

DOI: 10.51981/2588-0039.2022.45.036

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО БЛОКА МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Е.А. Федотова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: godograf87@mail.ru

Абстракт

В работе представлены результаты тестирования блока модели общей циркуляции атмосферы Земли, в котором рассчитывается поле солнечного излучения в частотном диапазоне от 2000 до 50000 см⁻¹ с учетом нарушения локального термодинамического равновесия в колебательных полосах СО₂ и О₃. Для численного решения уравнения переноса излучения использовался метод дискретных ординат. Результаты расчетов, выполненных с помощью блока модели, сравниваются с результатами расчетов поля солнечного излучения в нижней и средней атмосфере Земли, выполненных с очень высоким разрешением по частоте.

Введение

Расчет поля солнечного излучения атмосферы необходимо проводить при моделировании общей циркуляции атмосферы Земли для расчета скорости нагрева атмосферы излучением. Чем точнее расчет скорости нагрева, тем выше качество моделирования общей циркуляции атмосферы Земли. На высотах более 20 км коэффициент молекулярного поглощения очень быстро изменяется при изменении частоты. По этой причине, при расчетах интенсивности излучения разрешение по частоте должно составлять примерно 0,001 см⁻¹. Такие расчеты называются расчетами с высоким разрешением по частоте (Line-by-Line). При этих расчетах требуются большие вычислительные затраты и их нельзя использовать в моделях общей циркуляции атмосферы в настоящее время. Поэтому в моделях общей циркуляции атмосферы используются упрощенные методы быстрого расчета потоков излучения [1-5]. Основная идея этих методов состоит в том, что реальная зависимость коэффициента молекулярного поглощения от частоты заменяется на модельную зависимость, более удобную для расчетов. При этом узкие спектральные каналы по определенному алгоритму объединяются в группы, каждая из которых заменяется на один широкий модельный канал. В результате несколько миллионов узких спектральных каналов заменяются на несколько десятков или несколько сотен модельных каналов, для каждого из которых проводится численное решение уравнения переноса излучения. Процедуру построения указанных модельных каналов называют построением параметризации молекулярного поглощения. Для проверки точности построенной параметризации результаты расчета поля излучения в модельных каналах сравниваются с результатами расчетов с высоким спектральным разрешением.

В данной работе представлены результаты тестирования блока расчета солнечного излучения атмосферы Земли, который разработан для модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы. В представленном блоке расчета солнечного излучения атмосферы Земли используется параметризация молекулярного поглощения в диапазоне частот от 2000 до 50000 см⁻¹ в интервале высот от поверхности Земли до 76 км, в которой имеется 144 модельных каналов. Способ построения этой параметризации был представлен в работе [7]. При построении этих параметризаций учитывалось изменение газового состава атмосферы с высотой, а также нарушение локального термодинамического равновесия в колебательных полосах углекислого газа с длиной волны около 4,3 и 2,7 мкм на высотах выше 70 км. Для численного решения уравнения переноса излучения использовался метод дискретных ординат. Результаты тестирования, выполненных с помощью блока модели, сравниваются с результатами расчетов поля солнечного излучения в нижней и средней атмосфере Земли, выполненных с очень высоким разрешением по частоте.

Тестовые расчеты поля солнечного излучения

Были проведены расчеты с высоким спектральным разрешением (LBL) поля солнечного излучения атмосферы Земли с разрешением по частоте 0,001 см⁻¹ и расчеты с использованием радиационного блока модели для случая, когда имеется верхний облачный слой на высотах от 7 до 10 км. Методы расчетов детально описаны в [6-8].

На рис. 1 представлены потоки восходящего и нисходящего солнечного излучения атмосферы и скорости нагрева атмосферного газа за счет этих потоков, полученные с помощью расчетов с высоким спектральным разрешением (LBL), а также с использованием радиационного блока модели в интервале частот от 2000 до

22000 см^{-1} . Из рис. 1 видно, что в этих интервалах частот нисходящие потоки излучения на высотах более 10 км и на высотах 0–7 км мало изменяются с высотой, а на высотах от 7 до 10 км быстро убывают с уменьшением высоты. Восходящие потоки при движении от поверхности вверх сначала убывают до высоты примерно 3 км, затем до высоты 7 км мало изменяются, в облачном слое быстро возрастают с ростом высоты, а выше облачного слоя практически постоянны.

