерений с геостационарных метеорологических ИСЗ. Дистанционные измерения ТПС с высоким пространственным (порядка 10-15 км) и временным (не реже 1 раза в 3 часа) разрешением существенно дополняют, а во многих регионах заменяют данные наблюдений ТПС *in-situ* редкой наземной наблюдательной сети. Усвоение спутниковых и наземных данных о ТПС даст возможность оценки текущего состояния термического режима суши, а получаемые с помощью системы усвоения поля (пространственные распределения) ТПС для различных сроков наблюдения могут использоваться в качестве начальных условий в моделях гидрометеорологических прогнозов.

Факторы, которые необходимо учитывать при разработке методов дистанционного определения ТПС

- - вследствие «нечерноты» ИС может заметно отличаться от 1 (диапазон изменения 0.8-0.98), варьирует по спектру и недостаточно хорошо известна для ряда основных типов ЗП;
- - измеряемое с ИСЗ уходящее ИК излучение на ВГА определяется величинами T_s , $e(\nu)$, а также атмосферным ослаблением; даже при корректном учете атмосферного ослабления определение T_s , $e(\nu)$ невозможно без привлечения дополнительной информации об ИС;
- - ТПС имеет значительную пространственную (в частности, в пределах одного пиксела зондирующей аппаратуры) и временную изменчивость (суточный цикл, эффекты перегрева), в связи с чем сопоставление точечных наблюдений T_s *in situ* с пространственно-осредненными спутниковыми оценками затруднено;
- - использование данных с одного полярно-орбитального ИСЗ обеспечивает покрытие одной и той же территории только дважды в сутки, что затрудняет мониторинг суточного хода T_s ;
- - разность $T_s - T_a$ над сушей, где T_a - температура приповерхностного воздуха (на уровне ~ 2 метра), может быть значительной.

Характеристики ИК каналов сканирующей аппаратуры SEVIRI/Meteosat-8, -9 и МСУ-ГС/Электро-Л

N	Каналы	Центр. канала (мкм)	Границы каналов SEVIRI (мкм)	Ширина (см ⁻¹)	Границы каналов МСУ-ГС (мкм)	Примечание
1	ИК 3.9	3.92	3.48 - 4.36	313.9	3.5 – 4.01	Окно прозрачности
2	ВП 6.2	6.25	5.35 – 7.15	227.0	5.37 – 7.0	канал «водяного пара»
3	ВП 7.3	7.35	6.85 – 7.85	88.5	7.5 – 8.5	канал «водяного пара»
4	ИК 8.7	8.7	8.30 – 9.10	50.0	8.2 – 9.2	«прозрачный» канал
5	ИК 9.7	9.66	9.38 – 9.94	28.0	9.2 – 10.2	«озонный» канал
6	ИК 10.8	10.8	9.8 – 11.8	80.0	10.2 – 11.2	канал РОП
7	ИК 12.0	12.0	11.0 – 13.0	68.0	11.2 – 12.5	канал РОП
8	ИК 13.4	13.4	12.4 – 14.4	68.8	-	тропосферный температурный канал



1: Vis 0.6 μ m



2: Vis 0.8 μ m



3: IR 1.6 μ m



4: IR 3.9 μ m



5: WV 6.2 μ m



6: WV 7.3 μ m



7: IR 8.7 μ m



8: IR 9.7 μ m



9: IR 10.8 μ m



10: IR 12.0 μ m



11: IR 13.4 μ m



12: High Res Vis

Start

RX



Close

Метод анализа данных SEVIRI

Предложенный метод представляет собой комбинацию метода РОП и МДТ и использует разновременные (3 срока) измерения аппаратуры SEVIRI/Meteosat-9 в каналах РОП N 9 (10.8 мкм) и N 10 (12.0 мкм).

▪ Основная формула локального метода РОП:

$$T_s = a_1 + (a_2 + a_3 g_1(e) + a_4 g_2(e)) (T1 + T2) + (a_5 + a_6 g_1(e) + a_7 g_2(e)) (T1 - T2) .$$

Здесь $T1, T2$ – радиационные температуры, измеренные в каналах N 9, N 10; $g_1(e) = (1-e)/e$, $g_2(e) = \Delta e/e_2$, $e = 0.5(e_1 + e_2)$, $\Delta e = e_1 - e_2$.

