

С.В. Афонин, А.А. Мицель, К.М. Фирсов

## ВЛИЯНИЕ ИСКАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ УХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИК-КАНАЛАХ HIRS/2

Приведены результаты исследований влияния искажающих факторов на интенсивность уходящего излучения в каналах прибора HIRS/2: приземного и вулканического аэрозолей, сплошной и перистой облачности, подстилающей поверхности, солнечной подсветки при разной геометрии наблюдения. Данная информация может быть весьма полезной для задачи восстановления метеопараметров атмосферы.

### 1. Введение

Корректное решение задачи восстановления метеопараметров атмосферы по данным инфракрасных каналов прибора HIRS/2 (характеристики каналов представлены в табл. 1) требует учета искажающего влияния ряда факторов, к числу которых в спектральном диапазоне 4–15 мкм следует отнести тепловое излучение подстилающей поверхности (ПП), отраженные от ПП падающие на нее потоки солнечного и атмосферного излучений, ослабление и рассеяние излучения аэрозольными и облачными образованиями.

Т а б л и ц а 1

Каналы прибора HIRS/2 и их предназначение

Номер канала	Длина волны, мкм	Предназначение
1–7	14,95–13,35	Профили температуры
8	11,11	Температура поверхности
9	9,71	Полное содержание озона
10–12	8,16–6,72	Профили влажности
13–17	4,57–4,24	Профили температуры
18–19	4,00; 3,76	Температура поверхности

Данное обстоятельство требует проведения комплексных исследований степени влияния перечисленных выше искажающих факторов на формирование восходящих потоков теплового излучения в области 4–15 мкм. Эти исследования были проведены при помощи программы LOWTRAN-7 [1] для широкого диапазона оптико-геометрических условий наблюдения. Результаты численного моделирования позволили количественно оценить для ИК-каналов прибора HIRS/2 искажающее влияние на интенсивность восходящего теплового излучения следующих типов аэрозольных и облачных образований:

- 1) аэрозоль приземного слоя атмосферы,
- 2) поствулканические стратосферные аэрозольные слои,

- 3) сплошная облачность нижнего яруса,
- 4) перистая облачность.

Для каждого из четырех перечисленных выше типов атмосферных ситуаций производилась оценка относительного вклада в интенсивность восходящего излучения следующих составляющих: теплового излучения подстилающей поверхности, отраженных от ПП потоков атмосферного и солнечного излучения, рассеянного аэрозолем и облаками теплового и солнечного излучения, суммарного вклада отраженного и рассеянного солнечного излучения.

Дополнительно были получены количественные оценки влияния на изменчивость интенсивности восходящего теплового излучения вариаций следующих параметров:

- температуры подстилающей поверхности (ТПП) и его альбедо;
- характеристик аэрозоля приземного слоя;
- характеристик облачности нижнего яруса.

Эти данные фактически позволяют оценить уровень возможных погрешностей при решении задач восстановления метеопараметров атмосферы в условиях неопределенностей в задании указанных параметров.

### 2. Оптико-геометрические условия моделирования

#### Оптико-метеорологические модели атмосферы

*1. Метеомодели.* Моделирование проводилось для всех четырех сезонов. Вертикальные профили метеопараметров задавались с помощью представленных в блоке данных программы LOWTRAN-7 стандартных моделей зимы арктических широт (ЗАШ, ТПП – 257 К), зимы (ЗСШ, ТПП – 272 К) и лета (ЛСШ, ТПП – 294 К) средних широт. Выбор этих моделей произведен на основе анализа статистических данных о сезонной изменчивости вертикальных профилей температуры и влажности в Западной Сибири (г. Новосибирск).

2. *Модели аэрозоля.* Оптические модели атмосферного аэрозоля задавались с помощью блока данных программы LOWTRAN-7.

Вариации оптических характеристик приземного аэрозоля осуществлялись на основе двух моделей сельского (*rural*) и городского (*urban*) типов аэрозоля для четырех значений метеорологической дальности видимости  $S_m = 2, 5, 10$  и  $23$  км. В этих ситуациях для стратосферы использовалась фоновая модель аэрозоля.

