

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 528.8(15):629.78, 528.85/.87(15), 519.711.3

**К вопросу о применимости восстановленных из космоса
метеоданных MODIS для атмосферной коррекции
спутниковых ИК-измерений**

С.В. Афонин*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36*

Поступила в редакцию 5.04.2010 г.

Выполнен сравнительный анализ вертикальных профилей температуры и влажности, полученных на основе спутниковых измерений MODIS и тестовых данных радиозондов из архивов RAOB. Результаты анализа позволили изучить вопрос о применимости спутниковых метеоданных для проведения радиационных расчетов и решения задачи атмосферной коррекции спутниковых ИК-изображений земной поверхности. Показано, что спутниковые и радиозондовые данные могут заметно различаться между собой. Однако разница между ними в среднем имеет один и тот же знак для профилей температуры и влажности и такую величину, которая приводит к взаимной компенсации ошибок спутниковых метеоданных при их использовании для радиационных расчетов. Данное обстоятельство позволяет на основе RTM-подхода с помощью спутниковых метеоданных MODIS учитывать молекулярное поглощение в задаче восстановления по спутниковым измерениям температуры земной поверхности с погрешностью менее 0,5–1 К.

Ключевые слова: атмосферная коррекция, ИК-диапазон, вертикальные профили метеопараметров, MODIS, RAOB, валидация; atmospheric correction, IR-spectral range, atmospheric profiles, MODIS vs RAOB, validation.

Введение

В настоящее время данные дистанционного зондирования метеопараметров атмосферы со спутников имеют широкое практическое применение в задачах климатологии и метеорологии, для прогноза погоды или пожарной опасности в лесах. Наряду с этим следует отметить возможность их применения в RTM-методах атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений температуры земной поверхности (ТЗП) [1–3], где модель переноса теплового излучения используется совместно с результатами оперативных спутниковых измерений вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы. Ограниченно спутниковые метеоданные (общее влагосодержание и приземная температура воздуха) используются и в более простых, широко используемых на практике регрессионных спектральных методах восстановления ТЗП [4].

В целях дистанционного мониторинга метеопараметров атмосферы из космоса применяются различные спутниковые приборы, включая ATOVS (системы NOAA, MetOP), AIRS и MODIS (система EOS), IASI (MetOP), данные которых заметно

различаются точностью, вертикальным и пространственным разрешением. Для восстановления вертикальных профилей метеопараметров и решения связанных с этим обратных задач разработаны два основных подхода – физический и регрессионный. Первый – («точный») физический – метод основан на итерационном решении (с применением регуляризации) системы нелинейных уравнений переноса излучения в ИК-полосах поглощения водяного пара и углекислого газа. Однако в силу сложности и вычислительной трудоемкости этого метода для массовой обработки спутниковых измерений MODIS на практике используется «быстрый» статистический метод, где искомые метеопараметры атмосферы связаны со спутниковыми измерениями в рамках системы линейных регрессионных уравнений.

В литературе есть публикации (например, [5–9]), в которых наряду с физическими и математическими основами этих методов приведены некоторые данные об их точности. К сожалению, эти данные не позволяют ответить корректно на вопрос о приемлемости точности этих методов требованиям физического (RTM) подхода к восстановлению по спутниковым данным ТЗП с погрешностью менее 0,5–1 К. Правда, в работах [1, 2] были получены результаты, которые на основе признака совпадения восстановленных значений ТЗП в разных ИК-

* Сергей Васильевич Афонин (afonin@iao.ru).

каналах MODIS (с отличающимися искажающими свойствами) позволили сделать вывод о возможности успешного использования спутниковых метеоданных MODIS в рамках задачи атмосферной коррекции ИК-изображений земной поверхности. Этот вывод был подкреплён результатами работы [3], где было проведено тестирование RTM-метода для метеоусловий Томска. Однако для окончательного подтверждения этого вывода очевидна необходимость проведения прямых сравнений спутниковых и тестовых (например, аэрологических) метеоданных. Также целесообразно сравнить результаты численного имитационного моделирования, где спутниковые и тестовые метеоданные независимо используются для расчета радиационных температур системы «атмосфера – подстилающая поверхность» или учета молекулярного поглощения при восстановлении ТЗП по спутниковым ИК-измерениям. Изучение этих вопросов применительно к спутниковой системе MODIS и является основной целью данной статьи.