▪ МДТ представляет собой подгонку с помощью м.н.к. измеренных в сроки t_1 и t_2 сигналов $I_j(t_i)$ к моделированным сигналам $I_j^p(t_i)$ в каналах РОП ($j = 1, 2$). Сигналы $I_j^p(t_i)$ рассчитываются с помощью комплекса RTTOV-7 в соответствии с уравнением переноса ИК излучения

$$I_j^p(\theta; t_i) = e_j B_j(T_s(t_i)) \tau_{j_s}(\theta; t_i) + I_j^{\uparrow}(\theta; t_i) + (1-e_j) \tau_{j_s}(\theta; t_i) I_j^{\downarrow}(\theta; t_i), \quad i, j = 1, 2.$$

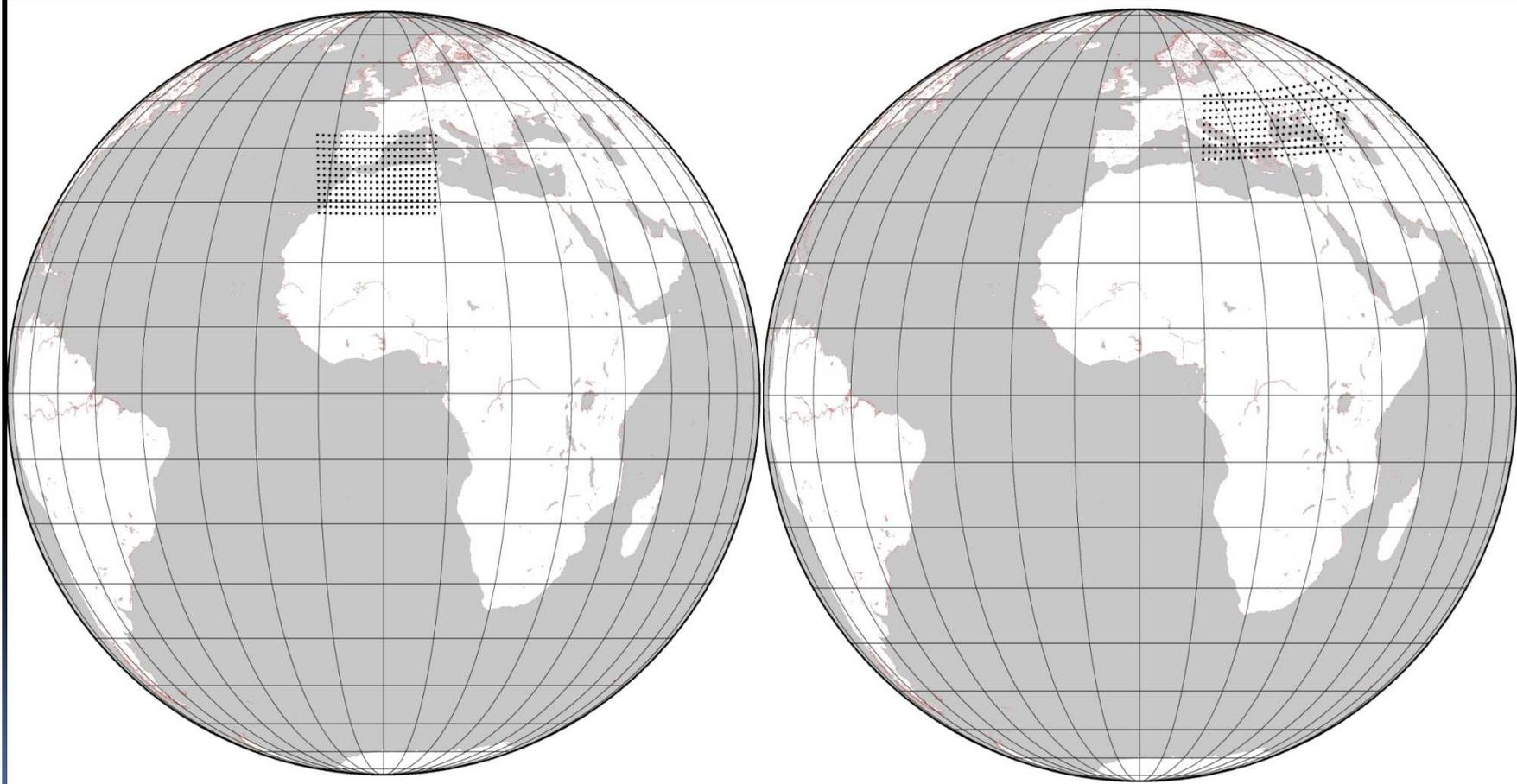
Подгонка измеренных и расчетных сигналов в обобщенном алгоритме МДТ (для $M > 2$ сроков) осуществляется путем минимизации функции:

$$\Phi_k(T_s(t_1), T_s(t_2), \dots, T_s(t_M), e_1, e_2) = (2M)^{-1} \sum \sum [I_j(t_i) - I_j^p(t_i)]^2$$