Поствулканическая ситуация в стратосфере воспроизводилась на основе двух моделей высокого (*high*) и умеренного (*moderate*) содержания «свежего» (*fresh*) вулканического аэрозоля в стратосфере. Высота расположения максимума коэффициента аэрозольного ослабления слоя составляет  $18-19$  км для первой модели и уменьшается до  $15$  км в случае второй модели. На этих высотах различие в содержании вулканического аэрозоля составляет для указанных аэрозольных моделей более 5 раз для метеомодели ЛСШ и достигает почти 3,8 раза для зимних метеомоделей. В приземном слое атмосферы при этом задавалась модель сельского аэрозоля при значении  $S_m = 23$  км.

3. *Модели облачности нижнего яруса.* Оптические модели облачности задавались из блока данных программы LOWTRAN-7.

Вариации характеристик облачности нижнего яруса осуществлялись с помощью следующих пяти моделей:

1. *Cumulus (Cu)* – нижняя граница расположения облачности (НГО) равна  $0,66$  км, верхняя граница облака (ВГО) равна  $3$  км;

2. *Altostratus (As)* – НГО =  $2,4$  км, ВГО =  $3$  км;

3. *Stratus (St)* – НГО =  $0,33$  км, ВГО =  $1$  км;

4. *Stratus/Strato Cu (Sc)* – НГО =  $0,66$  км, ВГО =  $2$  км.

5. *Nimbostratus (Ns)* – НГО =  $0,16$  км, ВГО =  $0,66$  км.

4. *Модель перистой облачности.* Использовалась стандартная модель перистой облачности из блока данных программы LOWTRAN-7:

1) толщина облака –  $1$  км,

2) оптическая толща –  $0,14$  (независимо от длинны волны),

3) высота расположения облака – зависит от метеомодели и равна:

а) для метеомодели ЛСШ –  $10$  км,

б) для метеомодели ЗСШ –  $8$  км,

в) для метеомодели ЗАШ –  $5$  км.

5. *Альbedo подстилающей поверхности.* Численные расчеты проводились для диапазона значений альbedo  $A = 0 \div 0,1$ .

### Геометрические параметры

1. *Углы наблюдения ( $\Theta$ ).* Численные расчеты проводились для углов наблюдения  $\theta = 0-50^\circ$ , что соответствует диапазону углов сканирования прибора HIRS/2.

2. *Зенитные углы Солнца ( $\Theta_s$ ).* В численных расчетах диапазон зенитных углов Солнца варьировался в зависимости от сезона и определялся максимально возможной высотой Солнца для широты Томска, соответственно для января, апреля, июля и октября:

а) «Зима» –  $\Theta_s = 20-0^\circ$  (относительно уровня горизонта);

б) «Весна» –  $\Theta_s = 50-0^\circ$ ;

в) «Лето» –  $\Theta_s = 60-0^\circ$ ;

г) «Осень» –  $\Theta_s = 30-0^\circ$ .

3. *Азимутальные углы наблюдения ( $\varphi$ ).* Этот угол задает относительное расположение в пространстве оси прибора и направления падения солнечного излучения. Азимут наблюдения принимался во внимание только для наклонных углов наблюдения  $\Theta > 0^\circ$ . В этих случаях численные расчеты производились для четырех азимутальных углов  $\varphi = 0, 45, 90$  и  $180^\circ$ .

### 3. Характеристики численного моделирования

1. *Интенсивность восходящего потока излучения.* Вычисление всех необходимых для проведения исследований характеристик выполнялось на основе программы LOWTRAN-7. Интенсивность восходящего потока излучения  $I_n$  в каналах HIRS/2 представлялась в виде суммы основных влияющих на формирование потока факторов:

$$I_n = I_{atm} + I_{srf} + I_{rfl} + I_{sct}$$

где

$$I_{srf} = (1 - A) \int B_\lambda(T_s) P_\lambda d\lambda; \quad I_{rfl} = I_{rfl}^{atm} + I_{rfl}^{sun};$$

$$I_{sct} = I_{sct}^{irm} + I_{sct}^{sun} = (I_{sst}^{irm} + I_{mst}^{irm}) + (I_{sst}^{sun} + I_{mst}^{sun});$$