1. Краткая характеристика программных средств восстановления метеопараметров по спутниковым данным

К настоящему моменту для обработки данных системы MODIS с помощью регрессионного метода в NASA используется программное обеспечение Product Generation Executive (PGE), разработанное в подразделении GSFC (Goddard Space Flight Center) Direct Readout Laboratory (DRL). Альтернативой ему является пакет программ IMAPP (International MODIS/AIRS Processing Package), созданный в центре Space Science and Engineering Center (SSEC), научном подразделении University of Wisconsin-Madison.

Обсуждая вопрос о выборе конкретного программного обеспечения для восстановления профилей метеопараметров, нужно сделать замечание следующего характера. Допустим, что результаты применения разных программ имеют различия δT для восстановленной температуры атмосферы и δW для ее влажности. Если при этом значения δT (в градусах) и δW (в процентах) имеют один и тот же знак и связаны соотношением $\delta W \approx 10\delta T$, то возникает ситуация (которая рассмотрена еще в работе [10]), когда происходит взаимная частичная компенсация указанных различий при выполнении радиационных расчетов или атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений. Для подтверждения этого заключения в табл. 1 приведены расчетные данные для четырех климатических моделей атмосферы о влиянии сдвигов профилей метеопараметров ($\delta T = +2$ К и $\delta W = +20\%$) на изменение радиационной температуры системы «атмосфера – подстилающая поверхность» в каналах 31 ($\lambda = 11$ мкм) и 32 ($\lambda = 12$ мкм) прибора MODIS.

В работе [11] представлены результаты восстановления профилей температуры и влажности

с помощью программ PGE и IMAPP на основе тестовой выборки из 250 летних спутниковых снимков (гранул), полученных для территории Западной Сибири. Сравнительный анализ этих данных для температуры и влажности воздуха в приземном слое (где погрешности восстановления метеопараметров максимальны) показал, что различия результатов применения двух программ составляют в среднем: $\delta T \approx 0,8$ К для температуры и $\delta W \approx 12\%$ для влажности.

Таблица 1

Изменение δT_λ радиационной температуры в каналах 31 и 32 MODIS за счет равных по знаку сдвигов профилей температуры и влажности

Метеомодель	Канал 31		Канал 32	
	$\delta T = 2$ К	$\delta W = 20\%$	$\delta T = 2$ К	$\delta W = 20\%$
Тропики	0,968	-1,199	1,170	-1,418
Лето средних широт	0,632	-0,659	0,786	-0,820
Субаркт. лето	0,404	-0,536	0,519	-0,687
Зима средних широт	0,121	-0,104	0,156	-0,137

Используя приведенные в табл. 1 данные для лета средних широт, можно оценить соответствующие этим значениям различия в радиационных температурах, которые в данном случае не будут превышать в каналах 31 и 32 прибора MODIS уровень 0,2 К. Из этого следует вполне обоснованное предположение о том, что различные программные реализации статистического метода, отличающиеся главным образом значениями регрессионных коэффициентов, являются с практической точки зрения «идентичными» в случае их применения в рамках моделей атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений.

2. Исходные данные

Прежде всего, следует сделать замечание, касающееся выбора тестовых данных для валидации спутниковых измерений метеопараметров. Очевидно, что наиболее корректными были бы тестовые профили, полученные синхронно со спутниковыми измерениями. Однако проведение таких подспутниковых экспериментов требует достаточно серьезных финансовых затрат, поэтому обычной практикой является проведение валидации спутниковых данных с помощью стандартных аэрологических измерений температуры и влажности воздуха, которые регулярно выполняются на станциях радиозондирования по всему миру.

Решение поставленной задачи осуществлялось в два этапа. На первом этапе проводился сравнительный анализ результатов восстановления профилей метеопараметров (температуры и влажности) по данным спутниковой системы EOS/MODIS и результатов тестовых аэрологических измерений. На втором этапе с использованием полученной тестовой выборки радиозондовых и спутниковых вертикальных профилей метеопараметров с помощью программы MODTRAN v.3.5 [12] осуществлялось

численное моделирование радиационных температур в ИК-каналах (31 и 32) прибора MODIS. Анализ результатов численного моделирования позволял уже в окончательном варианте ответить на вопрос о применимости спутниковых метеоданных MODIS для целей атмосферной коррекции измерений в ИК-изображениях земной поверхности.