Также из рис. 1 видно, что скорость нагрева воздуха за счет переноса солнечного излучения атмосферы в интервале частот от 2000–22000 см^{-1} на высотах от 20 до 100 км лежит в пределах от 0 до 14 К/сут, внутри облачного слоя на высотах от 7 до 10 км лежит в пределах от 0 до 45 К/сут. Наибольший вклад в нагрев за счет переноса солнечного излучения атмосферы вносит интервал 2000–4000 см^{-1} на высотах от 20 до 100 км выше облачного слоя и интервал 4000–10000 см^{-1} и 14000–22000 см^{-1} внутри облачного слоя. Разность между скоростью нагрева, рассчитанной с использованием радиационного блока модели и скоростью, полученной с помощью LBL расчетов, вне облачного слоя лежит в пределах от 0 до 0.85 К/сут, а внутри облачного слоя лежит в пределах от 0 до 0.55 К/сут.

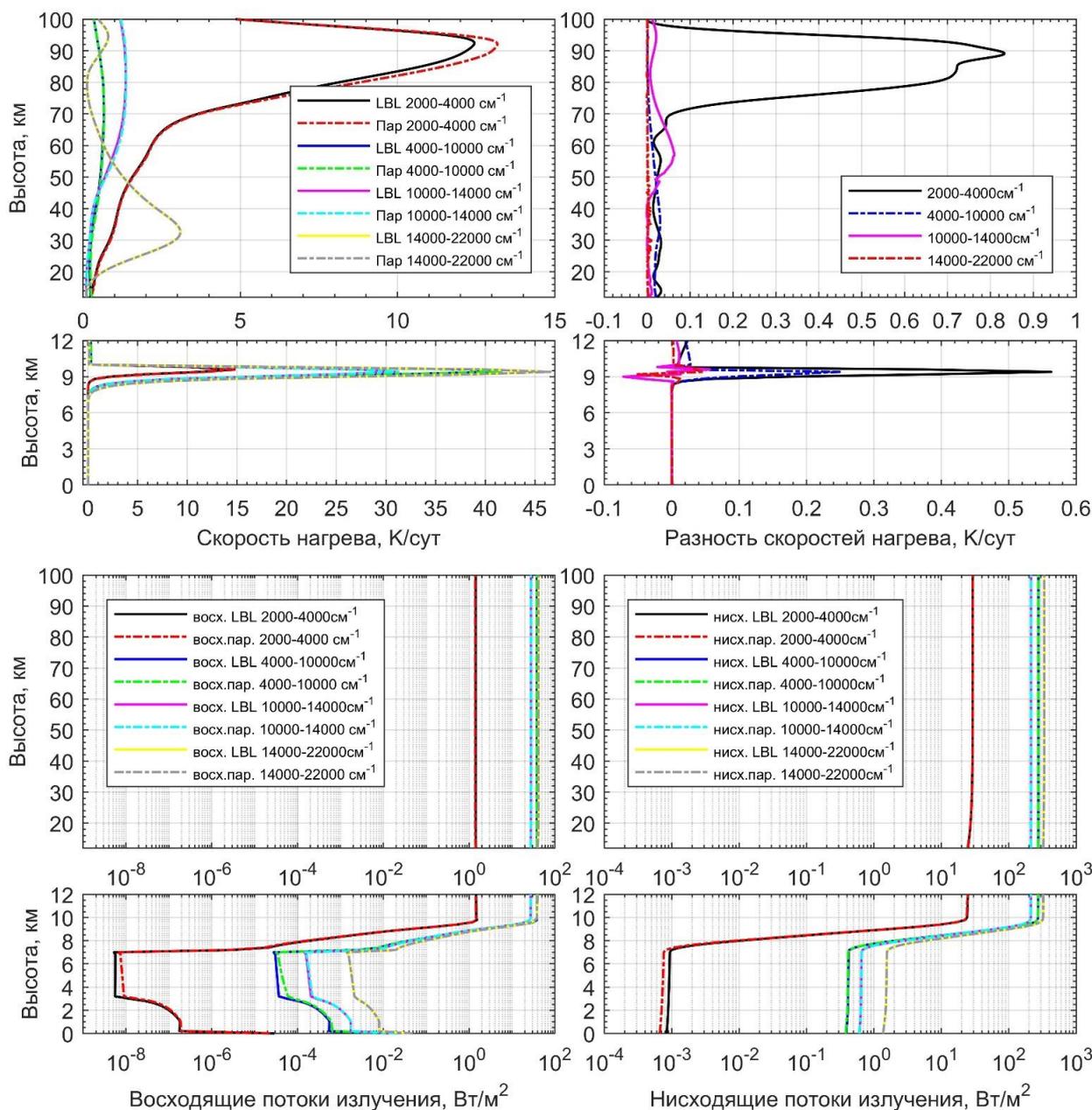


Рисунок 1. Внизу потоки восходящего и нисходящего солнечного излучения в частотных диапазонах 2000–4000 см^{-1} , 4000–10000 см^{-1} , 10000–14000 см^{-1} и 14000–22000 см^{-1} при наличии верхнего облачного слоя, рассчитанные с помощью радиационного блока модели (пар.) и с помощью LBL расчетов. Вверху слева скорости нагрева атмосферного газа за счет этих потоков, а вверху справа разность этих скоростей нагрева.

