Комментарий В.А. Фролькиса к докладу Е.М. Володина
«Представление радиационных потоков в модели климата ИВМ РАН»

Одним из основных, факторов формирующих климат Земли и его изменения, является распределение в климатической системе радиационной энергии и изменчивость этого распределения. Однако построение радиационного кода климатической модели – достаточно сложная физико-математическая задача. С одной стороны, расчет радиации должен быть по возможности наиболее полным, т.е. в радиационном блоке модели должны учитываться основные климатообразующие факторы: радиационно-активные основные и малые газовые составляющие атмосферы, облака, аэрозоли, радиационные свойства подстилающей поверхности и т.д. С другой стороны, доля времени, затрачиваемая на вычисление радиационных потоков и притоков тепла, должна быть минимальна.

Детальный учет радиационно-активных компонент газового состава атмосферы приводит к необходимости использовать достаточно «точные» схемы радиационного кода, реализация которых требует больших затрат машинного времени. Для учета различных газовых компонент длинноволновый и коротковолновый спектры атмосферной радиации разбиваются на широкие интервалы, в которых рассчитываются функции пропускания.

В рассматриваемой модели ИВМ РАН инфракрасный спектр разбивается на 10 полос, в которых учитываются H_2O, CO_2, CH_4, N_2O и континуум H_2O. Такой подход, помимо явного преимущества, связанного с увеличением быстродействия, содержит в себе ряд недостатков.

Для модели общей циркуляции атмосферы такое разбиение спектра является вполне удовлетворительным, но для модели климата использование 10 полос явно недостаточно, так как оно не позволяет учесть малые газовые составляющие атмосферы, которые своим происхождением обязаны антропогенному загрязнению атмосферы. Таким образом, представленный радиационный блок *явно ограничивает возможность учета влияния антропогенного загрязнения на изменение климата Земли*.

Еще один недостаток малого числа полос связан с нарушением закона умножения функций пропускания. При пересечении линий поглощения нескольких атмосферных газовых составляющих, их монохроматические функции пропускания (по закону Бугера) перемножаются. При использовании широкополосных функций пропускания закон перемножения нарушается, т.е. выполняется с некоторой погрешностью, увеличивающейся по мере увеличения ширины спектральной полосы. Это приводит к появлению ошибки при расчете радиационных потоков в газовой атмосфере. Такая ошибка может быть скомпенсирована введением дополнительных поправок, но в докладе об этом ничего не было сказано. К тому же такие поправки увеличивают расчетное время радиационного блока.

Для сокращения времени работы численного алгоритма в современных моделях часто используется *k*-метод, основанный на экспоненциальной

аппроксимации полилинейных расчетов (line-by-line) для функций пропускания в инфракрасной и ближней инфракрасной областях спектра. В рассматриваемой модели для этой цели используются расчеты (Chou et al., 1991; Chou, Kouvaris, 1993; Chou et al., 1993). Помимо преимущества «быстродействия», *k*-метод позволяет учесть селективность поглощения при учете рассеяния. Он эффективен при широких спектральных интервалах. Заметим, однако, что использование *k*-метода не устраняет проблему перекрывания полос поглощения, и в *k*-методе не учитывается неоднородность оптического пути, т.е. зависимость функции пропускания от температуры и давления. В модели ИВМ РАН такая зависимость учтена только для озона.

Использование двухпотокового приближения в тепловом и солнечном диапазонах является общепринятым в моделях общей циркуляции и климата. Учет в граничном условии (см. 108) отражательной способности поверхности в тепловом диапазоне можно считать излишним, так как $\delta_{\Delta\nu}$ малО, а суммирование оптического пути для падающего и отраженного потоков в широких спектральных полос работает не очень корректно. Вероятно, для расчета поглощающей массы в ИК диапазоне при использовании двухпотокового приближения должен был использоваться коэффициент диффузии, но об этом ничего не говорится, и не приведено его значение.

Разбиение коротковолнового спектра на 10 полос представляется вполне разумным и позволяет достаточно корректно учитывать O_3, O_2, CO_2, H_2O, облака и аэрозоли. Расчет потоков КВ радиации методом дельта-Эддингтона (это один из вариантов двухпотокового приближения в КВ области) также является одним из общепринятых методов расчета в моделях общей циркуляции и климата, хотя он и может давать погрешность при вычислении притоков тепла.

В модели используется трехярусная облачность с максимальным перекрытием внутри ярусов и со случайным перекрытием между ярусами. Это также достаточно распространенная схема учета облаков.

Показано, что усредненный за год и по всему Земному шару радиационный баланс на верхней границе атмосферы близок к нулю. Здесь важно отметить, что проинтегрированный баланс должен быть равен нулю, так как в противном случае появляется «паразитная сила», воздействующая на температурный режим климатической системы.

В целом, подходы, лежащие в основе радиационного кода климатической модели ИВМ РАН, являются общепринятыми, достаточно надежными, использующимися во многих моделях климата. Все это дает основания полагать, что результаты, которые могут быть получены при помощи такой модели в численных экспериментах, учитывающих изменение радиационно-активных факторов климатической системы, будут представлять несомненный интерес.