Для выполнения работ были использованы следующие исходные данные:

- результаты радиозондовых измерений вертикальных профилей температуры и влажности воздуха за май–сентябрь 2003 г. на 115 аэрологических станциях России (сайт NOAA/ESRL/GSD – RAOB, <http://raob.fsl.noaa.gov/>), время проведения измерений – 0 и 12 GMT;

- файлы (гранулы) с результатами восстановления вертикальных профилей метеопараметров атмосферы (температура и влажность воздуха) по измерениям MODIS со спутников Terra и Aqua (сайт LAADS Web, <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>).

Очевидно, что сопоставление радиозондовых измерений и спутниковых данных осуществляется при вынужденных допущениях, касающихся рассогласования локальных и пространственных данных по времени и расстоянию. Например, в работе [5] допустимая разница по времени наземных и спутниковых измерений составляла до 2 ч, а удаление спутниковых данных от точки радиозондирования – до 1° по широте и долготе.

Для повышения корректности результатов валидации спутниковые данные выбирались таким образом, чтобы максимальные расхождения по времени между спутниковыми и наземными измерениями не превышали 90 мин, а пространственные расхождения были в пределах 25 км. К тому же в тестовую выборку отбирались только те спутниковые данные, которые, согласно облачной маске, содержали в пикселе не более 30% облачности. Кроме того, исключались возможные ситуации метеорологических измерений в условиях снегопада, плотной перистой облачности и ливневых дождей.

На рис. 1 представлены карты расположения станций радиозондирования и покрытия территории России данными со спутников Terra и Aqua в промежутках времени $t = (00 \pm 2)$ и (12 ± 2) GMT. Выделим широтный пояс 45–62° с.ш. и разделим станции по территориальному признаку на три группы: Запад (30–60 в.д.), Сибирь (60–90 в.д.) и Восток (90–180 в.д.). Регион Западной Сибири, включающий Омскую, Томскую, Новосибирскую, Кемеровскую области и Алтайский край, дополнительно выделен на картах. Согласно рис. 1 можно сделать вывод, что тестовые данные для Западной Сибири будут обладать минимальной информативностью для проведения валидации. Действительно, тестовая выборка для этого региона содержит всего 12 пар профилей, полученных на метеостанции в Омске и по измерениям со спутника Aqua. Основную же долю тестовой информации составляют

