

С.В. Афонин, В.В. Белов, Д.В. Соломатов

Разработка программного обеспечения для атмосферной коррекции аэрокосмических ИК-измерений температуры подстилающей поверхности

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 5.12.2005 г.

Представлено программное обеспечение (ПО) для решения задачи атмосферной коррекции аэрокосмических инфракрасных измерений, которое развивается в Институте оптики атмосферы СО РАН. Первое назначение ПО – это проведение модельных расчетов, имитирующих спутниковые измерения различными типами спутниковых и самолетных сенсоров. Второе – осуществление атмосферной коррекции реальных аэрокосмических ИК-измерений температуры подстилающей поверхности (ТПП) с учетом ключевых искажающих факторов на основе априорных данных об оптико-метеорологическом состоянии атмосферы и геометрии наблюдений.

Дано краткое описание тематических спутниковых данных MODIS, используемых в качестве априорной информации для атмосферной коррекции ИК-измерений ТПП. Приведены структура входной информации программного обеспечения, общая схема работы ПО и иллюстрации его применения.

Введение

К настоящему времени в научной литературе накоплен значительный объем данных по изучению различных аспектов задачи атмосферной коррекции данных дистанционных измерений температуры подстилающей поверхности и результатам проведения атмосферной коррекции на практике (см., например, [1, 2]). Для общеизвестных коммерческих программных продуктов ERDAS и ENVI, предназначенных для обработки спутниковых данных, созданы соответствующие программные блоки ATCOR. Для одного из наиболее современных спектрорадиометров среднего пространственного разрешения MODIS разработаны штатные средства атмосферной коррекции измерений в каналах спектральной области 0,47–2,13 мкм.

Несмотря на это, в ряде случаев атмосферная коррекция не производится вообще, либо используются упрощенные схемы, либо не обеспечивается требуемая (для решения тематической задачи) точность проведенной коррекции. Это обычно возникает в случаях, когда для осуществления атмосферной коррекции требуется большой объем оперативной высокоточной априорной информации. Также возможны ситуации, когда методика атмосферной коррекции разработана в целях глобального применения, но в действительности должна адаптироваться к региональным условиям спутниковых наблюдений. Таким образом, построение эффективных программных блоков атмосферной коррекции, комплексно учитывающих с требуемой точностью все искажающие факторы, является актуальной задачей.

В этой статье дано краткое описание методических, информационных и алгоритмических основ разработки программного обеспечения, которое развивается в Институте оптики атмосферы СО РАН и имеет два вида применения. Первое – это проведение модельных расчетов, имитирующих спутниковые измерения различными типами сенсоров. Второе – осуществление атмосферной коррекции реальных аэрокосмических измерений температуры подстилающей поверхности (ТПП) с учетом ключевых искажающих факторов на основе априорных данных об оптико-метеорологическом состоянии атмосферы и подстилающей поверхности.

1. Математические и физические основы атмосферной коррекции аэрокосмических ИК-измерений температуры подстилающей поверхности

Интенсивность J_λ восходящего потока теплового излучения, измеряемую в ИК-канале прибора, можно записать следующим образом:

$$J_\lambda = B_\lambda(T_R), \quad J_\lambda = J_{srf} + J_{atm} + J_{rfl} + J_{sct},$$

$$J_{srf} = \int \varphi_\lambda \varepsilon_\lambda^0 B_\lambda(T_S) P_\lambda d\lambda,$$

$$J_{atm} = \int \varphi_\lambda f_\lambda^{atm} \{\theta, T(h), \tau_\lambda(h)\} d\lambda,$$

$$J_{rfl} = \int \varphi_\lambda A_\lambda P_\lambda f_\lambda^{rfl} \{\theta, met, ext, sct\} d\lambda,$$

$$J_{sct} = \int \varphi_\lambda f_\lambda^{sct} \{\theta, met, ext, sct\} d\lambda,$$

где $B_\lambda(T)$ – функция Планка; ϕ_λ – относительная спектральная характеристика ИК-канала (интегрирование по длине волны λ проводится в спектральном диапазоне задания функции ϕ_λ); T_R – радиационная температура, эквивалентная J_λ ; T_S – восстанавливаемая температура подстилающей поверхности; ϵ_λ^0 – излучательная способность ПП ($= 0 \div 1$); $A_\lambda = (1 - \epsilon_\lambda^0)$ – альбеда ПП; $P_\lambda = \exp\{-\tau_\lambda(\theta)\}$ – функция пропускания атмосферы; τ_λ – оптическая толщина атмосферы; θ – угол наклона оси прибора; J_{sf} – вклад ослабленного атмосферой теплового излучения поверхности; J_{atm} – вклад теплового излучения атмосферы; J_{refl} – вклад отраженного от поверхности падающего на нее потока теплового излучения; J_{sct} – вклад рассеянного атмосферой потока теплового излучения; (*met*) – метеорологические параметры атмосферы; (*ext*), (*sct*) – ослабляющие и рассеивающие характеристики атмосферного аэрозоля.

