

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 531.521, 551.501

Т.Б. Журавлева, Е.М. Анисимова

**База данных «Численная радиационная модель однослойной  
разорванной облачности», доступная в сети Интернет**

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 18.03.2002 г.

Особенность теоретических исследований атмосферных процессов состоит в том, что они дают возможность оперировать разнородными массивами данных (спектры атмосферных газов, статистические модели высотного хода параметров атмосферы, спектральный состав излучения в верхней атмосфере и т.д.). В ИОА СО РАН проводится работа по организации доступа к такого рода данным средствами Интернет-технологий. На сайте «Модели атмосферы» (<http://model.iao.ru>) аккумулированы данные по статистическим моделям атмосферы, спектрам солнечного излучения, полученным в обсерватории Kitt Peak, и данные для расчетов эффективного балла облачности и потоков солнечного излучения. Последние данные положены в основу Интернет-доступной версии «Численная радиационная модель однослойной разорванной облачности (видимая и коротковолновая области спектра)», позволяющей в первом приближении оценить ошибки, которые могут возникать при расчете потоков солнечной радиации без учета горизонтальной неоднородности, характерной для реальных облачных полей.

Исследование физических закономерностей, определяющих крупномасштабные динамические и энергетические процессы в атмосфере, требует, по возможности, полно учитывать механизм взаимодействия радиации и облачности – главного регулятора лучистого теплообмена. Это влечет за собой необходимость создания новых упрощенных методик расчета радиационных потоков в коротковолновой и длинноволновой областях спектра, которые, с одной стороны, как можно точнее описывали бы перенос излучения в реальной атмосфере, а с другой – были бы достаточно эффективными с точки зрения затрат компьютерного времени.

В работе Г.А. Титова, Т.Б. Журавлевой [1] предложен новый подход к параметризации потоков коротковолновой радиации в однослойной разорванной облачности, который позволяет аккуратно учесть влияние, обусловленное стохастической геометрией реальных облачных полей, и, по сути, не сопровождается увеличением трудоемкости расчетов по сравнению с горизонтально однородной моделью облаков. Суть его состоит в следующем.

Традиционно потоки солнечной радиации в условиях частичной облачности  $F_{bc}$  рассчитывались на основе уравнения переноса излучения с детерминированными оптическими характеристиками и представлялись в виде

$$F_{bc}(z) = N F_{pp}(z) + (1 - N) F_{clr}(z), \quad (1)$$

где индексы «*pp*» и «*clr*» используются для обозначения потоков излучения в сплошной облачности и при ясном небе соответственно;  $N$  – балл облачности. Такой подход дает адекватные результаты лишь для облаков слоистых форм, для которых параметр

$\gamma = H/D \ll 1$  ( $H$  – геометрическая толщина облачного слоя;  $D$  – характерный горизонтальный размер облаков) и приводит к существенным ошибкам при расчете радиационных характеристик в кучевых облаках ( $\gamma \approx 1$ ). В [1] было предложено использовать в расчетах средних спектральных (интегральных) потоков восходящей и нисходящей солнечной радиации в разорванных облаках на уровне  $z$  представление, аналогичное (1), но с заменой балла облачности  $N$  на эффективный балл облачности  $N_e$ :

$$F_{bc}(z) = N_e(z) F_{pp}(z) + [1 - N_e(z)] F_{clr}(z), \quad (2)$$

что позволяет аккуратно учесть эффекты, обусловленные как конечными горизонтальными размерами облаков, так и случайной геометрией последних. Поскольку  $F_{pp}(z)$  и  $F_{clr}(z)$  могут быть рассчитаны на основе эффективных радиационных кодов, развитых в рамках горизонтально-однородной модели облаков, задача расчета средних потоков сводится к нахождению быстрого и удобного способа расчета  $N_e(z)$ .

Нами [1] сделаны следующие выводы:

а) в видимой области спектра (0,4–0,7 мкм) можно пренебречь зависимостью эффективного балла от  $z$ :  $N_e^{vis}(z) = N_e^{vis}$ ;

б) основными параметрами, определяющими вариации  $N_e^{vis}$ , являются следующие 5: оптическая толщина облаков  $\tau$ , балл облачности  $N$ , параметр  $\gamma = H/D$ , зенитный угол Солнца  $\xi$ , альbedo подстилающей поверхности  $A_s$ ;

в) в большом диапазоне входных параметров задачи (см. ниже) связь эффективных баллов облачности в видимом диапазоне  $N_e^{vis}$  ( $\lambda = 0,69$  мкм) и

интегральной по спектру (104–36 мкм) области спектра  $N_e^{sw}$  хорошо описывается функциями вида:

в подоблачной атмосфере  $0 \leq z \leq Hb_{cld}$ ,  $Hb_{cld}$  – нижняя граница облаков:

$$N_e^{sw}(z) = N_e^{vis}(1,06 - 0,06 \cdot N_e^{vis}), \quad (3a)$$

в надоблачной атмосфере  $Ht_{cld} \leq z \leq Ht_{atm}$ ,  $Ht_{cld}$  и  $Ht_{atm}$  – верхние границы облаков и атмосферы:

$$N_e^{sw}(z) = N_e^{vis}(0,98 + 0,02 \cdot N_e^{vis}). \quad (36)$$

Важно заметить, что формулы (3) получены для жидкокапельных облаков, которые занимают слой 1,0–1,5 км, однако, как показывают расчеты, они остаются справедливыми при увеличении нижней границы облаков до  $Hb_{cld} = 5$  км, т.е. для практически всего множества значений  $Hb_{cld}$ , характерных для жидкокапельных облаков нижнего и среднего ярусов [2].