$I_{atm}$  – интенсивность собственного излучения атмосферы;  $I_{srf}$  – интенсивность теплового излучения подстилающей поверхности;  $A$  – альbedo подстилающей поверхности;  $T_s$  – температура подстилающей поверхности;  $B_\lambda$  – функция Планка;  $P_\lambda$  – функция пропускания атмосферы;  $I_{rfl}^{atm} = A F_{atm}^\downarrow$  и  $I_{rfl}^{sun} = A F_{sun}^\downarrow$  – интенсивности отраженных от подстилающей поверхности падающих на нее потоков атмосферного  $F_{atm}^\downarrow$  и солнечного  $F_{sun}^\downarrow$  излучений;  $I_{sct}^{irm}$  и  $I_{sct}^{sun}$  – интенсивности рассеянного аэрозолем и облаками теплового и солнечного излучений, представленные в виде суммы интенсивностей однократно и многократно рассеянного излучения; учет многократного рассеяния осуществлялся при вычислении  $I_{mst}^{irm}$  и  $I_{mst}^{sun}$  на основе модели двухпоточкового приближения.

2. *Влияние аэрозоля или облачности.* Для оценки влияния аэрозоля или облачности на интенсивность восходящего потока излучения вычислялись следующие относительные характеристики:

1) в случае приземного аэрозоля –  $R = 1 - I_n(S_m)/I_n(mol)$ , где  $I_n(S_m)$  и  $I_n(mol)$  – интенсивности восходящего излучения, соответствующие: а) замутненной (МДВ равна  $S_m$ ) или б) прозрачной (без аэрозольной и безоблачной) атмосферам;

2) в случае вулканического аэрозоля –  $R = 1 - I_n(vlc)/I_n(S_m = 23)$ , где  $I_n(vlc)$  и  $I_n(S_m = 23)$  – интенсивности восходящего излучения, соответствующие случаям: а) наличие в стратосфере слоя поствулканического аэрозоля; б) фоновой модели аэрозоля в приземном слое атмосферы (МДВ = 23 км) и стратосфере;

3) в случае облачности –  $R = 1 - I_n(cld)/I_n(S_m = 23)$ , где  $I_n(cld)$  и  $I_n(S_m = 23)$  – интенсивности восходящего излучения, соответствующие случаям: а) наличие облачности; б) фоновой модели аэрозоля в приземном слое атмосферы (тип – *rural*, МДВ = 23 км) и стратосфере.

3. Вклад факторов, формирующих поток излучения. Вычислялся относительный вклад в интенсивность восходящего излучения  $I_n$  следующих величин:  $I_{surf}$  – тепловое излучение ПП,  $I_{refl}$  – отраженное от ПП солнечное и атмосферное излучение,  $(I_{mst}^{trm} + I_{mst}^{sun})$  – многократно рассеянное излучение,  $(I_{refl}^{sun} + I_{scat}^{sun})$  – вклад солнечного излучения.

4. Влияние вариаций ТПП. Для оценки влияния вариаций температуры поверхности ( $T_s$ ) на изменчивость интенсивности восходящего потока сравнивались значения интенсивностей  $I_n(T_s)$  и  $I_n(T_s \pm dT_s)$ , соответствующие «стандартной» для метеомодели величине ТПП и ее измененному на величину  $dT_s = 5$  К значению.

5. Влияние вариаций альбедо. Для оценки влияния вариаций альбедо ( $A$ ) подстилающей поверхности на изменчивость интенсивности восходящего потока излучения сравнивались значения интенсивностей  $I_n(A=0)$ ,  $I_n(A=0,05)$  и  $I_n(A=0,1)$ .