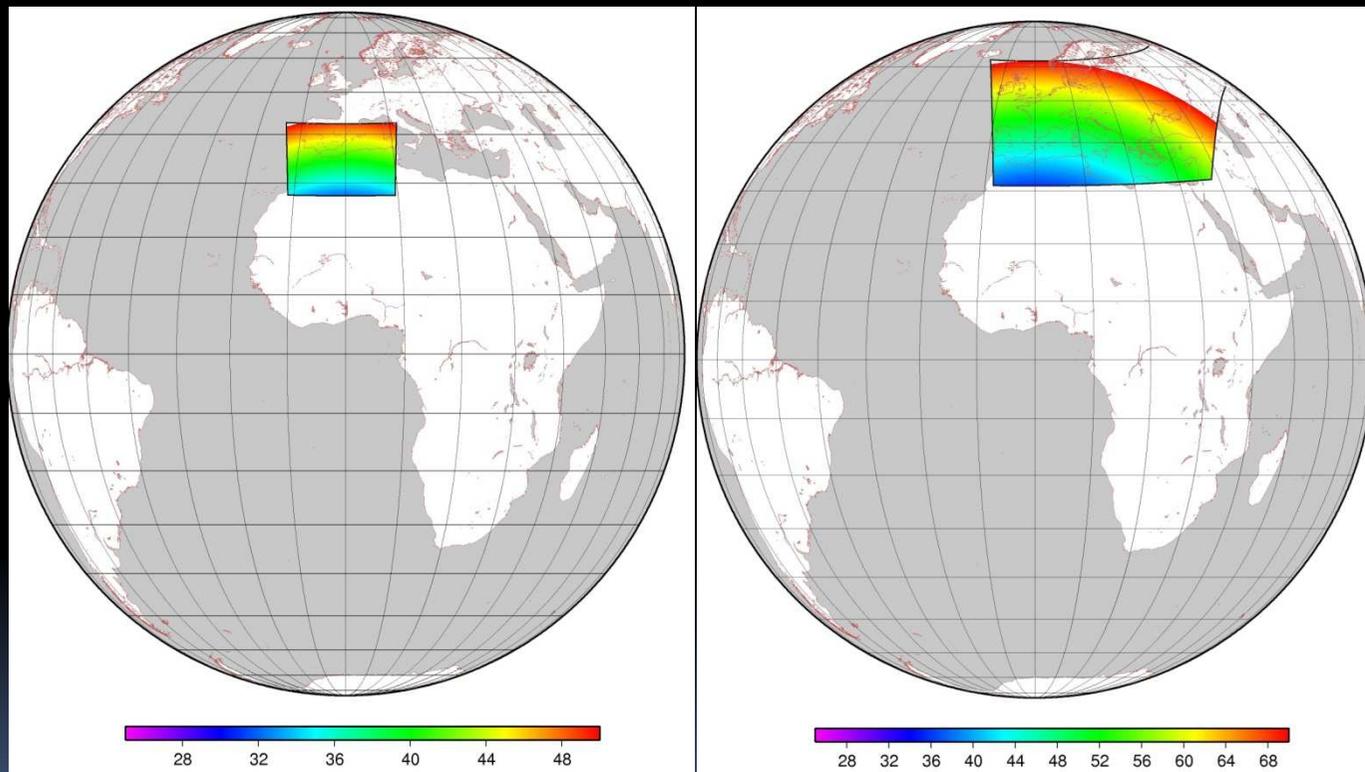


РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ТПС И ИС ПО ДАННЫМ SEVIRI

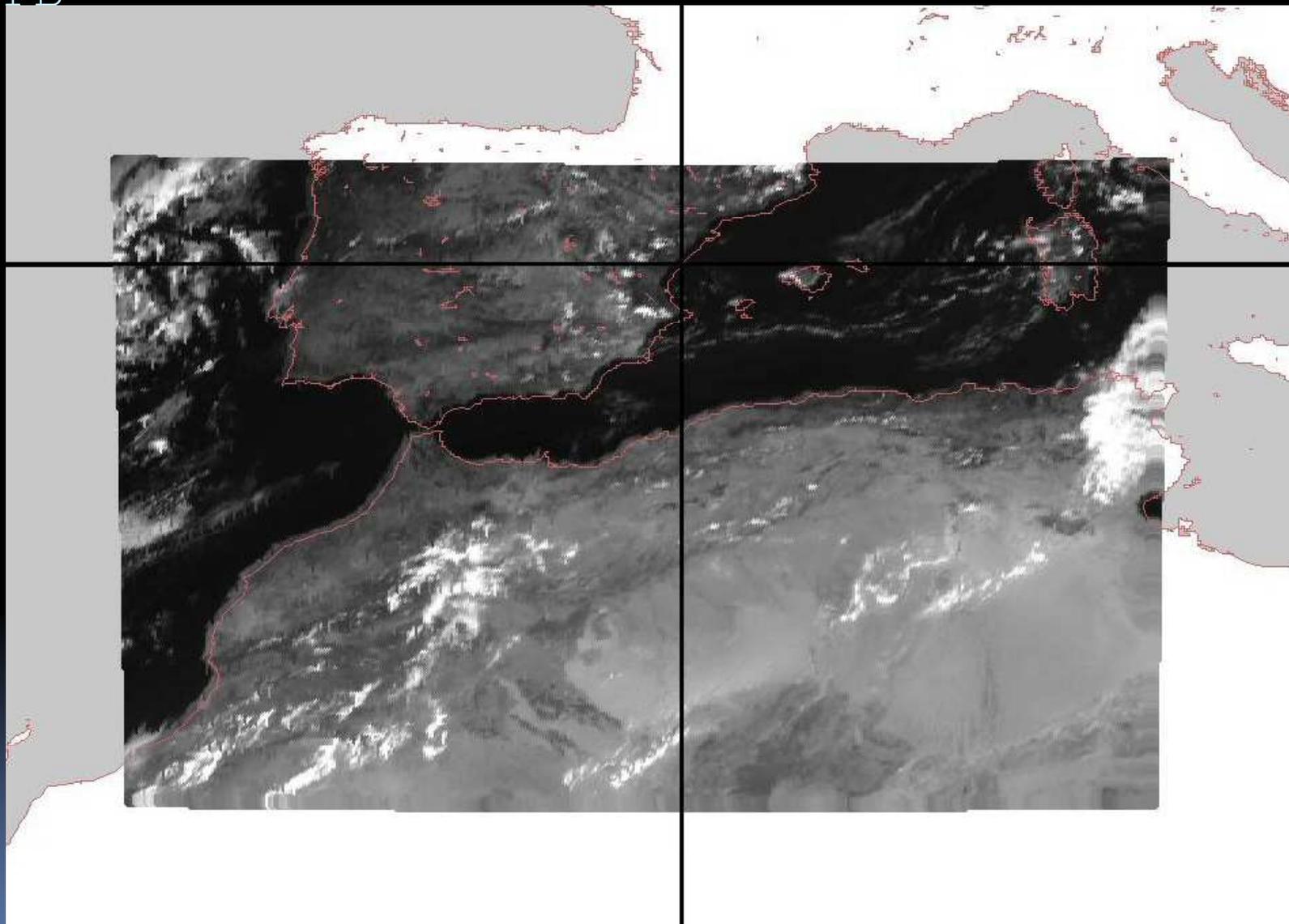
Области I и II с зенитными углами измерений
SEVIRI в диапазонах $35^\circ - 45^\circ$, $45^\circ - 50^\circ$

