

УДК 551.509.313

Анализ и внедрение схемы типа предиктор-корректор в модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ

Г.С. Гойман

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Институт вычислительной математики РАН

Одной из трудностей численного интегрирования уравнений динамики атмосферы является необходимость одновременного воспроизведения физических процессов с существенно различными характерными скоростями. Пример таких процессов в атмосфере – распространение «быстрых» инерционно-гравитационных волн и относительно «медленные» процессы адвекции прогностических величин и распространение волн Россби. Проблема численного интегрирования таких систем состоит в том, что накладываются сильные ограничения на шаг интегрирования по времени при использовании обычных численных методов.

В связи с этим, Робером в 1981 году [4] был предложен полунявный полулагранжев метод для интегрирования уравнений динамики атмосферы. Суть данного метода заключается в том, что линейная часть уравнений, описывающая «быстрые» инерционно-гравитационные волны, интегрируется неявно, в то время как часть уравнений, отвечающая «медленным» физическим процессам, интегрируется явно.

К недостаткам данного метода можно отнести тот факт, что использование относительно больших шагов по времени может приводить к возникновению локальных мелкомасштабных осцилляций, связанных с неустойчивостью явной аппроксимации нелинейных слагаемых уравнений динамики. Один из вариантов решения данной проблемы – использование схемы SETTLS предложенной Хорталом в 2002 году [3]. Данный подход, реализованный в глобальной полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ [1], до недавнего времени успешно боролся с данным недостатком. Однако, тестирование модели ПЛАВ высокого разрешения (1600x865x51) показало, что использование больших шагов по времени приводит к возникновению ложных локальных осцилляций и даже к развитию неустойчивости при некоторых условиях.

Цель данной работы - разработка подхода к аппроксимации нелинейных слагаемых, который позволял бы использовать относительно большие шаги интегрирования по времени. Один из возможных подходов – использование метода предиктор-корректор.

В данной работе рассматривается однопараметрическое семейство двухшаговых схем предиктор-корректор. На основе линейного анализа устойчивости данных схем была выделена оптимальная с точки зрения максимизации площади области абсолютной устойчивости. Полученная схема была внедрена в модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ, а так же был

проведен численный анализ на основе двух тестов: «бароклинная волна» [2] и численный прогноз погоды на 72 часа. Численный анализ показал, что применение новой схемы позволяет заметно увеличить предел устойчивости схемы, что, в свою очередь, позволяет получать более качественный прогноз при больших шагах по времени.

На рис.1 приведено поле геопотенциала для обеих схемы на уровне 850 мбар для прогноза на 72 часа по начальным данным 2 января 2014 года. На рис. 1 видно присутствие ложных осцилляций при использовании схемы SETTLS. В результате применения новой схемы, данные осцилляции пропадают, что приводит к уменьшению градиентной ошибки прогноза.

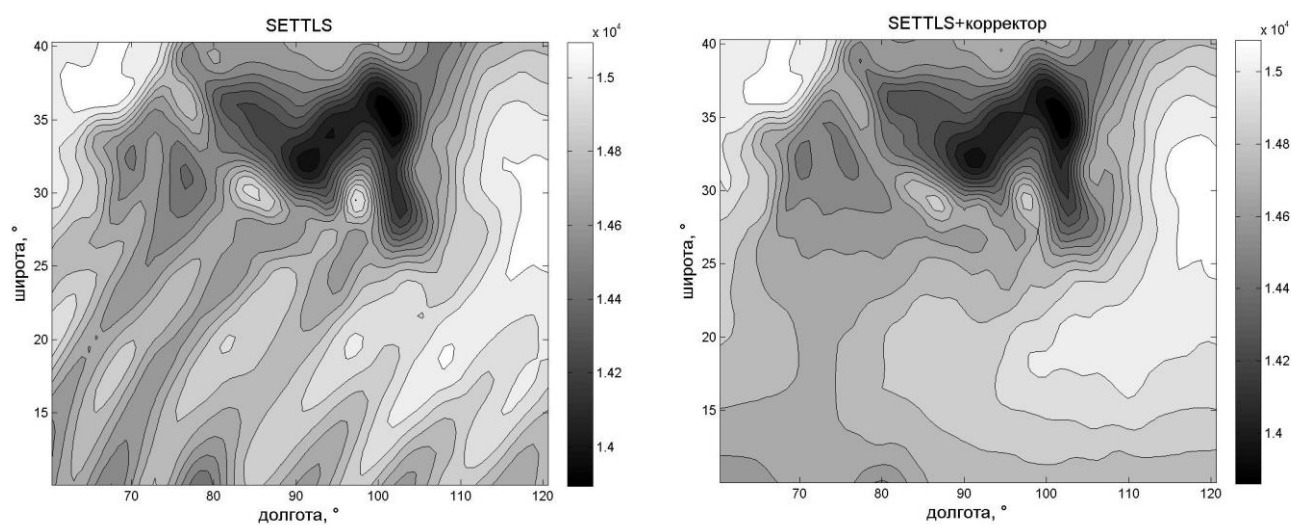


Рис. 1. Поле геопотенциала на уровне 850 мбар, $\text{м}^2/\text{с}^2$. Схема SETTLS и SETTLS с шагом корректора. $T=72$ ч от начальных данных 12 ч ВСВ 02.01.2014.

Литература

1. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды // Обнинск: ОАО ФОП, 2010
2. C. Jablonowski, P. Lauritzen, R. Nair and M. Taylor Idealized test cases for the dynamical cores of Atmospheric General Circulation Models: A proposal for the NCAR ASP 2008 summer colloquium, 2008
3. Hortal M. The developing and testing of a new two-time-level semi-Lagrangian scheme (SETTLS) in the ECMWF forecast model // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 2002. V. 128. P. 1671-1688
4. Robert A. A stable numerical integration scheme for the primitive meteorological equations // Atmos.-Ocean, 1981, 19, 35-46
5. Staniforth, A., and J. Côté Semi-Lagrangian integration schemes for atmospheric models - A review // Mon. Wea. Rev., 119, 2206-2223, 1991.