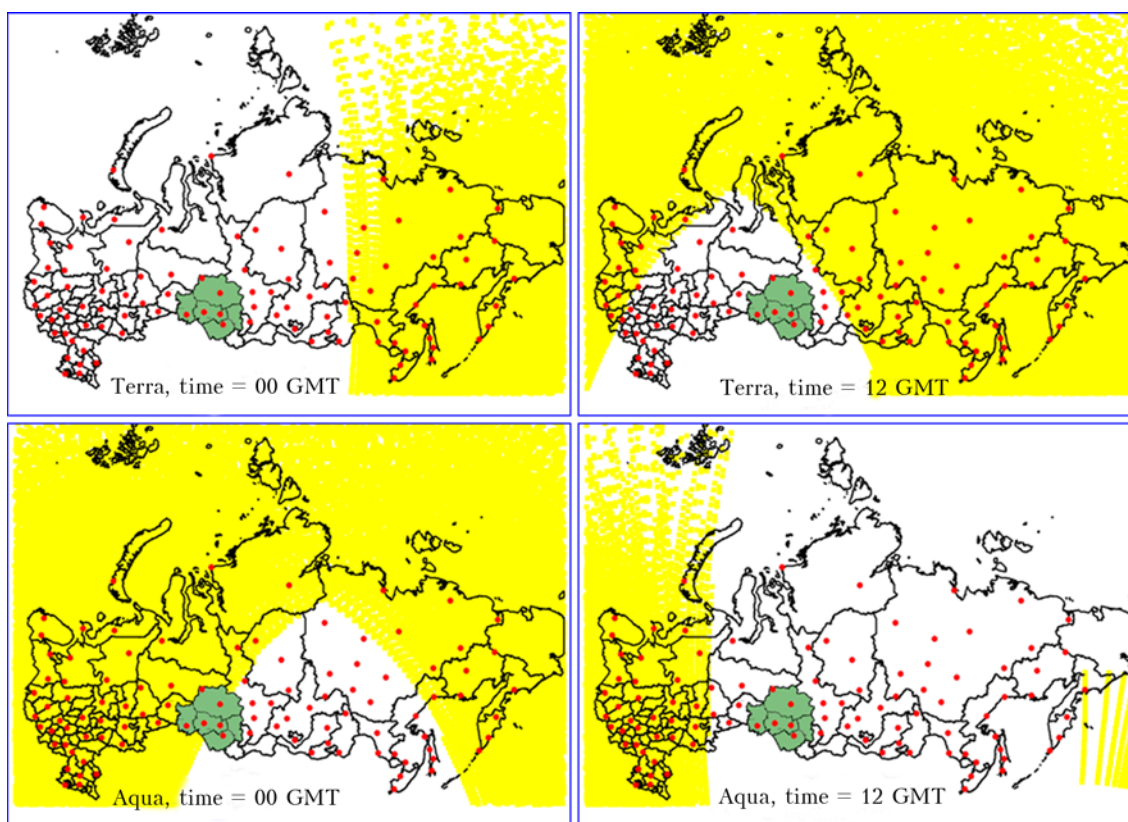


Рис. 1. Покрытие территории России данными со спутников Terra и Aqua в промежутки времени $t = (00 \pm 2)$ и (12 ± 2) GMT. Точками отмечено географическое положение на территории России станций аэрологического зондирования атмосферы. Выделен регион Западной Сибири

данные станций радиозондирования, расположенных на Западе (свыше 2000 профилей) и Востоке (почти 1200 профилей). Для тестовой выборки приземная температура воздуха составила широкий диапазон значений от минус 7 до 34 °С, а для общего влагосодержания – от 0,3 до 4,5 г/см². Также следует отметить, что, несмотря на проведение ежедневных аэрологических измерений только в 0 и 12 GMT на всех станциях мира, на самом деле тестовая выборка относится к широкому суточному диапазону локального (местного) времени. То есть выполнение работ по валидации спутниковых метеоданных MODIS базируется на тестовой аэрологической информации, которая обладает широким пространственным и временным диапазоном изменчивости метеопараметров.

3. Анализ результатов

Результаты сравнения спутниковых и аэрологических измерений для средневзвешенной температуры атмосферы и ее общего влагосодержания представлены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические характеристики (μ , σ , R) различий δT и δW в значениях средневзвешенной температуры и влагосодержания атмосферы, полученных по данным радиозондов и со спутников (Terra и Aqua); n – объем выборки, значения μ и σ разделены точкой с запятой

Регион	Terra		Aqua	
	δT , К	δW , %	δT , К	δW , %
Время $t = 00$ GMT				
Запад	–		2,81; 1,87 $R = 0,910$	28,3; 26,6 $R = 0,808$
	$n = 1595$			
Сибирь	–		2,45; 0,65 $R = 0,993$	35,2; 16,1 $R = 0,833$
	$n = 12$			
Восток	0,70; 2,60 $R = 0,904$	5,5; 20,6 $R = 0,891$	0,51; 2,21 $R = 0,934$	11,8; 20,4 $R = 0,900$
	$n = 322$		$n = 77$	
Время $t = 12$ GMT				
Запад	–0,11; 1,69 $R = 0,925$	–17,4; 12,2 $R = 0,939$	0,19; 2,57 $R = 0,930$	0,3; 19,7 $R = 0,853$
	$n = 11$		$n = 406$	
Восток	3,26; 2,06 $R = 0,940$	19,9; 26,0 $R = 0,874$	–	
	$n = 799$			

Она содержит средние расхождения μ и среднеквадратическое отклонение (СКО), δ , а также коэффициенты корреляции R . При этом результаты сравнения разбиты на группы по типу спутника (Terra и Aqua) и по времени проведения измерений ($t = 00$ и 12 GMT).

Прежде всего, следует отметить достаточно высокий коэффициент корреляции между аэрологическими и спутниковыми измерениями: $R = 0,90 \pm 0,99$ для температуры и $R = 0,81 \pm 0,90$ для влагосодержания. Как и ожидалось, расхождения δT и δW

между тестовыми и спутниковыми данными имеют одинаковый знак для всех четырех групп, а величины $10\delta T$ и δW имеют близкий порядок. Этот результат позволяет предположить, что моделирование радиационных температур на основе радиозондовых измерений $T_{\lambda,R}$ и спутниковых данных $T_{\lambda,M}$ будет приводить к близким результатам.

Для предварительной проверки этого предположения при сравнении каждой пары профилей с помощью данных табл. 1 для каналов 31 и 32 MODIS осуществлялись приближенные оценки $\delta T_{\lambda} = T_{\lambda,R} - T_{\lambda,M}$, усредненные значения которых по четырем группам представлены в табл. 3.

