

Ансамблевый гидродинамический прогноз погоды и высокопроизводительные вычисления



9 Ансамблевый гидродинамический прогноз погоды и высокопроизводительные вычисления

Наиболее перспективными и современными методами численного прогноза погоды являются ансамблевые методы. Они позволяют не только более точно прогнозировать эволюцию состояния атмосферы, но и дать потребителю принципиально новую информацию — априорную оценку качества прогноза. Ансамблевые системы прогноза могут быть реализованы только на мощной суперкомпьютерной технике. В настоящее время они активно развиваются в различных странах мира, включая Россию.

АВТОРЫ:

Е. Д. Астахова — в.н.с., канд. физ.-мат. наук, с.н.с., ГУ «Гидрометцентр России»,
e-mail: helen@mecom.ru

Ю. В. Алферов — ст. научн. сотрудник, канд. физ.-мат. наук, ГУ «Гидрометцентр России»,
e-mail: alferov@mecom.ru

Трудно найти человека, который бы не интересовался прогнозами погоды. И, конечно, не вызывает сомнений важность таких прогнозов для экономики страны. Добиться улучшения их качества помогают суперкомпьютеры.

Прогнозы погоды основаны на интерпретации результатов численного моделирования эволюции состояния атмосферы. Оно описывается сложными и не имеющими аналитического решения уравнениями гидротермодинамики сплошной среды, в которых приближенным (параметрическим) образом учтены процессы малого, так называемого подсеточного масштаба (радиационно-облачное взаимодействие, конвекция воздуха и т.д.). Совокупность таких уравнений и численных методов, используемых для их решения, называют моделью атмосферы, а интегрирование уравнений по времени — интегрированием модели атмосферы или численным прогнозом погоды.

Точность численного прогноза погоды зависит от пространственно-временного разрешения модели атмосферы, а также от точности и полноты параметризаций процессов подсеточного масштаба. В то же время возможности повышения разрешения модели и уточнения параметризаций на практике всегда ограничены мощностью имеющихся компьютерных ресурсов. Для прогноза нужны данные наблюдений за состоянием атмосферы, которые осуществляются по всему миру в единые фиксированные сроки и передаются в метеорологические центры. Вычисления по модели атмосферы, основанные на этих данных, должны быть завершены в течение строго ограниченного интервала времени — например, в Гидрометцентре России на суточный прогноз отводится не более 20 минут. Ведь прогноз еще надо успеть передать по каналам связи и вовремя донести до потребителя! Именно поэтому программное обеспечение моделей атмосферы давно уже переориентировано на использование многопроцессорных и многоядерных систем. И именно поэтому ведущие метеорологические центры мира оснащены мощными суперкомпьютерами. Так, безусловный лидер в прогнозах погоды на сроки до 14 дней Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПГ) имеет в своем распоряжении два кластера по 8320 ядер каждый с пиковой производительностью по 156.42 Tflops, занимающих 25 и 26 место в списке Top500 самых мощных компьютеров мира. В первой сотне этого списка находятся и компьютерные системы американской и английской метеослужб. В конце 2008 года суперкомпьютерная система из двух компьютеров с пиковой производительностью 16 и 11 Tflops была установлена в Росгидромете (компьютеры не входят в Top500, однако занимают 8 и 12 место в списке Top50 самых мощных компьютеров СНГ). Это позволило увеличить разрешение используемых моделей атмосферы и увеличить точность численного прогноза погоды метеослужбой России. Более того, с установкой суперкомпьютера в Росгидромете появилась возможность внедрения

в оперативную практику Гидрометцентра России нового перспективного метода прогноза — ансамблевого. Остановимся на этом подробнее.

Существует два основных подхода к решению задачи численного прогноза погоды — детерминированный и ансамблевый. В первом случае проводится однократное интегрирование модели атмосферы с использованием данных о начальном состоянии атмосферы, полученных с помощью специальных процедур усвоения данных наблюдений и рассматриваемых как наилучшее приближение к истинному состоянию атмосферы. Во втором — выполняется многократное интегрирование одной или нескольких моделей атмосферы с использованием нескольких наборов «возмущенных» в пределах ошибки наблюдений данных о начальном состоянии атмосферы. Ансамблевый прогноз требует в десятки раз больших компьютерных ресурсов, однако именно этот подход считается в настоящее время наиболее перспективным и физически обоснованным. Объясняется это так.