На практике для оценки степени искажения результатов дистанционных измерений ТПП часто используют понятие температурной поправки $\Delta T_R = T_S - T_R$, которую условно можно представить в виде двух слагаемых: $\Delta T_R = \Delta T_E + \Delta T_a$, определяемых характеристиками излучения (отражения) подстилающей поверхности и искажающими свойствами атмосферы. Величина ΔT_a (атмосферный фактор) определяется при задании условий $\epsilon_\lambda^0 = 1$, $A_\lambda = 0$, $J_{refl} = 0$. То есть восстановление температуры поверхности $T_{S,a}$ и вычисление температурной разницы $\Delta T_a = T_{S,a} - T_R$ осуществляются для случая абсолютно

черной поверхности. Вклад первого фактора легко оценить как $\Delta T_E = \Delta T_R - \Delta T_a$.

1.1. Искажения дистанционных измерений ТПП

Некоторые оценки характеристик искажающего влияния атмосферы на ИК-измерения ТПП в канале 10,4–12,6 мкм самолетного радиометра РНИИ КП «АГРОС» [3] приведены в табл. 1. Для расчетов были использованы стандартные метеомодели атмосферы из работы [4]: 1) тропики (температура поверхности $T_S = 300$ К, влагосодержание $W = 4,19$ г/см²), 2) лето средних широт ($T_S = 294$ К, $W = 2,98$ г/см²), 3) зима средних широт ($T_S = 272$ К, $W = 0,86$ г/см²), 4) арктическое лето ($T_S = 287$ К, $W = 2,12$ г/см²).

Для спектральных диапазонов 3,5–4 и 8–13 мкм в условиях безоблачной атмосферы основными искажающими факторами инфракрасного излучения подстилающей поверхности являются:

- селективное молекулярное поглощение,
- континуальное поглощение,
- аэрозольное поглощение и рассеяние.

В табл. 2 представлены данные из [1] о степени искажения атмосферными факторами результатов ИК-измерений ТПП в каналах спутникового радиометра AVHRR/NOAA для четырех стандартных метеорологических моделей атмосферы из [4]: 1) тропики, 2) лето средних широт, 3) зима средних широт, 4) арктическое лето.

Таблица 1

Искажения измерений ТПП (°С) в ИК-канале 10,4–12,6 мкм

H, км	Интегральное влагосодержание атмосферы W, г/см ²							
	4,19		2,98		2,12		0,86	
	Угол наклона оси прибора Θ , град							
	0	35	0	35	0	35	0	35
<i>Влияние за счет молекулярной компоненты атмосферы</i>								
0,5	0,34	0,39	0,20	0,22	0,16	0,18	0,07	0,08
1,0	0,93	1,06	0,52	0,59	0,42	0,48	0,15	0,16
1,5	1,71	1,96	0,93	1,06	0,77	0,88	0,26	0,30
2,0	2,45	2,80	1,28	1,47	1,08	1,23	0,37	0,41
2,5	3,11	3,55	1,65	1,89	1,40	1,61	0,49	0,55
3,0	3,53	4,04	1,95	2,24	1,67	1,91	0,58	0,66
4,0	4,13	4,71	2,47	2,82	2,13	2,44	0,80	0,90
5,0	4,57	5,21	2,84	3,24	2,48	2,83	1,00	1,13
100	7,73	8,80	6,16	6,98	5,49	6,22	3,86	4,33
<i>Влияние за счет аэрозоля (МДВ = 5 км)</i>								
0,5	0,07	0,10	0,09	0,13	0,10	0,14	0,10	0,13
2,5	0,23	0,28	0,26	0,34	0,30	0,39	0,27	0,38
5,0	0,26	0,31	0,28	0,36	0,33	0,43	0,30	0,40
100	0,28	0,33	0,29	0,38	0,34	0,43	0,30	0,40
<i>Влияние за счет излучательной способности ПП ($\epsilon_\lambda^0 = 0,95$)</i>								
0,5	1,06	1,02	1,48	1,45	1,88	1,85	2,24	2,22
2,5	0,78	0,71	1,23	1,15	1,67	1,6	2,13	2,10
5,0	0,75	0,67	1,19	1,11	1,61	1,55	2,10	2,07
100	0,72	0,64	1,15	1,07	1,57	1,49	2,06	2,02

Примечание. H – высота полета; МДВ – метеорологическая дальность видимости.