Таблица 3

Приближенная оценка средних различий каналов 31 и 32 MODIS статистических характеристик (μ , σ) различий в значениях T_{λ} , полученных на основе радиозондовых и спутниковых данных; значения μ и σ разделены точкой с запятой

Регион	Terra		Aqua	
	Канал 31	Канал 32	Канал 31	Канал 32
Время $t = 00$ GMT				
Запад	–		–0,11; 0,61	–0,15; 0,78
Сибирь	–		–0,34; 0,32	–0,43; 0,41
Восток	0,04; 0,50	0,05; 0,64	–0,14; 0,46	–0,18; 0,59
Время $t = 12$ GMT				
Запад	0,29; 0,26	0,37; 0,33	0,05; 0,52	0,06; 0,65
Восток	0,20; 0,58	0,25; 0,73	–	

Эти данные убедительно подтверждают выдвинутое предположение об «идентичности» радиозондовых измерений и спутниковых данных MODIS при выполнении радиационных расчетов для ИК-каналов MODIS. Действительно, согласно данным табл. 3 средние по группам значения δT_{λ} не превышают в каналах 31 и 32 прибора MODIS уровень 0,3–0,4 К, а их СКО составляют менее 0,6–0,8 К. Эти результаты также иллюстрируются данными рис. 2.

Далее был проведен второй этап работ, где осуществлялось прямое моделирование $T_{\lambda,R}$ и $T_{\lambda,M}$ в каналах 31 и 32 прибора MODIS с помощью программы MODTRAN v.3.5. На основе этих же данных отрабатывалось решение задачи учета молекулярного поглощения при атмосферной коррекции спутниковых измерений ТЗП, когда с помощью $T_{\lambda,R}$ имитировались данные ИК-каналов MODIS, а температура земной поверхности восстанавливалась на основе RTM-подхода с использованием спутниковых метеоданных. Моделирование проводилось для условий прозрачной атмосферы и абсолютно черной земной поверхности с излучательной способностью $\epsilon_{\lambda} = 1$. Это позволяло максимальным образом оценить ошибки учета молекулярного поглощения при радиационных расчетах и атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений ТЗП.

В табл. 4 представлены результаты выполнения второго этапа. Их анализ полностью подтверждает оценки, приведенные в табл. 3. Расхождения δT_{λ} между значениями $T_{\lambda,R}$ и $T_{\lambda,M}$, полученные

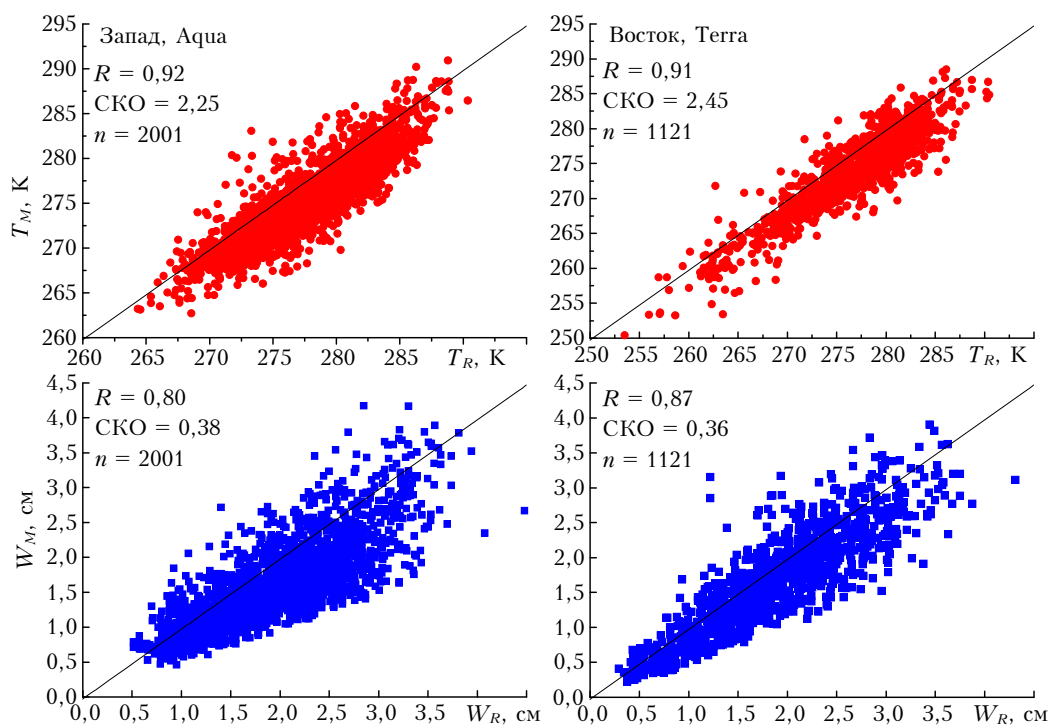


Рис. 2. Результаты сопоставления спутниковых M и радиозондовых R данных о средневзвешенной температуре T и влагосодержании атмосферы W . На графиках нанесена линия $y = x$