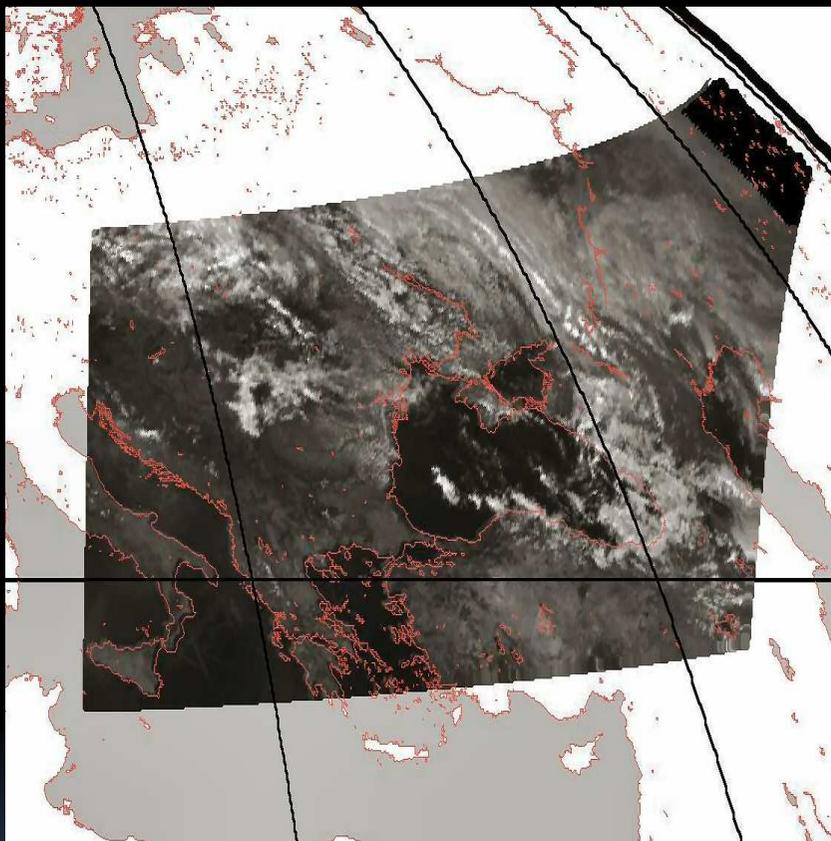


Зенитные углы для выбранных областей

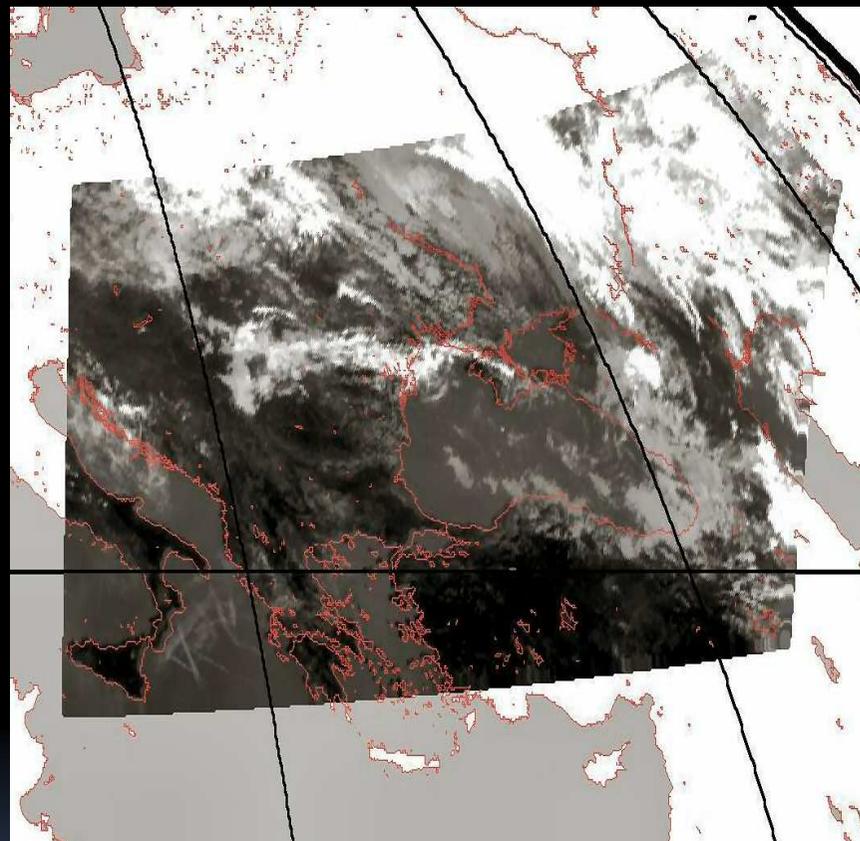


Регион 1, видимый канал, 2008.09.01, 12.00
