

50-я научная конференция МФТИ
Факультет проблем физики и энергетики
Секция космической физики

УДК 533.7

Бурлаков А.В.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

**Математическое моделирование микрофизических
процессов в конденсационных облаках**

Постановка задачи. Есть некий объём атмосферы. В нём присутствуют водяной пар и аэрозоли двух типов: ледяные частички и пылинки. Предлагается посмотреть, что будет происходить с этой системой.

В первой модели рассматриваются следующие процессы: гетерогенная нуклеация и конденсация.

У нас есть аэрозоли двух типов: ледяные частички с функцией распределения $f(r)$ и пылинки с концентрацией n_d . С какой-то вероятностью J на частичке пыли может образоваться корочка льда (гетерогенная нуклеация). И далее пылинка способна участвовать в процессе конденсации.

При моделировании этой задачи решалось следующее пространственно-однородное уравнение:

$$\frac{\partial f(r)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{dr}{dt} f \right) + J\delta(r - r_d)n_d.$$

Соответственно $\partial n_d / \partial t = -Jn_d$, то есть если пылинка участвовала в процессе гетерогенной нуклеации, то мы её припишем к льдинкам.

Во второй модели рассматриваются следующие процессы: гетерогенная нуклеация, конденсация, седиментация и турбулентная диффузия.

Но теперь у нас не один пространственный слой, а их много. То есть $n_d = n_d(z)$, $f = f(r, z)$.

И теперь пылинки участвуют не только в процессе нуклеации, но и в седиментации, и в турбулентной диффузии. Также льдинки участвуют не только в конденсации, но и в седиментации и в турбулентной диффузии. И у водяного пара теперь помимо источника (изменение объёма конденсированной фазы) есть способность участвовать в процессе турбулентной диффузии.

Для описания процессов в данной модели использовались следующие уравнения.

Для ледяных частиц:

$$\frac{\partial f(r)}{\partial t} = J\delta(r - r_d)n_d - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{dr}{dt} f \right) - \frac{\partial}{\partial z} (V_s f) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K\rho \frac{\partial f}{\partial z} \frac{1}{\rho} \right),$$

где V_S — скорость седиментации, K — коэффициент турбулентной диффузии, ρ — плотность.

Для пылинок:

$$\frac{\partial n_d}{\partial t} = -Jn_d - \frac{\partial}{\partial z} (V_S^d n_d) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \rho \frac{\partial n}{\partial z} \right) + S_S,$$

где S_S — источник водяного пара.

Для водяного пара:

$$\frac{\partial w(r)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \rho \frac{\partial w}{\partial z} \right) + S,$$

где w — объём конденсированной фазы.

Функция

$$S_S = \frac{\partial}{\partial n} (f(r = r_d)).$$

В данных моделях было выполнено математическое моделирование микрофизических процессов в конденсационных облаках на основе сеточного представления функции распределения по размерам. Были проведены исследования для атмосфер Земли и Марса; показано, что на Марсе исследованные процессы имеют более взрывной характер. Следовательно, применение традиционных подходов должно происходить с особой осторожностью.

Для нахождения температурного профиля атмосферы сформулирована следующая задача.

Температурный профиль атмосферы определяется решением уравнения теплового баланса:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{C_p} \text{div} F + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \left(\frac{\partial T}{\partial z} - \Gamma \right) \right),$$

F — это сумма видимого и инфракрасного потоков излучения, K — коэффициент диффузии, $\Gamma = -g/C_p$.

Предполагается, что данный подход является оптимальным для определения температурного профиля атмосферы и последующего применения его при моделировании микрофизических процессов в конденсационных облаках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pruppacher H.R., Klett J.D.* Microphysics of Clouds and Precipitation. — 2000.
2. *Тимофеев Ю.М., Васильев А.В.* Теоретические основы атмосферной оптики. — 2003.
3. *Colaprete A., Toon O.B.* Cloud Formation under Mars Pathfinder Conditions. — 1999.
4. *Родин А.В., Кораблев О.И., Мороз В.И.* Новые исследования Марса и сравнительная планетология. — 2004.

Представленная выше версия доклада является ознакомительной.

Версию доклада, предназначенную для печати,
можно найти в факультетском сборнике трудов конференции.
Электронные материалы конференции публикуются по адресу
http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen_sections/