На рис.2 представлены потоки восходящего и нисходящего солнечного излучения атмосферы и скорости нагрева атмосферного газа за счет этих потоков, полученные с помощью LBL расчетов, а также с использованием радиационного блока модели в интервалах частот от 22000 до 50000 см^{-1} . Из рис. 2 видно, что в этих интервалах частот нисходящие потоки излучения выше облачного слоя и ниже облачного слоя мало изменяются с высотой, а в облачном быстро убывают с уменьшением высоты. Восходящие потоки при движении от поверхности вверх сначала убывают до высоты нижней границы облачного слоя, а выше облачного слоя практически постоянны. Также, на рис. 2 видно, что скорость нагрева воздуха за счет переноса солнечного излучения атмосферы в интервале частот от 22000–50000 см^{-1} от 20 до 100 км лежит в пределах от 0 до 28 К/сут, на высотах от 7 до 10 км внутри облачного слоя на высоте лежит в пределах от 0 до 17 К/сут. Наибольший вклад в нагрев за счет переноса солнечного излучения атмосферы на высотах от 20 до 100 км вносит интервал 30000–38000 см^{-1} и на высотах от 7 до 10 км внутри облачного слоя интервал 22000–30000 см^{-1} . Разность между скоростью нагрева, рассчитанной с использованием радиационного блока модели и скоростью, полученной с помощью LBL расчетов, вне облачного слоя лежит в пределах от 0 до 0.25 К/сут, а внутри облачного слоя лежит в пределах от 0 до 0.02 К/сут.