Таблица 2

Поправка к радиационной температуре, °С				
№ метеомодели	Канал, мкм			
	3,55–3,95	8,30–9,30	10,5–11,5	11,5–12,5
<i>Селективное поглощение</i>				
1	2,01	3,56	1,30	2,34
2	1,49	2,82	0,87	1,60
3	0,72	1,46	0,24	0,47
4	1,32	2,48	0,69	1,29
<i>Континуальное поглощение</i>				
1	0,62	2,72	3,81	4,87
2	0,44	1,37	1,81	2,35
3	0,22	0,26	0,27	0,35
4	0,44	1,10	1,42	1,86

Таким образом, решение задачи коррекции результатов аэрокосмических температурных измерений T_R состоит в следующем:

1) расчет значений J_{atm} , J_{rfl} , J_{sct} и P_λ с использованием априорной информации об оптическом и метеорологическом состояниях атмосферы, излучательных свойствах подстилающей поверхности и геометрических условиях измерений;

2) вычисление величины $J_{srf} = J_\lambda - (J_{atm} + J_{rfl} + J_{sct})$;

3) определение значений температуры ПП T_S с использованием заранее полученных расчетных таблиц зависимости величины J_{srf} от температуры T_S .

1.2. Искажения атмосферой температурных контрастов

При исследовании температурных контрастов на подстилающей поверхности (ПП) мы наблюдаем их искажение, вызванное влиянием атмосферы. Пусть на подстилающей поверхности существует температурный контраст $\Delta T_{12} = T_1 - T_2$ между значениями температур T_1 и T_2 двух участков ПП. Предположим, что оптико-геометрические условия измерений для этих двух участков ПП одинаковы. После простых

выкладок можно показать, что величину температурного контраста, наблюдаемого при аэрокосмических измерениях, можно записать в виде $\Delta T_c = K_c \Delta T_{12}$, где коэффициент контраста K_c пропорционален функции пропускания атмосферы P_λ .

Табл. 3 содержит результаты расчетов коэффициента контраста K_c для канала 10,4–12,6 мкм прибора «АГРОС» в зависимости от метеорологических и геометрических условий наблюдений. Эти данные показывают, что с ростом высоты полета и увеличением влагосодержания атмосферы происходит заметное уменьшение K_c от 5 до 50% в зависимости от условий наблюдений.

2. Спутниковые данные MODIS Atmosphere (Land) Products

2.1. Краткое описание тематических спутниковых данных MODIS

Проведение атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений ТПП базируется на оптических моделях атмосферы и априорной информации, описывающей реальное оптико-метеорологическое состояние атмосферы в момент аэрокосмических наблюдений. Согласно [5] в качестве источников априорной метеорологической информации можно использовать данные, полученные на региональных станциях регулярных измерений приземных значений метеопараметров атмосферы, и данные вертикального радиозондирования температуры и влажности воздуха. В дополнение к этой информации с целью увеличения пространственного покрытия снимка априорными данными можно привлекать спутниковые измерения, например NOAA/ATOVS, EOS/MODIS и, в частности, данные тематических продуктов MODIS Atmosphere (Land) Products.

Тематические продукты MODIS Atmosphere Products (MODIS-AP) являются результатами

Таблица 3

Коэффициент K_c температурных контрастов на поверхности при измерениях в ИК-канале прибора «АГРОС»

H, км	Интегральное влагосодержание атмосферы W, г/см ²							
	4,19		2,98		2,12		0,86	
	Угол наклона оси прибора Θ , град							
	0	35	0	35	0	35	0	35
0,5	0,798	0,766	0,856	0,834	0,904	0,890	0,954	0,948
1,0	0,706	0,662	0,788	0,754	0,860	0,838	0,934	0,924
1,5	0,646	0,596	0,746	0,706	0,832	0,806	0,920	0,910
2,0	0,604	0,548	0,716	0,676	0,812	0,782	0,910	0,898
2,5	0,580	0,522	0,700	0,656	0,798	0,768	0,904	0,890
3,0	0,564	0,508	0,690	0,646	0,790	0,756	0,898	0,884
4,0	0,552	0,494	0,680	0,634	0,778	0,746	0,892	0,878
5,0	0,548	0,490	0,676	0,628	0,774	0,740	0,890	0,874
100	0,530	0,468	0,652	0,600	0,744	0,706	0,860	0,840

восстановления оптических и метеорологических параметров атмосферы по измерениям прибора MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), который установлен на спутниках TERRA и AQUA (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>). Этот прибор проводит глобальные измерения в 36 спектральных каналах (0,405 – 14,385 мкм) с пространственным разрешением 1000, 500 и 250 м.