Для того чтобы моделировать будущее состояние атмосферы, надо знать ее состояние в текущий (начальный) момент времени. Однако начальное состояние атмосферы невозможно описать точно, потому что число данных наблюдений мало (и всегда будет мало) по сравнению с числом степеней свободы атмосферы, наблюдения неоднородно распределены в пространстве и во времени и содержат инструментальную ошибку и т.д. Это имеет принципиальное значение, так как из-за хаотической и нелинейной природы атмосферы даже очень малые ошибки в определении начального состояния атмосферы могут привести к существенным ошибкам в описании ее эволюции. Добавим к этому неточность данных о состоянии земной поверхности и несовершенство самих моделей атмосферы. Все это приводит к тому, что результаты численных прогнозов всегда содержат (и всегда будут содержать) некоторую неопределенность (неточность). И сегодня Всемирная Метеорологическая Организация ставит перед прогностическими центрами задачу предоставить потребителю не только максимально точный прогноз, но и дать оценку его неопределенности (достоверности). Форма предоставления данных о неопределенности различна — альтернативные сценарии развития ситуации, вероятности различных явлений, указание областей, где прогноз оказывается наименее точным и т.д. Особенно существенна такая информация в случае экстремальных явлений погоды (ливни, сильные порывы ветра, резкие понижения температуры и т.п.). Применение ансамблевого подхода позволяет решить такую задачу.

Впервые ансамблевые системы прогноза погоды были внедрены в оперативную практику ЕЦСПП и метеорологической службы США в 1992 году. И с тех пор ансамблевые методы постоянно развиваются, а размеры ансамблей и разрешения моделей, оперативно используемых во многих странах мира, увеличиваются с улуч-

шением компьютеров. Максимальное число членов ансамбля — 51 при пространственном разрешении модели около 50 км — сейчас в системе ЕЦСПП.

В 2007—2008 году ансамблевая система среднесрочного прогноза погоды была реализована и в российской метеослужбе [2]. Система основана на использовании спектральной модели атмосферы Гидрометцентра России, распараллеленной на основе технологии MPI [1]; ансамбль включает 13 членов. Реализация системы на суперкомпьютере схематически представлена на рис. 1. В ближайшее время планируется увеличение размера ансамбля до 32 членов, улучшение разрешения спектральной модели и дополнительное использование конечно-разностной модели. Каждый экземпляр задачи «модель» будет считаться на 32 процессорных элементах, а всего для работы системы их потребуется 1024. При этом один из двух мощных компьютеров Росгидромета будет занят практически полностью.

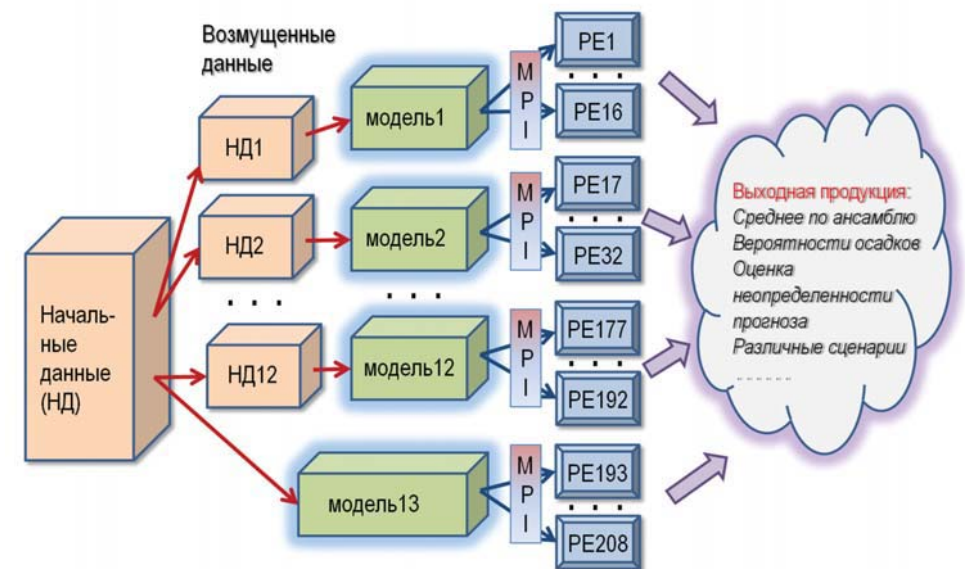


Рис. 1. Конфигурация ансамблевой системы прогноза на сроки до 14 суток, реализуемой в Гидрометцентре России в настоящее время — для расчетов необходимо 208 процессорных элементов (PE) одновременно

Ансамблевая система прогноза позволяет не только более точно предсказать состояние атмосферы, но и показать, где и когда прогноз заслуживает большего или меньшего доверия. Поэтому продукция ансамблевой системы значительно разнообразнее, чем продукция систем детерминированного прогноза. Примеры ее приведены на рис. 2, 3. Разброс ансамбля (среднеквадратическое отклонение всех членов ансамбля прогнозов от среднего) считается мерой неопределенности прогноза.

Таким образом, использование ансамблевого метода прогноза, ставшее возможным с появлением в Росгидромете суперкомпьютера, дает возможность получить новую важную информацию об ожидаемой погоде.