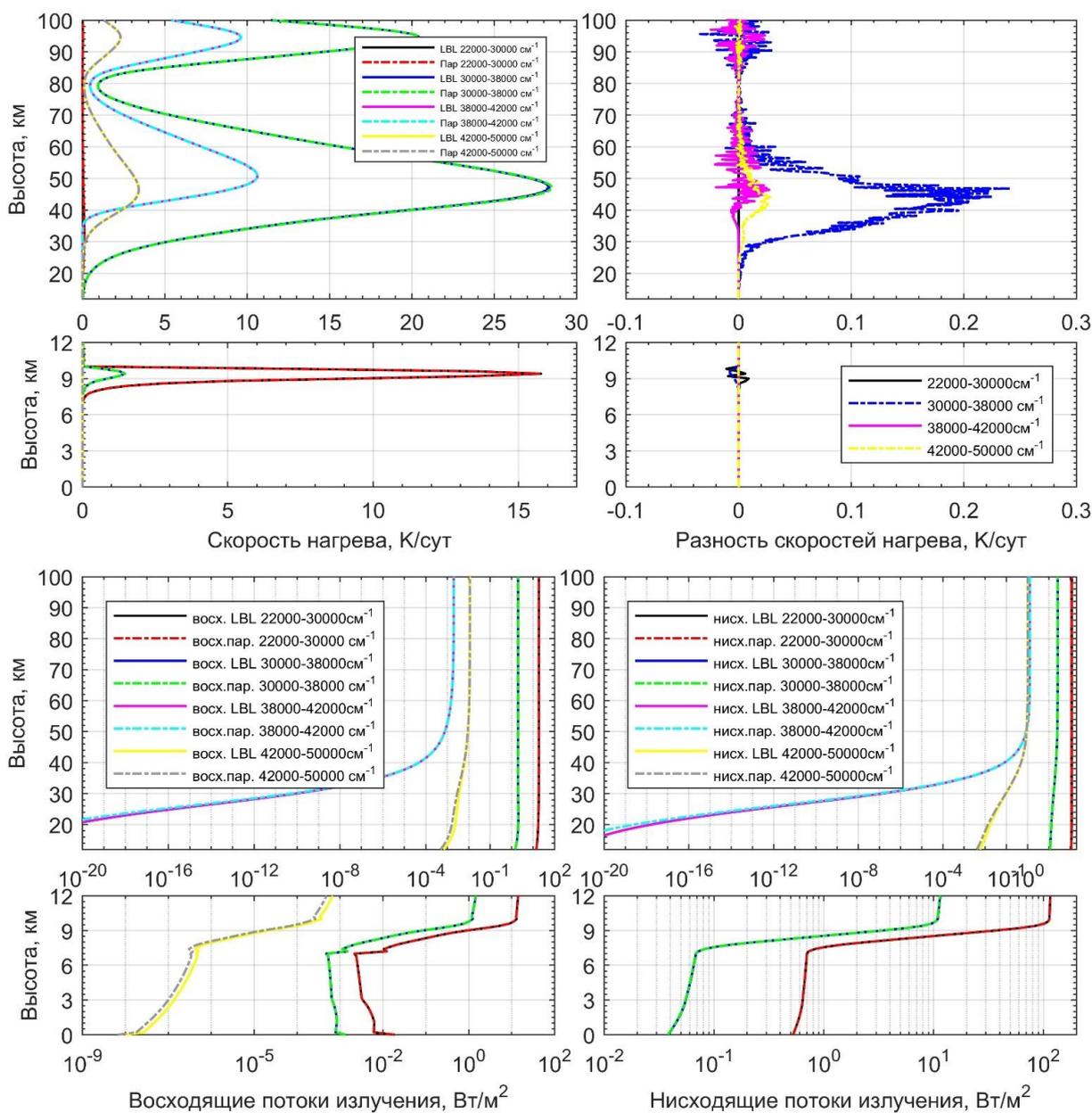


Рисунок 2. Внизу потоки восходящего и нисходящего солнечного излучения в частотных диапазонах 22000–30000 см^{-1} , 30000–38000 см^{-1} , 38000–42000 см^{-1} и 42000–50000 см^{-1} при наличии верхнего облачного слоя, рассчитанные с помощью радиационного блока модели (пар.) и с помощью LBL расчетов. Вверху слева скорости нагрева атмосферного газа за счет этих потоков, а вверху справа разность этих скоростей нагрева.

Заключение

Результаты расчетов показали, что радиационный блок модели обеспечивает точность расчета скорости нагрева за счет переноса солнечного излучения в интервале частот $2000\text{--}50000\text{ см}^{-1}$ не хуже 0.9 К/сут на высотах от 60 до 100 км, вне облачных слоев не хуже 0.26 К/сут , и около 1 К/сут внутри облачного слоя с большой оптической толщиной. Разность между расчетами с использованием радиационного блока модели и расчетами с высоким спектральным разрешением в этом интервале частот лежит в пределах от 0 до 0.85 К/сут вне облачного слоя, а внутри облачного слоя лежит в пределах от 0 до 0.55 К/сут .

Список литературы

1. *А.В. Шильков, М.Н. Герцев.* Верификация метода лебеговского осреднения // Математическое моделирование, 2015, т. 27, № 8, с. 13–31.
2. *В.А. Fomin, P.M. Correa.* A k-distribution technique for radiative transfer simulation in inhomogeneous atmosphere: 2. FKDM, fast k-distribution model for the shortwave // J. Geophys. Res. 2005. Vol. 110, D02106.
3. *M.D. Chou, M.J. Suarez.* A solar radiation parameterization for atmospheric studies, NASA/TM-1999-10460. Tech. Rep. Ser. Global Model. Data Assimilation. NASA Goddard Space Flight Cent., Greenbelt, Md. 2002. V. 15. 42 p.
4. *J.M. Edwards, A. Slingo.* Studies with a Flexible New Radiation Code. I: Choosing a Configuration for a Large-Scale Model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1996, V. 122, P. 689-719. DOI:10.1002/QJ.49712253107
5. *S. Cusack, J.M. Edwards, J.M. Crowther.* Investigating k-distributing method for parametrizing gaseous absorption in the Hadley Centre Climate Model // J. Geophys. Res., 1999, Vol. 104, P. 2051-2057.
6. *И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, Е.А. Федотова.* Учет нарушения локального термодинамического равновесия в верхней атмосфере земли в колебательных полосах молекул углекислого газа в радиационном блоке модели общей циркуляции атмосферы Земли // Известия РАН. Серия Физическая, 2021, т. 85, № 3, с. 393-397.
7. *Б.Н. Четверушкин, И.В. Мингалев, В.М. Чечеткин, К.Г. Орлов, Е.А. Федотова, В.С. Мингалев.* Блок расчета солнечного излучения атмосферы в модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли // Математическое моделирование, 2022, т. 34, № 3, С. 43-70.
8. *Н.И. Игнатъев, И.В. Мингалев, А.В. Родин, Е.А. Федотова.* Новый вариант метода дискретных ординат для расчета собственного излучения в горизонтально однородной атмосфере // ЖВМ и МФ, 2015, т. 55, № 10, с. 109–123.