в канале 31, составляют в среднем $\mu(\delta T_\lambda) = 0,17$ К, среднеквадратическое отклонение $\sigma(\delta T_\lambda) = 0,46$ К, а коэффициент корреляции между значениями $T_{\lambda,R}$ и $T_{\lambda,M}$ превышает уровень $R = 0,99$. Для канала 32 аналогично: $\mu(\delta T_\lambda) = 0,23$ К и $\sigma(\delta T_\lambda) = 0,62$ К.

Таблица 4

Статистические характеристики (μ , σ) различий в результатах численного моделирования для каналов 31 и 32 MODIS на основе радиозондовых и спутниковых данных; значения μ и σ разделены точкой с запятой

Регион	Terra		Aqua	
	Канал 31	Канал 32	Канал 31	Канал 32
Время $t = 00$ GMT				
Запад	–	–	0,15; 0,39 –0,19; 0,49	0,19; 0,53 –0,24; 0,73
Восток	0,10; 0,45 –0,13; 0,59	0,15; 0,61 –0,19; 0,89	–0,04; 0,39 0,04; 0,47	–0,05; 0,53 0,07; 0,70
Сибирь	–	–	0,04; 0,20 –0,04; 0,24	0,02; 0,28 –0,01; 0,33
Время $t = 12$ GMT				
Запад	0,29; 0,25 –0,36; 0,32	0,40; 0,33 –0,52; 0,48	0,03; 0,61 –0,08; 0,83	0,04; 0,81 –0,10; 1,26
Восток	0,37; 0,50 –0,47; 0,64	0,51; 0,67 –0,67; 0,97	–	–
<i>Итого</i>	0,29; 0,54 –0,36; 0,70	0,39; 0,72 –0,51; 1,05	0,12; 0,41 –0,15; 0,52	0,15; 0,55 –0,19; 0,76

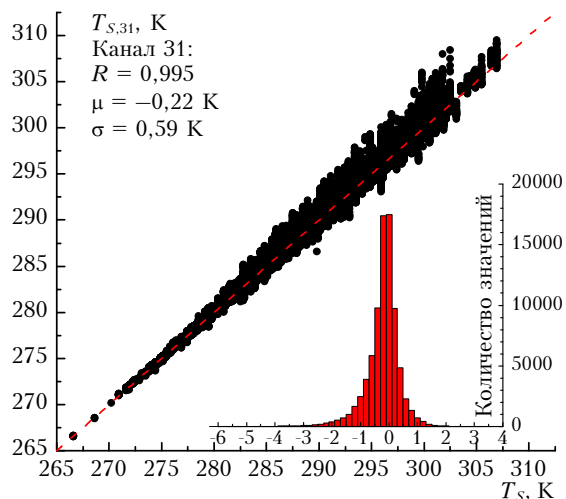
Примечание. Верхняя строка – результаты моделирования T_λ ; нижняя строка – результаты восстановления ТЗП.

Близкий результат был получен при решении второй части задачи численного моделирования, где

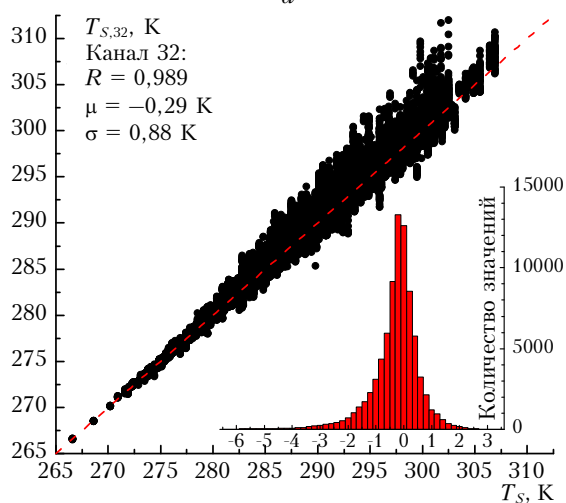
осуществлялась имитация решения задачи восстановления значений ТЗП на основе RTM-метода с использованием спутниковых метеоданных MODIS. Здесь средняя погрешность восстановления ТЗП в канале 31 составляет $\mu(\delta T_S) = -0,22$ К, а $\sigma(\delta T_S)$ не превышает 0,60 К. По понятным причинам более высокие значения погрешностей получены в канале 32, где $\mu(\delta T_S) = -0,29$ К и $\sigma(\delta T_S) = 0,88$ К. Этот результат дополнен наглядными иллюстрациями на рис. 3.