Информация MODIS-AP записана в файлы (гранулы), содержащие восстановленные параметры окружающей среды, геолокационные параметры, параметры геометрии наблюдения. Эти данные бесплатно могут быть заказаны по Интернету и получены по *ftp*-протоколу с использованием сетевых коммуникаций.

Для целей атмосферной коррекции можно выделить три ключевых типа данных MODIS-AP: 1) MOD04 – характеристики аэрозоля; 2) MOD05 – интегральное содержание водяного пара в атмосфере; 3) MOD07 – вертикальные профили геопотенциала, температуры и влажности атмосферы. Краткая характеристика этих данных приведена в табл. 4 из [6].

2.2. Практический пример использования спутниковых данных MODIS Atmosphere (Land) Products

Для проведения тестовых расчетов из архивов спутниковой информации MODIS Atmosphere (Land) Products были выбраны вертикальные профили метеорологических параметров, оптические параметры атмосферы и характеристики подстилающей поверхности, имеющие следующие временные и пространственные признаки:

22.09.2004 г., время = 10:20 и 11:55;

23.09.2004 г., время = 19:05 и 20:45;

координаты: 66,913° с.ш., 63,943° в.д.

На рис. 1 и в табл. 5 и представлены результаты сравнения спутниковой метеоинформации и тестовых данных радиозондирования метеопараметров атмосферы.

Анализ рис. 1 позволяет убедиться в хорошей согласованности априорных спутниковых данных MODIS-AP и аэрологических измерений температуры воздуха.

Таблица 4

Краткое описание данных MODIS Atmosphere Products

Характеристика	Тип данных		
	MOD04	MOD05	MOD07
Пространственное разрешение	10×10 км	1×1 км	5×5 км
Основные параметры	тип аэрозоля; аэрозольная оптическая толщина ($\lambda = 0,47, 0,55$ и $0,66$ мкм); показатель Ангстрема; массовая концентрация	интегральное влагосодержание	поверхность: температура, давление; вертикальные профили: геопотенциал, температура воздуха, температура точки росы; интегральное содержание озона, интегральное влагосодержание
Размер гранулы, Мбайт	11	20	30

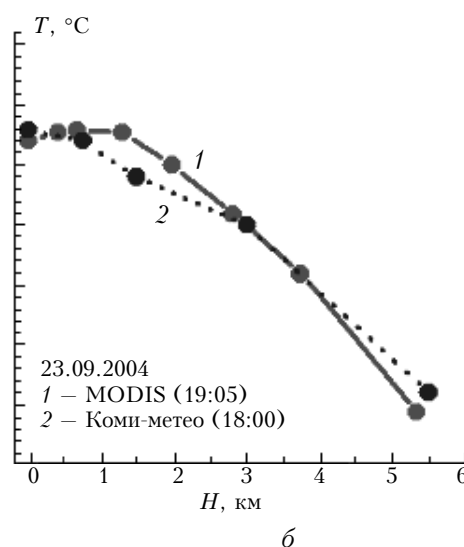
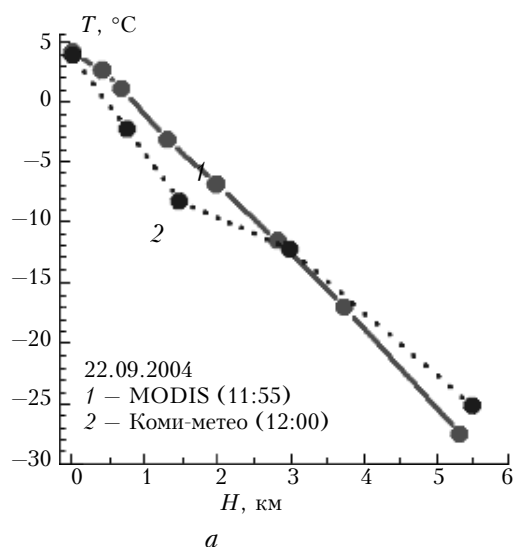


Рис. 1. Результаты сравнения спутниковой метеоинформации MODIS и данных радиозондирования параметров атмосферы

Таблица 5

**Результаты сопоставления спутниковых
и наземных метеоданных на уровне поверхности**

Характеристика	22.09.2004		23.09.2004	
	MODIS (11:55)	Комп-метео (12:00)	MODIS (19:05)	Комп-метео (19:00)
T воздуха, °С	4,4	4,1	-3,0	-2,9
T почвы, °С	6,2	6,0	-3,3	-3,5
Отн. влажность воздуха, %	68,2	75	61,7	66,7