СТВ





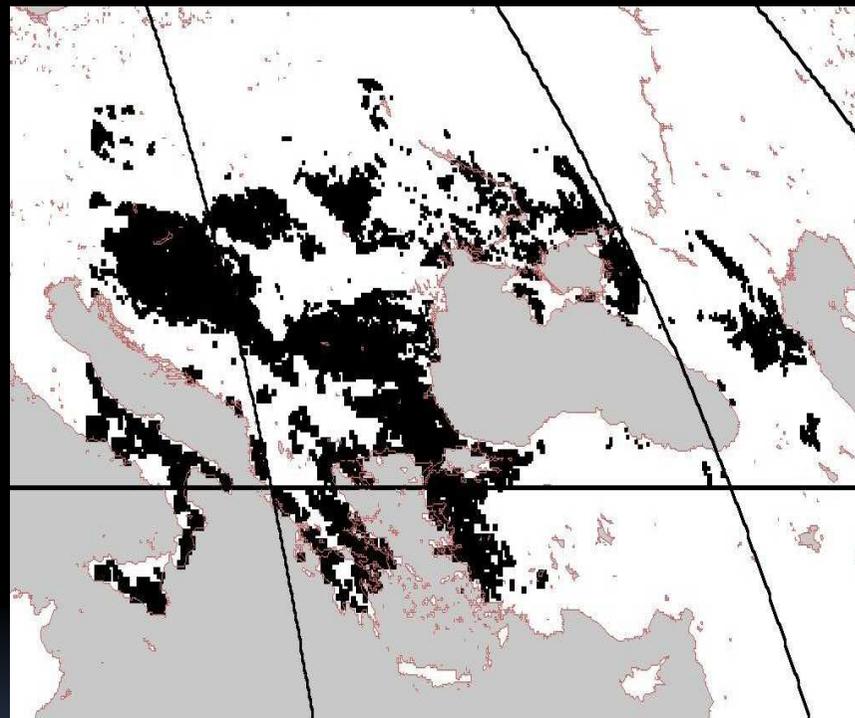
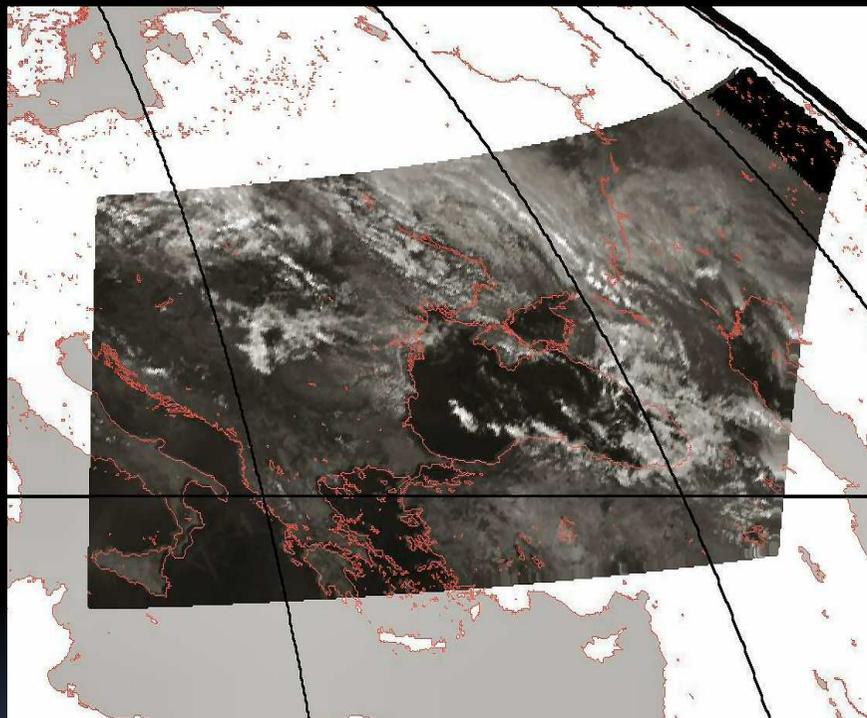
Регион II, видимый канал,
2008.09.11, 12ч 00м