Необходимо также отметить следующее обстоятельство. Несмотря на полученную в результате имитационных расчетов достаточно низкую погрешность восстановления ТЗП с использованием RTM-метода, здесь также возникало небольшое количество ситуаций (менее 2%) с существенными различиями тестовых и спутниковых метеоданных, что приводило к погрешностям δT_S , достигающим нескольких градусов.

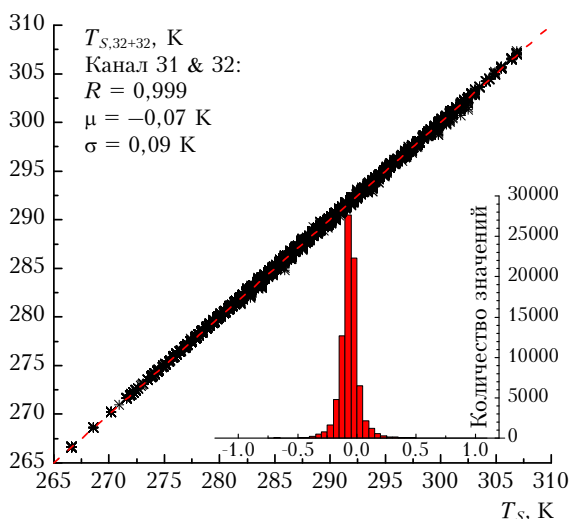
Для решения этой проблемы целесообразно использовать подход, предложенный нами в работе [2], когда влияние ошибок задания профилей метеопараметров при атмосферной коррекции спутниковых измерений ТЗП уменьшается за счет применения принципа «расщепленного окна» («split-window») к значениям ТЗП, восстановленным с помощью RTM-метода одновременно в каналах 31 и 32 MODIS. Напомню, что принцип «расщепленного окна» используется в основе регрессионного спектрального метода восстановления ТЗП [4] с целью учета поглощения излучения поверхности водяным паром на основе методики дифференциального поглощения по измерениям ярких



а



б



в

Рис. 3. Результаты восстановления ТЗП на основе RTM-подхода (с использованием спутниковых метеоданных MODIS): а – в канале 31 ($\lambda = 11$ мкм); б – в канале 32 ($\lambda = 12$ мкм); в – с помощью комбинации каналов 31 и 32. Приведены гистограммы частотного распределения ошибок восстановления ТЗП. На графиках нанесена линия $y = x$

температур в каналах 31 и 32 MODIS. Используя принцип «расщепленного окна» для уменьшения влияния ошибок задания метеопараметров, авторы [2] предложили восстанавливать ТЗП следующим образом: $T_S = T_{S,31} - \Delta T_S$, $\Delta T_S = C_{ERR}(T_{S,32} - T_{S,31})$, где $T_{S,31}$ и $T_{S,32}$ – значения ТЗП, полученные в каналах 31 и 32, а $C_{ERR} \approx 2.0$. В результате применения этого соотношения к расчетным значениям $T_{S,31}$ и $T_{S,32}$ (полученным по данным численного моделирования) погрешность восстановления ТЗП уменьшилась до уровня менее 0,1 К. При этом максимальные ошибки восстановления ТЗП снизились до 1,2 К и только в пяти случаях значения δT_S превышали уровень 1 К. Эти результаты также отражены на рис. 3.

В завершение работы на основе данных моделирования радиационных температур $T_{\lambda,M}$ было произведено тестирование регрессионного спектрального SW-метода [4] восстановления ТПП. В этом случае погрешность SW-метода составила: $\mu(\delta T_{SW}) = 0,39$ К и $\sigma(\delta T_{SW}) = 0,12$ К, а количество ситуаций, когда величина $\delta T_{SW} > 1$ К, здесь не превысило 1,1% (866 случаев). Таким образом, СКО регрессионного метода при учете молекулярного поглощения оказалась ниже, чем при использовании одноканального RTM-метода. Однако «спектральный» RTM-метод (рассмотренный в предыдущем абзаце) обладает более высокими точностными характеристиками по сравнению с SW-алгоритмом.