Результаты расчетов

На основе спутниковых оптико-метеорологических данных о состоянии атмосферы во время самолетных измерений проведены расчеты относительного вклада различных компонентов восходящего потока излучения для ИК-канала прибора «АПРОС»:

– srf – тепловое излучение подстилающей поверхности (для заданных ϵ_λ^0 и T_S);

– atm – собственное тепловое излучение атмосферы плюс рассеянное аэрозолем излучение (для заданного значения МДВ);

– rfl – отраженное от поверхности падающее излучение (для заданного значения ϵ_λ^0).

Параметры расчетов:

– метеорологическая дальность видимости МДВ = 30 км (определена по данным MOD04);

– излучательная способность поверхности $\epsilon_\lambda^0 = 0,975$ (определена по данным MOD11);

– температура подстилающей поверхности T_S приведена в табл. 6;

– вертикальные профили метеопараметров атмосферы (определены по данным MOD07, MOD05) приведены на рис. 1, дополнительно использована метеомодель лета северных широт;

– высота полета $H = 5$ км, углы сканирования $\Theta = 0$ и 35° .

Таблица 6

**Относительный вклад компонентов потока
восходящего излучения**

Метеоситуация	Θ , град	Поправка к ТПП, °С	Вклад компонентов, %		
			srf	atm	rfl
22.09.2004 (11:55)	0	2,86	87,15	12,51	0,35
	35	3,09	85,32	14,35	0,34
23.09.2004 (19:05)	0	1,55	89,28	10,45	0,28
	35	1,61	87,85	11,88	0,27
Метеомодель лета северных широт	0	3,38	76,75	22,65	0,60
	35	3,71	73,37	26,06	0,57

Анализ результатов, приведенных в табл. 6, позволяет сделать вывод, что 22.09.04 и 23.09.04 искажающее влияние атмосферных процессов (излучение, рассеяние и поглощение) для относительно низких значений температуры, влажности и содержания аэрозоля составляет всего порядка 10–15%. Однако, рассматривая величину поправки к ТПП, следует одновременно отметить и заметные различия искажающих свойств атмосферы даже для достаточно близких по времени моментов наблюдений. Данное обстоятельство еще раз подчеркивает важность использования реальной априорной оптико-метеоро-

логической информации о состоянии атмосферы для достижения максимальной точности атмосферной коррекции ИК-измерений.

В случае же роста значений метеопараметров атмосферы (модель лета северных широт) искажающий вклад может превышать и 20%. Следует обратить внимание, что в моменты тестовых измерений аэрозольная прозрачность атмосферы была очень высокой. Но с ростом содержания аэрозоля в атмосфере искажающий вклад атмосферных процессов (рассеяния и ослабления) в регистрируемый сигнал будет существенно выше.

3. Программное обеспечение и общая схема выполнения работ по атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений ТПП

В качестве основы программного обеспечения (ПО) атмосферной коррекции аэрокосмических ИК-измерений температуры подстилающей поверхности может быть использован один из пакетов программ, хорошо зарекомендовавший себя в решении задач моделирования переноса оптического излучения через атмосферу, – например, LOWTRAN, MODTRAN, 6S и т.п. Для первой версии ПО с целью проведения расчетов искажающих характеристик атмосферы выбран пакет программ LOWTRN-7. Интерфейс ПО (рис. 2) написан на языке С. Программное обеспечение функционирует в операционных системах WINDOWS 98/2000/XP.

3.1. Входная информация

На первом этапе работы ПО пользователь через программный интерфейс осуществляет ввод файлов и управляющих параметров.

Входные файлы:

- файл спутниковых измерений (снимок);
 - файл метаданных снимка, описывающих структуру и содержание снимка;
 - файл рельефа (высот) подстилающей поверхности;
 - файл пространственного распределения высотных профилей температуры и влажности атмосферы (данные радиозондирования или спутниковые данные MOD07, MOD05);
 - файл пространственного распределения оптических характеристик аэрозоля (MOD04);
 - файл пространственного распределения характеристик подстилающей поверхности – температуры и излучательной способности (MOD11);
 - файл спектральных характеристик каналов прибора (в случае, если сенсор не описан в базе ПО).
- Входные параметры:
- географические координаты ROI (Region of Interest);
 - дата и время измерений;
 - тип спутника/сенсора и список номеров каналов, используемых для расчетов;
 - высота орбиты (полета);