6. Влияние вариаций аэрозоля. Для оценки влияния вариаций характеристик приземного аэрозоля на изменчивость интенсивности восходящего потока излучения вычислялась следующая относительная характеристика:

$$R = \frac{1}{N_{aer}} \sum_{S_m}^{N_{aer}} |1 - I_n(S_m)/I_n(avr)|, \quad I_n(avr) = \frac{1}{N_{aer}} \sum_{S_m}^{N_{aer}} I_n(S_m),$$

где  $N_{aer} = 8$  – число аэрозольных ситуаций (2 типа аэрозоля  $\times$  4МДВ).

7. Влияние вариаций облачности. Для оценки влияния вариаций характеристик облачности нижнего яруса на изменчивость интенсивности восходящего потока излучения вычислялась следующая относительная характеристика:

$$R = \frac{1}{N_{cld}} \sum_{cld}^{N_{cld}} |1 - I_n(cld)/I_n(avr)|, \quad I_n(avr) = \frac{1}{N_{cld}} \sum_{cld}^{N_{cld}} I_n(cld),$$

где  $N_{cld} = 5$  – число облачных ситуаций.

#### 4. Результаты расчетов

В пакете программ LOWTRAN-7 расчет пропускания атмосферы и интенсивности уходящего излучения осуществляется со спектральным разрешением  $20 \text{ см}^{-1}$  и шагом по частоте  $5 \text{ см}^{-1}$ . Таким образом, спектральные диапазоны, соответствующие в расчетах каналам HIRS/2, могут отличаться от реальных каналов, определяемых их аппаратными функциями. Поэтому были проведены предварительные сравнения результатов расчетов интенсивностей уходящего излучения, выполненных для условий незамутненной атмосферы с помощью программы LOWTRAN-7 и программы [3], использующей на основе базы спектроскопических данных HITRAN-96 [2] прямой полинейный метод расчета с учетом реальных аппаратных функций. Результаты сравнения полученных данных представлены в табл. 2.

Проведенный анализ показал, что согласие результатов расчета в целом вполне удовлетворительное и расхождения не превышают 10%. Только для первого и шестнадцатого каналов наблюдаются превышающие этот уровень систематические расхождения. Однако и в этом случае разница составляет менее 15–20%. Ширина первого спектрального канала составляет  $\sim 3 \text{ см}^{-1}$ , т.е. значительно меньше, чем спектральное разрешение в программе LOWTRAN-7. Шестнадцатый канал попадает на край 4,3 мкм полосы  $\text{CO}_2$ , характеризуемый быстрым спектральным изменением функций пропускания. Таким образом, в обоих случаях реальная аппаратная функция оказывает влияние на результаты расчета больше, чем в других каналах. Тем не менее выбранные при моделировании спектральные диапазоны достаточно адекватно описывают реальные ИК-каналы радиометра HIRS/2 и позволяют получить для них необходимые оценки влияния искажающих факторов на интенсивность уходящего излучения.

Результаты исследований влияния искажающих факторов на интенсивность уходящего излучения представлены в табл. 3, которая дает общее представление о среднем для рассмотренных оптико-геометрических ситуаций уровне влияния в каналах прибора HIRS/2 каждого из искажающих факторов. Таблица состоит из четырех частей отдельно для случаев: 1) приземного аэрозоля, 2) вулканического аэрозоля, 3) сплошной облачности, 4) перистой облачности. Отсутствие какого-либо канала в таблице означает, что влияние всех искажающих факторов в канале не превышает 0,5%. Пустая клетка в таблице – влияние данного фактора в канале не превышает 0,5%.

Результаты расчетов интенсивности УИ,  $\text{мВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{см}^{-1})$ , с помощью программы LOWTRAN-7 и прямого метода счета на основе базы данных HITRAN-96

