

# 1 Сложности моделирования динамики облачно-го АПС

В областях распространения кучево-слоистой облачности над океаном скачок температуры, влажности и других скаляров на верхней границе АПС может достигать больших значений. При этом, этот слой “скачка” имеет малую мощность в вертикальном направлении и не может быть разрешен явно на конечно-разностной сетке, используемой в климатических моделях. Более того, использование конечно-разностной аппроксимации вертикальной адвекции приводит к размыванию слоя “скачка”. Очевидно, что тонкий баланс между турбулентным вовлечением, вертикальной адвекцией, микрофизическими и радиационными процессами не может быть адекватно воспроизведен в крупномасштабных моделях при использовании традиционных подходов.

В нескольких работах был предложен и реализован подход, позволяющий преодолеть указанные недостатки. В его основе лежит восстановление подсеточной структуры АПС вблизи его верхней границы, предполагающее бесконечно малую толщину слоя “скачка”. Далее, на основе восстановленной структуры АПС рассчитываются физически обоснованные тенденции скаляров, обусловленные вовлечением и вертикальной адвекцией.

## 2 Вертикальные профили скаляров вблизи верхней границы АПС

Восстановление подсеточной структуры вертикальных профилей потенциальной температуры, влажности и других скаляров осуществляется следующим образом.

**Шаг 1.** Самый верхний модельный уровень  $k$ , полностью находящийся внутри АПС, диагностируется исходя из условия:

$$\theta_{l,k} < \theta_{l,1} + 0.4 < \theta_{l,k+1} , \quad (1)$$

где  $\theta_l = \theta - L/c_p q_l$  - аналог эквивалентной потенциальной температуры;  $q_l$  - удельная водность облаков;  $\theta_{l,1}$  - эквивалентная потенциальная температура на нижнем модельном уровне, ближайшем к подстилающей поверхности.

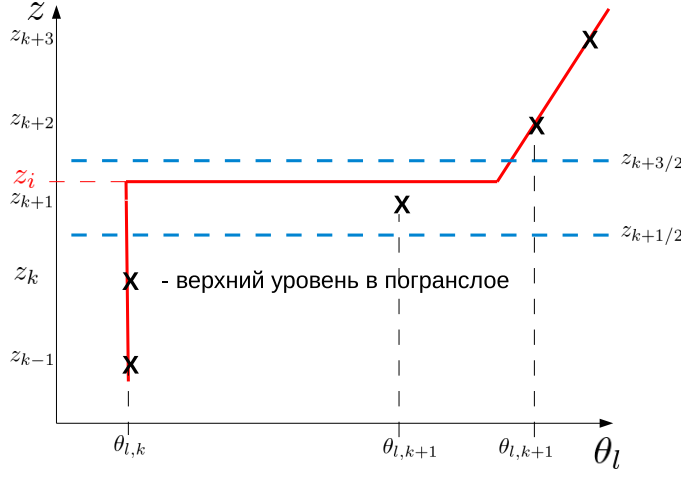


Рис. 1: Схема

**Шаг 2.** Мы предполагаем, что высота АПС находится в пределах уровня  $k +$ , т.е.  $k_{+1} < < k_{+}$ , но пока не знаем ее конкретного значения. Таким образом, мы предполагаем, что часть уровня  $k +$  в пределах  $k_{+1} < <$  занята воздухом, относящимся к АПС, а верхняя часть в пределах  $< < k_{+}$  занята воздухом, относящимся к свободной атмосфере. Для того, чтобы определить точно высоту, мы предполагаем следующую подсеточную структуру вертикального профиля скаляра (на примере потенциальной температуры): от  $k$  до высоты температура воздуха меняется по градиенту в АПС  $l = \theta_k - \theta_{k-1} / k - k_{-1}$ , а от высоты до  $k_{+}$  температура меняется по градиенту в свободной атмосфере  $= \theta_{k+} - \theta_{k+} / k_{+} - k_{+}$ . Кроме того, необходимо потребовать, чтобы среднее значение скаляра по восстановленному профилю в слое  $k +$  было равно значению скаляра на уровне  $k +$  на модельной сетке, т.е.:

$$\int_{k+1/2}^{k+3/2} \theta = \theta_k k_{+} - k_{+1} \quad (2)$$

Учитывая восстановленную структуру вертикального профиля  $\theta$ , интеграл в левой части (2) представим в виде суммы двух интегралов:

$$\int_{k+1/2}^i \theta_k + l - k + \int_i^{k+3/2} \theta_{k+} - k_{+} - k_{+} = \theta_k k_{+} - k_{+1} \quad (3)$$

После взятия интегралов и приведения подобных получаем квадратное уравнение относительно  $= k_{+} -$ :

$$+ \quad + c = 0 \tag{4}$$

со следующими коэффициентами

$$= 0. \quad - \quad l , \tag{5}$$

$$= -\theta_{k+} - \quad k+ - k+ \quad + \theta_k + \quad l \quad k+ \quad - \quad k , \tag{6}$$

$$= \quad k+ \quad - \quad k+1 \quad \theta_{k+1} - \theta_k - \quad l \quad k+1 - \quad k \tag{7}$$