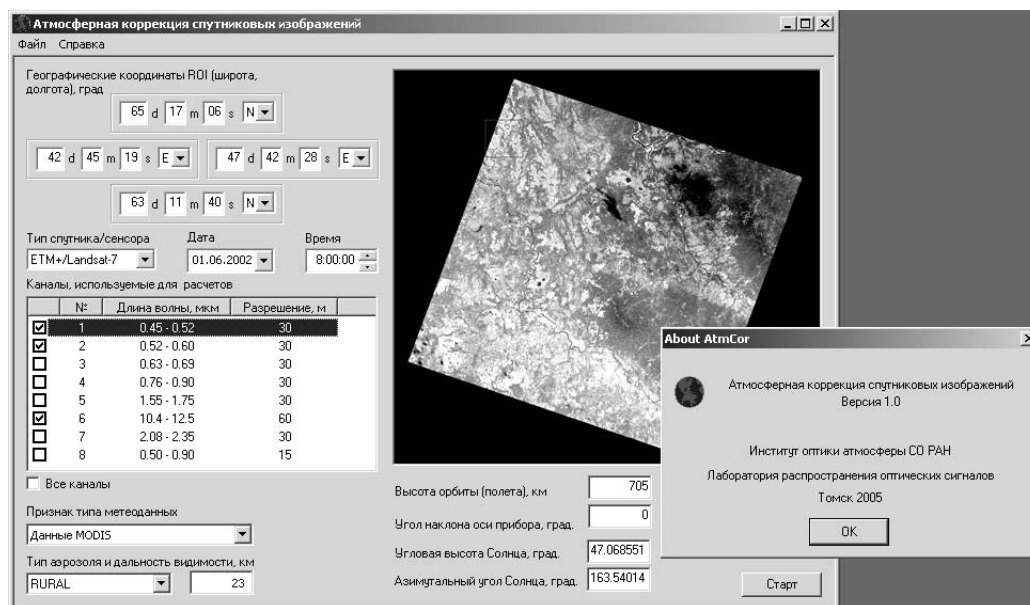


Рис. 2. Пример программного интерфейса. В специальном окне – изображение снимка p177r015_7k20020601_z38_nn61.tif, полученного 1 июня 2002 г. в 6-м канале спутниковой системы ETM+/Landsat-7

- угол наклона оси прибора;
- угловая высота Солнца и азимутальный угол Солнца;
- признак типа априорной оптико-метеорологической информации (АОМИ);
- а) 1,2,...,6 (номер стандартной метеомодели из пакета LOWTRAN-7),
- б) 7 – данные радиозондирования,
- в) 8 – тематические спутниковые данные MODIS;
- имя файла априорной оптико-метеорологической информации (если тип АОМИ > 6);
- тип аэрозоля и метеорологическая дальность видимости.

3.2. Общая схема работы

Рассмотрим схему работы пользователя с ПО при решении задачи атмосферной коррекции реальных спутниковых ИК-измерений ТПП.

1. Выделяется пространственная область интереса (ROI), для которой затем осуществляется атмосферная коррекция. Для ROI формируется файл спутниковых измерений в текстовом или бинарном формате.

2. С помощью калибровочных данных (из файла метаданных) осуществляется калибровка спутниковых данных – перевод первичных спутниковых данных в значения интенсивностей излучения J_λ размерностью Вт/(м² · ср · мкм).

3. Выбираются файлы MODIS Atmosphere (Land) Products (MOD04, MOD05, MOD07, MOD11), максимально согласованные по времени и пространству с данными спутниковых измерений ТПП. На рис. 3 отмечено пространственное распределение данных MOD04 и MOD07, выбранных для спутникового снимка, представленного на рис. 2.

4. С помощью специальных программ (языки программирования IDL/ENVI и/или C) осуществ-

ляются предварительная подготовка согласованных файлов априорной информации MODIS и перевод их из формата HDF-EOS в текстовый формат.

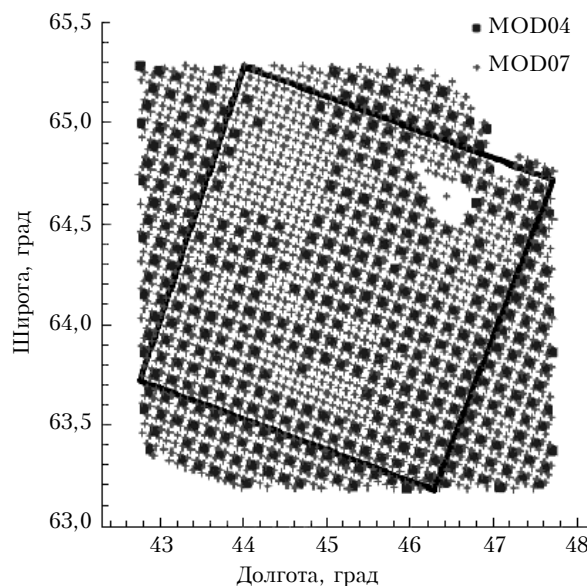


Рис. 3. Пространственное распределение данных MOD04 (418 точек) и MOD07 (2036 точек) для снимка p177r015_7k20020601_z38_nn61.tif

