

О некоторых особенностях численного моделирования динамики климата с высоким разрешением

В. Крупчатников¹, Г. Платов², Ю. Мартынова¹, И. Боровко²

(1 – СибНИГМИ, Росгидромет; 2 – ИВМиМГ, СО РАН; г. Новосибирск)

Данное сообщение представляет обзор некоторых особенностей моделирования динамики климата при переходе от обычных моделей общей циркуляции к облако-разрешающим (атмосфера) и субмезомасштабным (океан) моделям. Несмотря на имеющиеся расхождения между результатами современных климатических моделей, все они основаны на физических принципах, осуществляя либо прямое моделирование процессов, либо параметризуя их. Результаты численных экспериментов проверяются большим международным коллективом исследователей (например, в рамках программ IPCC), что снижает неопределенность. Как правило, модели выполняют воспроизведение текущего и прошлого климата, результаты которого согласуются с наблюдениями. Климатические модели также дают достаточно точную оценку изменения климата XX века, в том числе и потепление, обусловленное частично ростом концентрации CO₂ в атмосфере. Это дает уверенность в использовании этих моделей для прогнозирования будущего изменения климата.

Следует, однако, отметить, что пространственные масштабы физических процессов, важных для климата, охватывают почти 10 декад – от глобального (10⁷ м) до вязкого (10⁻² м). Уравнения физики климатической системы способны воспроизводить многомасштабные (и многофазные) явления. Но даже самые современные климатические модели разрешают менее 4 декад. Численное представление физических процессов приводит к существенному количеству неопределенностей. Параметризации, которые до сих пор использовались для представления процессов, были разработаны в рамках грубой сетки модели. В настоящее время с увеличением вычислительных мощностей появилась возможность моделирования погоды и климата со значительно более высоким разрешением, но гипотезы, используемые в классических методах, нарушаются. Ключевой проблемой при этом является большое разделение между горизонтальными масштабами, которые содержат основную часть кинетической энергии и доминируют в горизонтальном переносе тепла, импульса и влаги, и гораздо меньшими конвективными вихрями, которые обеспечивают большую часть вертикального переноса, особенно в тропиках.

Перенос и перемешивание в атмосферных потоках связаны со сложным взаимодействием между возникающими нелинейными волновыми движениями и вихрями. Ключевой проблемой параметризации является воспроизведение внутренних гравитационных волн (связанных с плавучестью и распространяющихся внутри океанов и атмосферы) и многомасштабных конвективных систем, которые возбуждают эти волны. Неточности в описании облачных процессов, действующих на определенных масштабах, за счет каскада влияют на процессы других масштабов. Огромное количество частиц и капель в облаках создает другие проблемы моделирования. Кроме того, существуют многочисленные типы облачков и осадочных частиц, переносимых облаками. Это означает, что в настоящее время невозможно полностью моделировать их постоянно меняющуюся структуру. В моделях с низким разрешением параметризуются коллективные эффекты облачных ансамблей: путем усреднения характеристик облаков в ячейках сетки пытаются наиболее реалистичными способами приближенно моделировать текущие и будущие условия. Параметризации для моделей с высоким разрешением предполагают описание процессов, происходящих внутри отдельных облаков. В докладе обсуждаются также аналогичные проблемы моделирования динамики океана.