Таким образом, если известны значения потоков коротковолновой радиации  $F_{pp}^{sw}(z)$  и  $F_{clr}^{sw}(z)$ , рассчитанные в рамках горизонтально однородной модели облаков с помощью какого-либо радиационного кода, а также значения  $N_e^{vis}$ , то с помощью формул (2), (3) можно быстро рассчитать потоки коротковолновой радиации в условиях разорванной стохастической облачности. Поскольку быстрые и точные методы расчета эффективного количества облаков в видимом диапазоне отсутствуют, в [1] было предложено построить для нахождения  $N_e^{vis}$  численную модель. При разработке этой модели были использованы в соответствии с формулой (2) результаты расчетов потоков восходящей и нисходящей радиации ( $\lambda = 0,69$  мкм) на различных атмосферных уровнях  $z = 0; 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 5,0; 7,0; 9,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0$  км (облачный слой расположен в интервале 1–1,5 км) для следующих значений входных параметров:

- балл облачности  $N = 0,0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,0;$
- параметр  $\gamma = 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0;$
- зенитный угол Солнца  $\xi = 0, 20, 40, 60, 80^\circ;$
- оптическая толщина облаков  $\tau = 5; 10; 15; 20; 40; 60;$
- альбедо подстилающей поверхности  $A_s = 0,0; 0,3; 0,6; 0,9.$

Величина шага по каждому параметру выбиралась таким образом, чтобы ошибка при линейной интерполяции  $N_e^{vis}$  для промежуточных значений  $N, \gamma, \xi, \tau, A_s$  не превышала относительной погрешности расчета  $N_e^{vis}$  на основе формулы (2), которая не превышала в большинстве случаев 2–3%.

Для быстрого доступа и свободного использования полученных результатов в Институте оптики атмосферы СО РАН проводится работа по организации доступа к такого рода данным средствами Интернет-технологий [3]. На сайте «Модели атмосферы» (<http://model.iao.ru>) аккумулированы данные по статистическим моделям атмосферы [4–6], спектрам солнечного излучения, полученным в обсерватории Kitt Peak [7], а также данные для расчетов эффективного балла облачности и потоков солнечного излу-

чения. Последние данные положены в основу первой версии Интернет-доступной базы данных (БД) «Численная радиационная модель однослойной разорванной облачности (видимая и коротковолновая области спектра)», английская и русская версии которой представлены на сайте по адресу: <http://model.iao.ru>. В настоящее время реализованы два режима работы с этой базой данных.

Первый режим работы «Эффективный балл облачности» обеспечивает доступ к значениям эффективного количества облаков в видимой области спектра, рассчитанным для указанного выше диапазона изменений пяти входных параметров задачи:  $N_e^{vis} = N_e^{vis}(N, \gamma, \xi, \tau, A_s)$ . Для удобства представления  $N_e^{vis}$  рассматривается как функция двух переменных при условии, что три остальных параметра фиксированы. Так, например, если необходимо оценить вариации  $N_e^{vis}$  при изменениях  $N$  и  $\xi$ , пользователь должен, во-первых, выбрать из списка три остальных параметра  $\gamma, \tau, A_s$ , во-вторых, зафиксировать их значения  $\gamma = \gamma^*, \tau = \tau^*, A_s = A_s^*$  и, в-третьих, указать интересующие пределы изменения и шаг для двух выбранных переменных  $N$  и  $\xi$ . В результате на экране высвечивается таблица значений эффективного балла облачности  $N_e^{vis}$  в диапазоне изменений входных параметров, заданных пользователем.

Второй режим работы базы данных «Потоки солнечной радиации» предназначен для отображения рассчитанных ранее потоков нисходящего и восходящего солнечного излучения ( $\lambda = 0,69$  мкм) в безоблачной и облачной атмосфере, содержащей слой сплошных или разорванных облаков в интервале 1–1,5 км. После выбора атмосферных условий («ясно», «сплошная облачность», «разорванная облачность») и входных параметров из соответствующих списков значений на экран выводится таблица, в которой представлены средние значения потоков восходящей и нисходящей (отдельно нерассеянной, диффузной и суммарной) радиации на различных атмосферных уровнях. Радиационные потоки рассчитаны в предположении, что на верхнюю границу атмосферы падает единичный мононаправленный поток солнечного излучения.