Заключение

На основании полученных результатов валидации спутниковых измерений вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы можно сделать следующий важный вывод. Спутниковые метеоданные MODIS по своим суммарным качествам в рамках физического (RTM) подхода к задаче атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений ТЗП позволяют осуществлять учет молекулярного поглощения с погрешностью менее 0,5–1 К.

Автор выражает признательность руководству и сотрудникам NASA, благодаря усилиям которых были получены спутниковые данные MOD07 уровня L2, использованные в этой статье.

Автор благодарит руководство и сотрудников NOAA/ESRL/GSD за возможность использовать в работе данные архива RAOB, содержащего результаты радиозондирования температуры и влажности атмосферы.

1. Афонин С.В., Соломатов Д.В. Методика учета оптико-метеорологического состояния атмосферы для решения задач атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21. № 2. С. 147–153.
2. Афонин С.В., Белов В.В., Соломатов Д.В. Решение задач температурного мониторинга земной поверхности из космоса на основе RTM-метода // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21. № 12. С. 1056–1063.
3. Афонин С.В. Результаты тестирования двух методов атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений

- температуры земной поверхности // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23. № 4. С. 308–310.
4. *Wan Z.* MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Background Document (LST ATBD), version 3.3 Inst. for Comput. Earth Syst. Sci., Univ. of Calif., Santa Barbara 1999. [Электронный ресурс]: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf
 5. *Li J., Wolf W., Menzel W.P., Zhang W., Huang H.-L., Achtor T.H.* Global Soundings of the Atmosphere from ATOVS Measurements: The Algorithm and Validation // *J. Appl. Meteorol.* 2000. V. 39. N 8. P. 1248–1268.
 6. *Seemann S., Li J., Menzel W.P., Gumley L.* Operational retrieval of atmospheric temperature, moisture, and ozone from MODIS infrared radiances // *J. Appl. Meteorol.* V. 42. N 8. P. 1072–1091.
 7. *Ромасько В.Ю., Кашкин В.Б., Зализняк Е.Л., Сухинин А.И.* Исследование точности вертикального зондирования нижней атмосферы по данным TOVS с американских полярно-орбитальных спутников // *Метеорол. и гидрол.* 2001. № 4. С. 33–37.
 8. *Соловьев В.И., Успенский А.Б., Кухарский А.В.* Температурно-влажностное зондирование атмосферы регионального покрытия по данным ИСЗ «NOAA-16» // *Метеорол. и гидрол.* 2002. № 2. С. 52–63.
 9. *Соловьев В.И., Успенский А.Б., Кухарский А.В.* Опыт регионального температурно-влажностного зондирования атмосферы по данным ИСЗ «NOAA» // *Метеорол. и гидрол.* 2003. № 3. С. 38–46.
 10. *Афонин С.В.* Разработка и применение атмосферной радиационной модели для определения температуры поверхности океана по данным спутникового зондирования: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: ИОА СО РАН, 1987. 21 с.
 11. *Соломатов Д.В.* Алгоритмы и программные средства атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений на основе RTM-метода: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск: ИОА СО РАН, 2010. 21 с.
 12. *Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson G.P., Chetwynd J.H., Shettle E.P., Berk A., Bernstein L.S., Robertson D.C., Acharya P., Rothman L.S., Selby J.E.A., Gallery W.O., and Clough S.A.* The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model, Phillips Laboratory, Hanscom AFB contract F19628-91-C-0132 with Ontar Corp., 1996.

S.V. Afonin. To the question of applicability of space-derived meteorological data for atmospheric correction of satellite IR measurements.

In this paper, we performed a comparative analysis of vertical temperature and humidity profiles, obtained on the basis of MODIS satellite measurements and test radiosonde data from RAOB inventories. The results of analysis allowed us to explore the applicability of the meteorological satellite data for radiation calculations and solution of problems of atmospheric correction of satellite IR images of the Earth's surface. It is shown that the satellite and radiosonde data may markedly differ. However, the difference between them, on the average, has the same sign for the temperature and humidity profiles, and its value leads to the mutual error compensation of meteorological satellite data during their use in radiation calculations. This allows for the use of the meteorological satellite data to solve the inverse problem of retrieval of the Earth's surface temperature with an error less than 0.5–1 K from MODIS satellite measurements, when employing the RTM approach.