Номер канала	Центр канала, $\text{см}^{-1}$	$\Theta = 0^\circ$ LOWTRAN	$\Theta = 0^\circ$ HITRAN	Относительная разница, %	$\Theta = 45^\circ$ LOWTRAN	$\Theta = 45^\circ$ HITRAN	Относительная разница, %
Метеомодель – зима арктических широт							
1	669,0	42,9980	48,0316	11,06	43,4260	49,4001	12,87
2	680,0	41,7250	42,0348	0,74	41,0760	42,3390	0,86
3	690,0	41,2087	41,0182	0,46	41,0793	41,0421	0,09
4	703,0	43,2820	45,4435	4,87	41,2427	43,0086	4,19
5	716,0	47,5287	51,8191	8,64	43,8753	47,8484	8,66
6	733,0	56,2467	59,9983	6,45	51,5253	55,3623	7,18
7	749,0	61,6493	66,7676	7,97	57,5940	63,6006	9,91
8	900,0	56,8857	57,0164	0,23	56,7371	56,9880	0,44
9	1030,0	26,7152	26,5152	0,75	22,9304	23,5527	2,68
10	797,0	68,5950	69,7040	1,60	67,7800	69,1224	1,96
11	1365,0	10,3380	10,4345	0,93	9,3865	9,4691	0,88
12	1488,0	4,2527	4,2513	0,03	3,7665	3,7653	0,03
13	2190,0	0,4203	0,3997	5,02	0,3634	0,3455	5,05
14	2210,0	0,2718	0,2669	1,81	0,2083	0,2070	0,62
15	2240,0	0,1486	0,1567	5,29	0,1061	0,1160	8,89
16	2270,0	0,0653	0,0564	14,66	0,0521	0,0505	3,10
17	2420,0	0,1841	0,1888	2,51	0,1664	0,1700	2,10
18	2515,0	0,1428	0,1481	3,59	0,1396	0,1477	5,58
19	2660,0	0,0757	0,0810	6,77	0,0749	0,0806	7,42
Метеомодель – зима средних широт							
1	669,0	45,4480	52,0120	13,47	46,3760	53,8159	14,85
2	680,0	43,9850	44,1232	0,32	44,6180	44,7579	0,31
3	690,0	43,3680	43,0250	0,79	43,3867	43,1645	0,51
4	703,0	46,3253	48,9445	5,50	43,7367	45,9426	4,92
5	716,0	51,9980	57,2128	9,55	47,3367	52,2521	9,87
6	733,0	64,1940	68,6601	6,72	57,7420	62,1902	7,42
7	749,0	72,4800	79,0353	8,65	66,5413	74,0451	10,67
8	900,0	74,6257	74,9850	0,48	74,1743	74,7110	0,72
9	1030,0	34,5792	34,2249	1,03	28,8748	29,6629	2,69
10	797,0	85,9600	87,3735	1,63	84,2500	85,8805	1,92
11	1365,0	12,3703	12,4686	0,79	11,0375	11,1043	0,60
12	1488,0	5,1156	5,0355	0,39	4,4755	4,4943	0,42
13	2190,0	0,7417	0,6982	6,05	0,6195	0,5814	6,34
14	2210,0	0,4470	0,4427	0,97	0,3260	0,3266	0,17
15	2240,0	0,2258	0,2406	6,35	0,1524	0,1695	10,57
16	2270,0	0,0878	0,0748	15,96	0,0667	0,0643	3,73
17	2420,0	0,3602	0,3692	2,47	0,3146	0,3191	1,44
18	2515,0	0,3040	0,3200	5,13	0,2940	0,3183	7,94
19	2660,0	0,1671	0,1803	7,62	0,1638	0,1780	8,34
Метеомодель – лето средних широт							
1	669,0	54,4260	34,4358	16,84	57,3000	67,2363	15,96
2	680,0	52,0530	52,0896	0,07	54,4190	54,3736	0,08
3	690,0	50,4580	49,6130	1,69	51,6453	50,8340	1,58
4	703,0	53,6827	56,8962	5,81	50,4593	53,1150	5,13
5	716,0	61,5880	68,4444	10,55	55,2767	62,0562	11,56
6	733,0	78,9200	84,3878	6,70	69,7467	75,5451	7,98
7	749,0	78,9200	84,3878	6,70	69,7467	75,5451	7,98
8	900,0	103,9540	104,4199	0,45	101,9230	102,5959	0,66
9	1030,0	54,0040	53,0126	1,85	45,2040	45,8701	1,46
10	797,0	112,4900	113,2624	0,68	108,2400	109,1633	0,85
11	1365,0	15,5730	15,6269	0,35	13,6180	13,6819	0,47
12	1488,0	5,8789	5,9023	0,40	5,1855	5,2085	0,44
13	2190,0	1,6544	1,5201	8,46	1,3454	1,2293	9,02
14	2210,0	0,9724	0,9672	0,55	0,6801	0,6902	1,47
15	2240,0	0,4652	0,4951	6,21	0,2953	0,3343	12,36
16	2270,0	0,1612	0,1352	17,58	0,1174	0,1105	6,02
17	2420,0	0,9084	0,9373	3,13	0,7788	0,7978	2,41
18	2515,0	0,8099	0,8563	5,57	0,7771	0,8471	8,61
19	2660,0	0,4556	0,4937	8,03	0,4386	0,4787	8,73