Описанная база данных создана с помощью СУБД MySQL и представляет собой набор таблиц. Таблица со значениями эффективного балла облачности является ни чем иным, как табличным заданием функции пяти аргументов, т.е. пять столбцов таблицы отведены под «узловые» значения входных параметров, а шестой – под значения функции в этих точках. Остальные таблицы содержат значения рассчитанных ранее потоков нисходящего и восходящего солнечного излучения. Разделение по разным таблицам было произведено в соответствии с атмосферными условиями («ясно», «сплошная облачность», «разорванная облачность») и входными параметрами, при которых они рассчитаны. С помощью SQL-запросов база данных была заполнена существующими на сегодняшний день расчетными данными по эффективному баллу облачности и потокам солнечной радиации.

При работе в режиме «Эффективный балл облачности» пользователю предоставляется возможность задавать произвольные значения входных параметров, т.е. не совпадающие с «узловыми» значениями. Значения эффективного количества облаков при промежуточных значениях  $N$ ,  $\gamma$ ,  $\xi$ ,  $\tau$ ,  $A_s$  рассчитываются с помощью последовательной линейной интерполяции  $N_e^{vis}$  в «узловых» точках. Интерполяция осуществляется с помощью функции, написанной на языке PHP. Для получения «узловых» значений эффективного балла облачности, между которыми попадают введенные значения параметров, используются SQL-запросы к БД. Так как количество SQL-запросов может быть достаточно большим, то в реализацию системы была добавлена небольшая оптимизация.

Суть оптимизации заключается в следующем. Часто возникает ситуация, когда заданный пользователем шаг по какому-либо из пяти параметров, определяющих  $N_e^{vis}$ , много меньше шага между расчетными «узлами». Это означает, что два или более значений этого параметра попадают в один и тот же интервал решетки и, следовательно, интерполяцию необходимо производить без соответствующих запросов к БД, используя значения, полученные на предыдущем шаге.

Визуализация данных, содержащихся в базе данных и получаемых в расчетах, реализована в виде HTML-документов. Интерактивность системы обеспечивается скриптами для динамического формирования страниц с использованием CGI-технологий – на языках PHP и JavaScript. Работа с базой данных осуществляется с помощью диалоговых форм, представляющих собой таблицы с размещенными в них управляющими элементами: полями для ввода текста или списками фиксированных значений, подписями, поясняющими назначение каждого из полей, и кнопками для дальнейшей работы и сброса установок.

Помимо значений эффективного балла облачности и потоков видимого излучения на сайте содержится краткое описание предлагаемого подхода, статистическая модель атмосферы, в рамках которой выполнены расчеты, а также подробные инструкции для пользователя. Имеющиеся на сайте данные представляют интерес для специалистов по геофизике, физике атмосферы и математическому моделированию мезомасштабных атмосферных процессов.

Авторы выражают искреннюю благодарность Л.Н. Шохору, который был автором версии настоящей базы данных, разработанной ранее для локального использования в ОС MS Window 95.

Результаты, которые легли в основу настоящей базы данных, получены при частичной поддержке РФФИ (грант № 00-05-65456 и 99-07-90104).

1. *Титов Г.А., Журавлева Т.Б.* Параметризация потоков солнечной радиации в разорванной облачности // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 7. С. 707–721.
2. *Zhuravleva T.B.* Shortwave radiative fluxes in one-layer (water-droplet) broken clouds // Proc. SPIE. V. 3583. P. 138–146.
3. *Gordov E.P., Babikov Yu.L., Belan B.D., Golovko V.F., Panchenko M.V., Rodimova O.B., and Fazliev A.Z.* Information-Computational System: Integrated model of atmospheric optics // Proc. SPIE. 1999. V. 3983. P. 553–561.
4. *Anderson G., Clough S., Kneizys F., Chetwynd J., and Shettle E.* AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0–120 km) // Air Force Geophysics Laboratory, AFGL-TR-86-0110, Environment Research Paper № 954.
5. *Зуев В.Е., Комаров В.С.* Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 264 с.
6. *Комаров В.С.* Статистика в приложении к задачам прикладной метеорологии. Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. С. 256.
7. <ftp://noao.edu/fts/visatl/>

*T.V. Zhuravleva and E.M. Anisimova. The Internet-accessible database «Numerical radiation model of one-layer broken clouds».*

The particularity of theoretic researches of atmospheric processes is that they imply manipulation with dissimilar data arrays (spectra of atmospheric gases, statistics models of altitude changes of atmospheric parameters, spectra of radiation in the upper atmosphere and so on). The organization of access to such data by Internet-technology is held at the Institute of Atmospheric Optics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. The data of statistic models of the atmosphere, spectra of solar radiation, get from Kitt Peak observatory and data for effective cloud fraction and solar radiate flux calculation are accumulated in the site «Models of atmosphere» (<http://model.iao.ru>). The latter data make the basis of Internet – accessible version of the «Numerical radiation model of one-layer broken clouds (the visible and short-wave spectral ranges)». It allows one to estimate the first approximation mistakes which can appear when calculating the solar radiation flux without taking into account the horizontal heterogeneous characteristic of real cloud areas.