5. Задается файл MOD04 (аэрозольные данные), осуществляется переход от измерений аэрозольной оптической толщины к значениям метеорологической дальности видимости и формируется матрица пространственного распределения по снимку этих данных.

6. Задаются файлы MOD05, MOD07, MOD11 и формируются аналогичные матрицы вертикальных профилей температуры и влажности воздуха, интегрального влагосодержания атмосферы, излу-

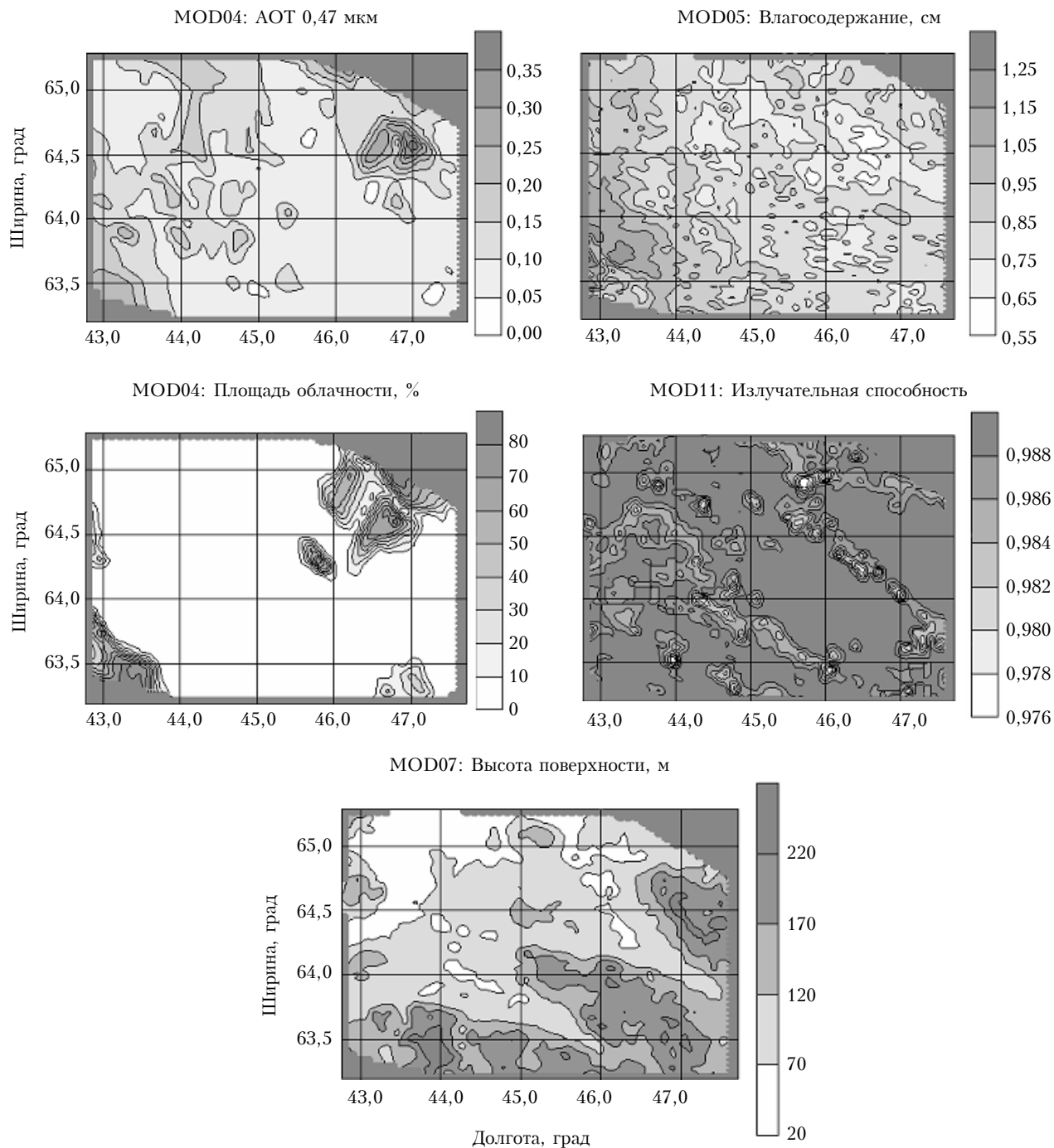


Рис. 4. Характеристики априорной информации MODIS Atmosphere (Land) Products для снимка p177r015_7k20020601_z38_nn61.tif

чательной способности подстилающей поверхности ϵ_{λ}^0 на длинах волн 11 и 12 мкм.