Средний уровень, %, влияния различных искажающих факторов на интенсивность восходящего излучения в каналах прибора HIRS/2

Ситуация: приземный аэрозоль									
Каналы	Время суток	1	2	3	4	5	6	7	8
005	день		1,5						
006	день		10,6				0,7		
007	день		22,4	0,9			1,7		
009	день		48,4	1,1	2,7		4,8	1,4	
010	день		54,6	1,3	1,2		6,6	1,4	
10a*	день		56,1	1,2	1,9		4,5	1,7	
011	день		2,1						
013	день	0,7	44,7	1,9	2,6	0,9	9,5	0,5	
	ночь	0,6	45,0	1,3	2,6		9,6	0,8	
014	день		20,7	1,2	0,8		4,4		
	ночь		20,7	1,1	0,8		4,4		
015	день		7,3				1,4		
016	день		0,6						
17a*	день	1,0	52,6	3,6	5,5	3,5	12,3	2,2	0,5
	ночь	0,8	54,4	1,3	5,4		12,7	1,5	
Каналы измерения ТПП									
008	день	0,5	73,6	0,8	4,2		6,5	3,0	
018	день	3,8	65,3	9,3	9,7	14,4	15,9	9,0	2,5
	ночь	1,1	76,1	0,7	9,4		18,6	3,4	0,7
019	день	8,9	56,1	14,9	8,9	25,0	14,4	17,1	5,0
	ночь	1,3	74,7	0,8	8,4		19,3	3,2	0,8

*Примечания.* Искажающие факторы: 1 – влияние аэрозоля, 2 – вклад излучения подстилающей поверхности (ПП), 3 – вклад отраженного от ПП солнечного и атмосферного излучений, 4 – вклад многократно рассеянного солнечного и теплового излучений, 5 – суммарный вклад отраженного и рассеянного солнечного излучения, 6 – влияние вариаций температуры ПП, 7 – влияние вариаций альbedo ПП, 8 – влияние вариаций характеристик аэрозоля; \* – каналы 10a ( $797 \text{ см}^{-1}$ ) и 17a ( $2420 \text{ см}^{-1}$ ) – спутник NOAA-14, каналы 10 ( $1225 \text{ см}^{-1}$ ) и 17 ( $2360 \text{ см}^{-1}$ ) – спутник NOAA-12.

Продолжение табл. 3

Ситуация: вулканический аэрозоль									
Каналы	Время суток	1	2	3	4	5	6	7	
005	день		1,6						
006	день		11,4				0,8		
007	день		24,3	0,9			1,9		
009	день	1,4	53,2	1,1	0,6		5,3	1,7	
010	день		59,0	1,2	0,9		7,1	1,6	
10a	день		60,8	1,0	1,1		4,9	1,9	
011	день		2,3		0,7				
013	день	0,9	47,0	2,0	2,9	2,2	10,0	0,5	
	ночь	0,8	48,0	1,3	2,9		1	0,9	
014	день	1,4	22,9	1,1	1,8	2,2	4,9		
	ночь	1,4	23,4	1,0	1,7		5,0		
015	день	2,4	8,0			3,2	1,6		
	ночь	1,5	8,2				1,6		
016	день	3,1	0,8			3,8			
	ночь	1,3	0,8						
17a	день	3,3	56,1	4,0	4,5	6,5	13,1	2,4	
	ночь		59,9	1,4	4,5		14,0	1,8	
Каналы измерения ТПП									
008	день	1,0	79,5	0,6	2,1		7,1	3,5	
018	день	3,7	7	10,7	6,1	16,3	17,1	9,9	
	ночь		83,7	0,5	6,0		2	3,9	
019	день	6,3	59,8	17,2	6,2	26,9	15,4	19,2	
	ночь		82,0	0,7	5,9		21,3	3,7	