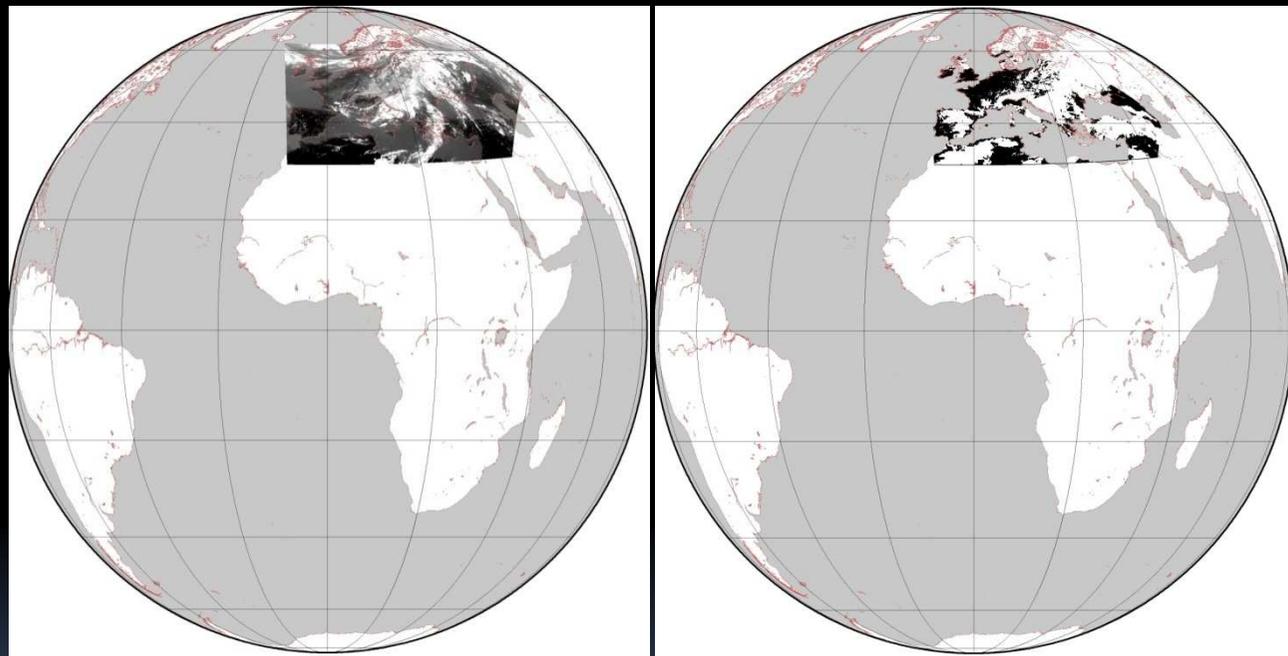
Регион II, ИК канал,
2008.09.11, 12ч 00м

Регион II, облачная маска, 2008.09.11, 12.