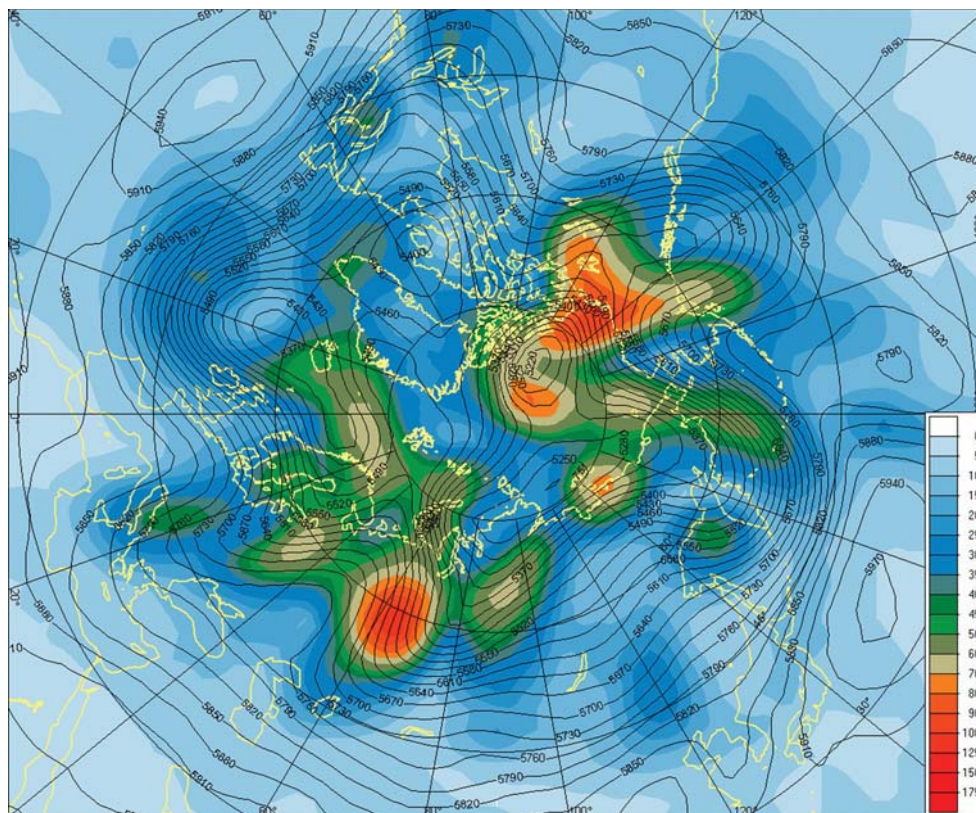
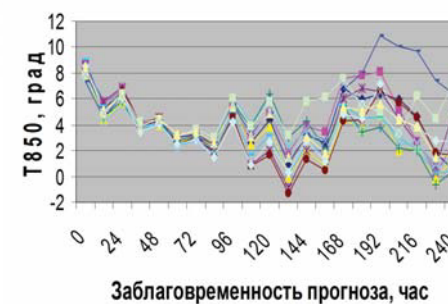


Рис. 2. Высота изобарической поверхности 500 гПа. Среднее по ансамблю (изолинии) и разброс ансамбля (цвет). Прогноз наименее достоверен в областях с максимальным разбросом

**Прогноз температуры на уровне
850 гПа в Москве**



**Прогноз давления на уровне
моря в Москве**

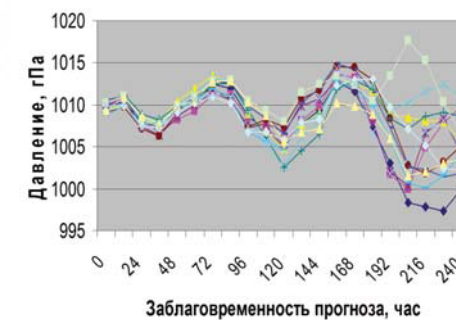


Рис. 3. Прогноз эволюции температуры и давления в Москве. Разными цветами приведены прогнозы с помощью отдельных членов ансамбля. Чем сильнее расходятся линии, тем хуже предсказывается значение метеорологической переменной

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахова Е.Д., Алферов Ю.В. Опыт использования параллельных алгоритмов в спектральной модели среднесрочного прогноза погоды Гидрометцентра России // Вычислительные методы и программирование. 2007. Т. 8. С. 138–146.
http://www.srcc.msu.ru/num-meth/zhurnal/tom_2007/v8r117.html.
2. Астахова Е.Д. Построение ансамблей начальных полей для системы кратко- и среднесрочного ансамблевого прогнозирования погоды // Труды Гидрометцентра России. 2008. Вып. 342. СПб.: Гидрометеиздат. С. 98-117.