*Примечание.* Искажающие факторы: 1 – влияние аэрозоля, 2 – вклад излучения подстилающей поверхности (ПП), 3 – вклад отраженного от ПП солнечного и атмосферного излучений, 4 – вклад многократно рассеянного солнечного и теплового излучений, 5 – суммарный вклад отраженного и рассеянного солнечного излучения, 6 – влияние вариаций температуры ПП, 7 – влияние вариаций альbedo ПП.

Ситуация: сплошная облачность					
Каналы	Время суток	1	2	3	4
005	день	0,5	2,2		
006	день	2,1	9,7		1,6
007	день	3,6	16,6		2,6
009	день	6,4	42,7		4,7
010	день	10,5	59,4		7,3
10a	день	6,4	29,9		4,9
011	день	1,9	11,2		1,5
013	день	11,6	49,9	9,0	6,0
	ночь	17,4	53,7		11,2
014	день	9,1	34,2	3,1	5,3
	ночь	11,5	35,1		7,5
015	день	5,1	17,7	0,9	3,3
	ночь	5,9	17,8		4,0
016	день	1,9	4,0		0,9
017	день	4,0			
17a	день	21,2	54,4	28,8	10,9
	ночь	23,5	66,8		15,0
Каналы измерения ТПП					
008	день	7,6	40,0		6,2
018	день	64,5	54,2	56,6	2
	ночь	29,3	81,4		18,4
019	день	128,3	50,9	71,5	27,3
	ночь	32,6	83,2		19,9

*Примечание.* Искажающие факторы: 1 – влияние облачности, 2 – вклад многократно рассеянного солнечного и теплового излучений, 3 – суммарный вклад отраженного и рассеянного солнечного излучения, 4 – влияние вариаций характеристик облачности.

Ситуация: перистая облачность								
Каналы	Время суток	1	2	3	4	5	6	7
004	день	0,8						
005	день	2,1	1,3					
006	день	4,0	9,9		2,4		0,7	
007	день	4,5	21,0	0,8	4,6		1,5	
009	день	4,5	46,6	1,0	5,8		4,7	1,4
010	день	5,3	51,5	1,2	9,6		6,2	1,4
10a	день	4,1	52,2	1,1	1		4,2	1,6
011	день	5,5	2,0		5,9			
012	день	3,1						
013	день	5,4	41,9	1,7	7,1	4,2	8,9	0,5
	ночь	8,6	43,7	1,2	7,4		9,3	0,9
014	день	6,3	21,1	1,0	4,0	3,6	4,5	
	ночь	9,5	21,8	0,9	4,2		4,6	
015	день	5,3	7,4		0,8	3,2	1,2	
	ночь	8,2	7,6		0,8		1,3	
016	день	3,8				1,8		
	ночь	5,5						
017	день	12,8						
17a	день	5,1	48,6	3,1	8,9	12,9	11,3	1,9
	ночь	8,0	55,5	1,3	9,9		13,0	1,6
Каналы измерения ТПП								
008	день	4,8	69,2	0,7	10,6		6,1	2,9
018	день	9,5	58,3	7,7	10,7	24,6	14,1	7,5
	ночь	7,4	77,0	0,5	12,3		18,8	3,6
019	день	19,9	46,8	11,6	9,7	38,1	12,0	13,3
	ночь	7,3	75,7	0,6	12,1		19,6	3,4

*Примечание.* Искажающие факторы: 1 – влияние облачности, 2 – вклад излучения подстилающей поверхности (ПП), 3 – вклад отраженного от ПП солнечного и атмосферного излучений, 4 – вклад многократно рассеянного солнечного и теплового излучений, 5 – суммарный вклад отраженного и рассеянного солнечного излучения, 6 – влияние вариаций температуры ПП, 7 – влияние вариаций альbedo ПП.