7. Задаются входные файлы и входные параметры и на базе ПО производится расчет массивов интерполяционных значений J_{atm} , J_{rfl} , J_{sct} и P_{λ} с использованием априорной информации об оптическом и метеорологическом состоянии атмосферы, излучательных свойствах подстилающей поверхности (ϵ_{λ}^0) и геометрических условиях измерений.

В табл. 7 в качестве примера представлены статистические данные о J_{atm} , J_{rfl} , и P_{λ} , полученные на основе расчетов для канала 6 ETM+/Landsat-7 с использованием априорной информации MODIS (но без учета аэрозоля).

8. На основе интерполяционных массивов вычисляются значения J_{atm} , J_{rfl} , J_{sct} и P_{λ} для каждого пикселя изображения. При этом привлекаются данные о рельефе подстилающей поверхности.

Таблица 7

Характеристика	Среднее	СКО	Min	Max
J_{atm}	1,1722	0,1301	0,6289	1,5910
J_{rfl}	1,3100	0,1357	0,7134	1,6206
P_λ	0,8153	0,0168	0,7594	0,8865

Примечание. Профили метеопараметров были взяты из файла 152-0835.m07 (2036 профилей).

9. Для каждого пикселя вычисляются значения $J_{srf} = J_\lambda - (J_{atm} + J_{rfl} + J_{sct})$, а затем определяются значения температуры ПП T_S на основе расчетной температурной зависимости величины $J_{srf}(T_S)$. В заключение для ROI формируется матрица значений ТПП.

Заключение

Разработана первая версия программного обеспечения для проведения атмосферной коррекции аэрокосмических ИК-измерений температуры подстилающей поверхности. С помощью ПО можно осуществлять как модельные имитационные расчеты аэрокосмических измерений и компонентов сигналов, так и атмосферную коррекцию реальных дистанционных измерений ТПП. В дальнейшем предполагается активное развитие этого программного приложения в целях совершенствования его инфор-

мационно-алгоритмической основы и расширения функций.

1. Белов В.В., Афонин С.В. От физических основ, теории и моделирования к тематической обработке спутниковых изображений. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2005. 266 с.
2. Афонин С.В., Белов В.В. Направления развития и результаты пассивного спутникового зондирования системы «атмосфера – подстилающая поверхность» в Институте оптики атмосферы СО РАН // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1031–1041.
3. Селиванов А.С., Гектин Ю.М., Трусков Ф.М. Самолетный съемочный комплекс «АПРОС» – перспективы применения в лесном хозяйстве // Третья Всерос. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве»: Сб. докл. М.: Изд-во МГУЛ, 2002. С. 54–55.
4. Kneizys F.X., Shettle E.P., Anderson G.P., Abreu L.W., Chetwynd J.H., Selby J.E.A., Clough S.A., Gallery W.O. User Guide to LOWTRAN-7. ARGL-TR-86-0177. ERP 1010 / Hansom AFB. MA 01731.
5. Афонин С.В., Белов В.В. Информационно-методические основы построения эффективных систем спутникового мониторинга лесных пожаров // Вычисл. технол. 2003. Т. 8. № 11. Спецвыпуск. С. 35–46.
6. Афонин С.В., Белов В.В., Энгель М.В., Кох А.М. Разработка в ИОА СО РАН базы данных региональной спутниковой информации и программного обеспечения для ее обработки // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 1–2. С. 52–60.

S.V. Afonin, V.V. Belov, D.V. Solomatov. Elaboration of software for atmospheric correction of space IR measurements of the underlying surface temperature.

Methodical, information, and algorithmic foundations for the software being under development at the Institute of Atmospheric Optics SB RAS are described. The software is intended for two types of application: model calculations simulating space measurements with the use of different sensors and atmospheric correction of actual space IR measurements of the underlying surface temperature (UST) with accounting for key distorting factors based on *a priori* data on optical-meteorological atmospheric state and geometry of observations.

The MODIS topical satellite data used as the *a priori* information for atmospheric correction of the IR UST measurements are concisely described. The structure of the software input information, general scheme and illustrations of its operation are presented.