00 СВВ



ИК-изображение и маска облачности,
02.06.2009

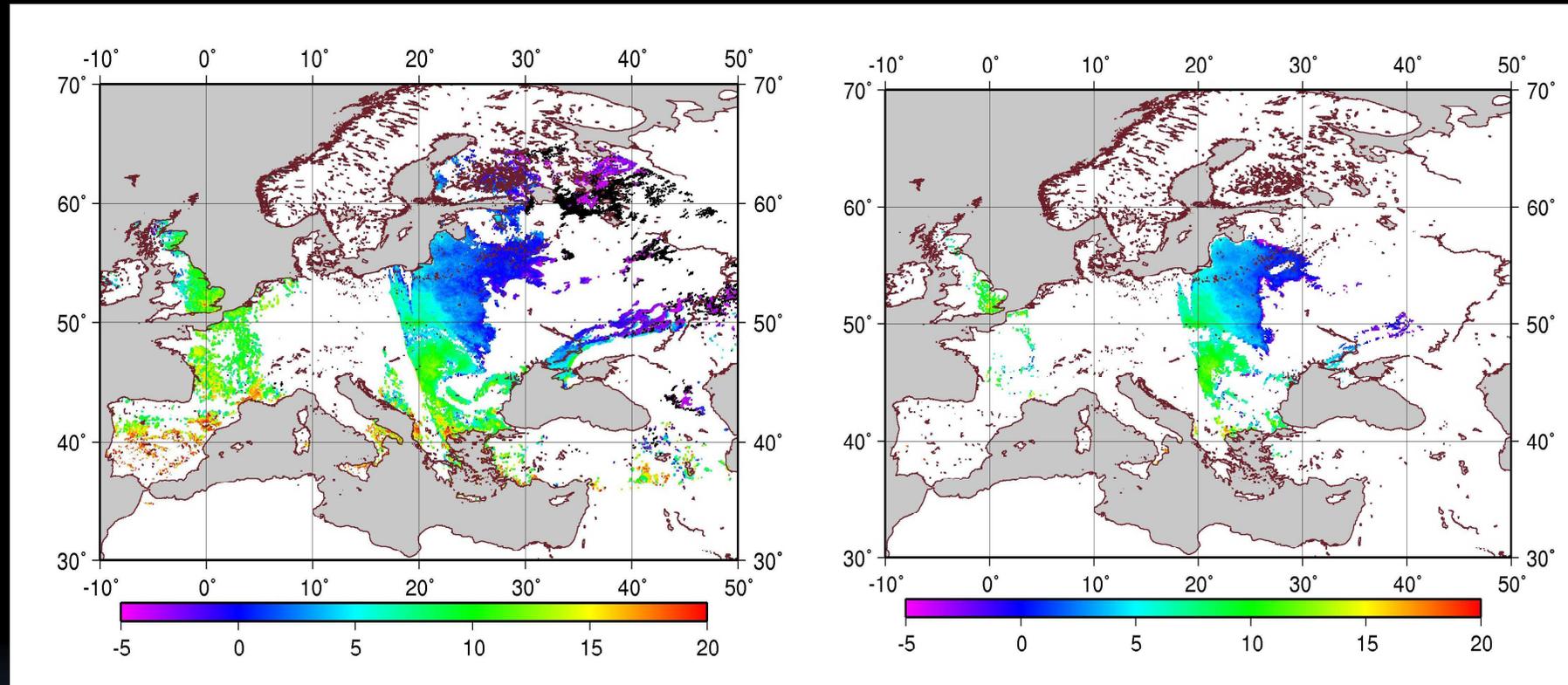


Результаты испытания комбинированного метода
оценки ТПС

(оценки ТПС по предложенному методу
сравниваются с синхронными оценками LSA SAF,
Лиссабон)

Дата	Размер выборки	Смещение	СКО
02.11.2009	19 948	0.4157	0,9475
07.09.2009	23 550	-2,2498	2,6224
01.09.2009	18 610	-2,9659	3,1863
24.08.2009	18 450	-2,1104	2,4621
21.07.2009	10 373	-2,8561	3,1555
13.07.2009	10 406	-0,4376	2,1695
27.06.2009	3 839	-1,9171	2,5065
08.06.2009	6 987	-2,8585	3,1510
07.06.2009	5 561	-2,6868	2,9772
02.06.2009	20 605	-1,5666	1,9312
31.05.2009	17 941	-1,9000	2,2439