Проведенный анализ погрешностей радиационных моделей уходящего излучения (УИ), используе-

мых для определения метеопараметров атмосферы, показал – для первых четырех каналов HIRS/2 можно

пренебречь влиянием подстилающей поверхности и всех атмосферных факторов. Этот вывод находится в полном согласии с физическими представлениями о формировании УИ в слоях атмосферы, расположенных на высотах от 8 км и выше. Верхняя граница облаков нижнего яруса не превосходит 3 км, а высота перистых облаков 8–10 км.

В условиях безоблачной атмосферы вместе с каналами 1–4 не подвержены влиянию искажающих факторов также каналы 12 и 17. Наряду с ними целесообразно выделить каналы 5, 11 и 16, в которых влияние искажающих факторов не превышает 5% для большинства условий наблюдений (это позволяет надеяться на их простой учет при интерпретации данных). Важным также является вывод о незначительном влиянии аэрозоля на интенсивность УИ в каналах HIRS/2, которое составляет менее 1–3%.

Вклад солнечного излучения в формирование УИ для каналов 13–16 не превышает 1–4% в безоблачной атмосфере и возрастает до 2–9% при наличии облачности. Более заметно проявление этого фактора в канале 17а. В остальных же каналах влиянием солнечного излучения на интенсивность УИ можно пренебречь.

Наибольшее влияние на интенсивность УИ для многих каналов прибора HIRS/2 оказывает тепловое излучение подстилающей поверхности. Поэтому учет этого фактора является важнейшей задачей при интерпретации данных. Результаты расчетов наглядно демонстрируют заметную чувствительность модели УИ к параметрам ПП – ее температуре (в первую очередь) и альбедо. Наряду с подстилающей поверхностью значительную роль в формировании УИ играет сплошная облачность. Целесообразно от-

метить, что учет влияния этого фактора при интерпретации данных потребует знания характеристик облачности.

Перистая облачность оказывает влияние на УИ практически во всех каналах HIRS/2 (за исключением первых четырех). Вклад этого фактора в наиболее информативные каналы в дневное время суток составляет в среднем 3–5%, максимум до 13% (канал 17). В ночное время влияние этого фактора порядка 5–10% заметно только в каналах 13–16.

Еще одним ограничивающим фактором использования данных HIRS/2 для определения метеопараметров в дневное время является необходимость учета вклада многократно рассеянного солнечного и теплового излучения (особенно при наличии сплошной облачности). В безоблачной атмосфере величина этого фактора не превышает 6%, при наличии перистой облачности может достигать 10%, в условиях сплошной облачности для большинства каналов превышает 10–20%.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 96-15-98476.

1. Kneizys F.X., Shettle E.P., Abreu L.W. et al. // User's Guide to LOWTRAN-7. AFGL-TR-88-0177, EPR, No. 1010, AFG1. Hansom AFB, MA 01731, August 1988.
2. Rothman L.S., Gamache R.R., Tipping R.H., Rinsland C.P., Smith M.A.H., Benner D.C., Deori V.M., Flaud J.-M., Camy-Peyret C., Perrin A., Goldman A., Massie S.T., Brown L.R. and Toth R.A. The HITRAN molecular database: editions of 1991 and 1992 // Journ. Quant. Spectr. Radiat. Transfer. 1992. V. 48. P. 469–507.
3. Мицель А.А., Пташник И.В., Фирсов К.М., Фомин Б.А. Эффективный метод полинейного счета пропускания поглощающей атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 10. С. 1547–1551.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
8 июля 1998 г.

*S.V. Afonin, A.A. Mitsel, K.M. Firsov. Influence of Distorting Factors on Outgoing Radiation Intensity in IR-Channels of HIRS/2.*

The distorting factors of the intensity of outgoing radiation within HIRS/2 channels have been analyzed: ground aerosol, volcanic aerosol, cloud cover, cirri clouds, underlying surface, solar lighting at various geometry of observation. The obtained information can be useful in retrieval the atmospheric parameters.