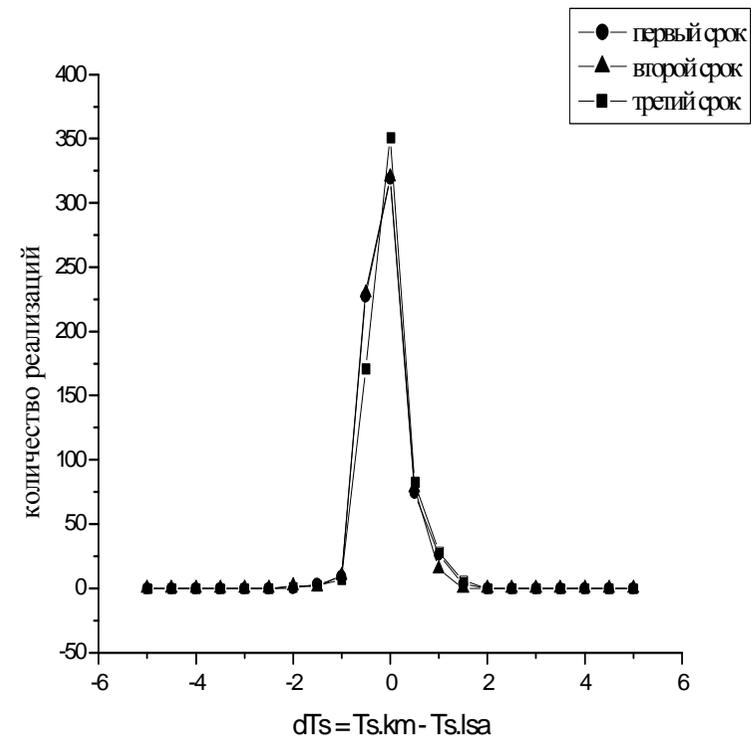
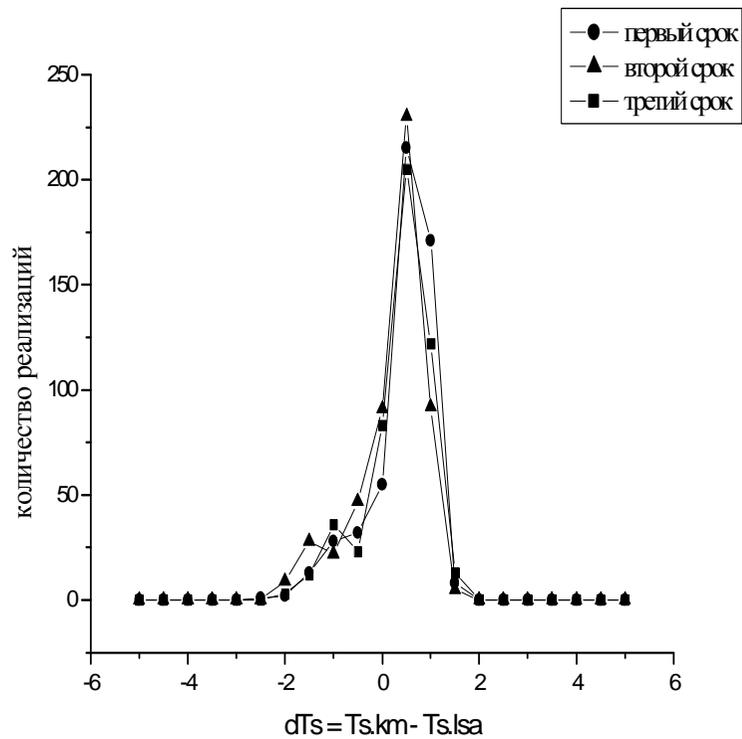
Сравнение полей ТПС (LSA SAF и комбинированный метод),
02.11.2009



ТПС по данным LSA SAF

ТПС по предложенному
методу

Гистограммы разностей $dT = T_{S \cdot \text{КОМБ}} - T_{S \cdot \text{LSA}}$ для области I и области II и трех сроков (11:00, 12:00, 13:00 СГВ) за 11.09.2008г.



Полученные результаты

1. Разработана и испытана БМРР для численного моделирования измерений SEVIRI "Meteosat-8,-9" в каналах 10.5-11.5, 11.5-12.5 мкм при отсутствии облачности в поле зрения прибора. Выполнены расчеты радиационных температур T_1 и T_2 , измеряемых при разных зенитных углах в каналах 1 и 2, для различных типов ЗП, представительного набора атмосферных состояний и различных T_s . Получены оценки погрешностей моделирования T_1 , T_2 над водной поверхностью.

2. Разработан новый метод дистанционного определения T_s и e_1, e_2 (ИС для спектральных диапазонов каналов РОП) по данным SEVIRI. Метод базируется на анализе разновременных измерений SEVIRI (за 3 срока-11.00, 12.00, 13.00 СГВ), покрывающих выбранную область. Испытание метода на фактических данных SEVIRI для двух областей Европейского региона позволило оценить погрешности определения T_s (не хуже 1.5°K).

3. Разработана и испытана многопороговая методика детектирования облачности и построения маски «ясно-облачно» по измерениям SEVIRI.

4. Подготовлен архив синхронных измерений SEVIRI, независимых спутниковых оценок ТПС и результатов численного анализа полей метеоэлементов для 2-х областей зондирования и нескольких дней теплого и холодного периодов 2008-2009 гг.

Дальнейшие исследования

- доработка метода дистанционного определения ТПС и ИС, его распространение на другие области зондирования и верификация на реальных измерениях SEVIRI;
- анализ статистики ошибок спутниковых оценок ТПС, зависимости погрешностей от параметров метода;
- Валидация результатов путем сравнения с измерениями *in-situ* и с оценками по данным MODIS (Terra, Aqua);
- оценка применимости результатов спутникового зондирования для описания суточного хода ТПС.

Литература

В.И. Соловьев, С.А. Успенский. Мониторинг температуры поверхности суши по данным геостационарных метеорологических спутников нового поколения. Иссл.Земли из космоса, 2009,№3

Schmetz, J., P. Pili, S. Tjemkes, D. Just, et al. An introduction to Meteosat Second Generation (MSG) // Bull. Amer. Meteor.Soc., 2002. 83, P. 977-992.

Product User Manual. Land Surface Temperature // SAF/LAND/ IM/PUM_LST /2.1 2008. 49p.