

Численные методы прогнозирования погоды и климата

О численных методах прогнозах погоды и климата читателям бюллетеня рассказывает основной разработчик глобальной полулагранжевой модели общей циркуляции атмосферы (прим ред. краткое название – ПЛАВ) д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Института вычислительной математики Российской академии наук и заведующий Лабораторией перспективных численных методов в моделях атмосферы Гидрометцентра России – Михаил Андреевич Толстых.

1) Уважаемый Михаил Андреевич, большое спасибо, что согласились ответить на наши вопросы. Расскажите, пожалуйста, на каком уровне в настоящее время находятся прогностические системы Гидрометцентра России в мировом рейтинге?

По данным Ведущего центра ВМО по верификации детерминистических прогнозов ВМО, система глобального среднесрочного прогноза погоды на основе модели ПЛАВ по уровню ошибок находится примерно на восьмом месте. Система глобального среднесрочного прогноза на базе спектральной модели Т339L31 уступает всем системам в мире. Всего в мире эксплуатируется 15 глобальных прогностических моделей. 10 из них (Европейский центр, Германия, Китай, США, Япония, Франция, Великобритания, Канада, Россия (2 модели)) представлены моделями собственной разработки. Еще пять (Южная Африка, Австралия, Бразилия, Южная Корея, Индия) - используют различные модификации моделей других стран. Важно отметить, что точность прогноза определяется не только численной моделью, но и качеством системы подготовки начальных данных (системой усвоения данных наблюдений). Это отдельная и весьма сложная задача, в решении которой мы, к сожалению, сейчас уступаем.



Толстых М.А.

Системы регионального прогноза сравнивать между собой трудно, так как они выполняют прогнозы по различным территориям. Единой международной методики для сравнения таких моделей пока не существует. Но в целом можно утверждать, что система краткосрочного прогноза COSMO-RU с шагом сетки в 7 км вполне соответствует мировому уровню. Отмечу, что статистику ошибок прогнозов различных систем Гидрометцентра и некоторых зарубежных систем можно увидеть на регулярно обновляемой странице <http://method.meteorf.ru>, раздел «Оценки прогнозов»

2) Расскажите, пожалуйста, о применяемых в настоящее время при прогнозировании погоды численных моделях, и в нашем Гидрометцентре, в частности. В чем особенности глобальной полулагранжевой модели общей циркуляции атмосферы? Можно ли где-то ознакомиться с результатами расчетов модели ПЛАВ?

В настоящее время все гидродинамические модели численного прогноза погоды условно можно разделить на два основных класса: глобальные и региональные модели. Глобальные модели атмосферы применяются для прогноза с заблаговременностью от нескольких часов до, как правило, 10 суток. Такие модели также используются для вероятностного прогноза среднемесячных и среднесезонных характеристик, которые важны для планирования урожайности, предсказания сильных осадков, аномалий температуры и др. Глобальная модель позволяет получить прогноз на всей поверхности Земли. В то же время, для уточнения и большей детализации такого прогноза в отдельно взятой области (Московская область, например) применяются региональные модели. Необходимость использования связки глобальной и региональной моделей объясняется также тем, что прогноз, с одной стороны, должен быть точным, и, с другой, быстро рассчитываться на компьютере.

В Гидрометцентре России для глобальных среднесрочных и долгосрочных прогнозов применяется модель ПЛАВ, а для региональных краткосрочных прогнозов – модель консорциума COSMO (возглавляется Германией). Модель ПЛАВ также, наряду с глобальной моделью Главной геофизической обсерватории, является основой деятельности Северо-Евразийского климатического центра по выпуску долгосрочных вероятностных прогнозов на месяц и сезон для территории России и стран СНГ. Для минимизации влияния модельных ошибок выходная продукция модели, как и в других центрах долгосрочных прогнозов, подвергается статистической обработке.

Изначально главной задачей при разработке модели ПЛАВ было достижение максимальной точности среднесрочного прогноза погоды при минимальном времени счета. Мне кажется, что нам удалось выполнить поставленную задачу за счет использования численных методов с высоким порядком точности и применения полулагранжевого полунявного метода, который позволяет использовать большие шаги по времени. Оригинальной особенностью модели ПЛАВ является постановка решаемых уравнений: в качестве прогностических переменных мы используем нестандартные величины - вертикальный компонент абсолютной завихренности и дивергенцию.

Результаты численных прогнозов основных метеоэлементов по модели ПЛАВ на срок до 5 дней по различным регионам Евразии доступны на сайте Гидрометцентра России <http://meteoinfo.ru/plav-forc-rus>. Также

по адресу <http://www.meteoinfo.ru/forecasts-grib> можно скачать глобальные поля прогнозов на сетке с шагом 2,5 градуса в кодировке GRIB. Информация обновляется дважды в сутки. Также по запросам научных и образовательных организаций может предоставляться более полная прогностическая информация по модели ПЛАВ.

3) Что объединяет и какие основные отличия между моделями, применяемыми для долгосрочного прогнозирования и климатическими моделями?

Существенных отличий между моделями атмосферы, применяемыми для этих целей, нет. Для долгосрочного прогноза погоды исторически применялись модели атмосферы, использующие предписанную эволюцию температуры поверхности океана. В настоящее время происходит переход к совместным моделям атмосфера-океан-морской лед. В то же время для моделирования климата необходимо иметь описание химических и биохимических процессов в атмосфере, почве, океане и некоторые другие модели компонентов природной среды. Кроме того, к моделям, используемым в климатических исследованиях, предъявляются более строгие требования относительно баланса потоков в климатической системе, выполнения законов сохранения.

Численные модели Земной системы различной сложности являются основными инструментами исследования изменений климата, так как натурные или лабораторные эксперименты очевидно невозможны. В рамках Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) осуществляются скоординированные численные эксперименты с моделями Земной системы (CMIP). Участие нескольких десятков моделей, разработанных независимо в разных странах мира, позволяет уменьшить неопределенность, связанную с несовершенством моделей. Россия представлена в этих экспериментах моделью Земной системы Института вычислительной математики РАН INMCM. Следует отметить, что наряду с глобальными климатическими моделями, в мире широко применяются и региональные модели с более высокой детализацией, которые позволяют уточнить на уровне региона оценку изменений климата, полученную глобальной моделью. В России такую модель успешно развивает и применяет Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова.

4) Расскажите, пожалуйста, об итогах международного проекта THorPEX, в реализации которого Вы участвовали. В чем суть проекта, чем он закончился, какую пользу принес, получил ли какое-нибудь развитие?

Проект THorPEX был нацелен на повышение точности численных прогнозов опасных погодных явлений с заблаговременностью от дня до двух недель. Этот 10-летний проект был организован Всемирной программой метеорологических исследований (ВПМИ) ВМО и принес огромную пользу в понимании процессов в атмосфере и оценке их влияния на качество прогноза. Например, был получен ответ на вопрос, можно ли повысить полезную заблаговременность прогнозов погоды на Дальнем Востоке России и Тихоокеанском побережье США с помощью дополнительных данных наблюдений в западной части Тихого океана в точках со специально выбранными координатами (targeted observations). Интересно, что ответ оказался смешанным и не совсем тем, на который рассчитывали в начале проекта. А именно, использование дополнительных наблюдений во внетропической части Земли ведет лишь к весьма ограниченному уменьшению ошибок прогноза над Северной Америкой, дополнительные же наблюдения в тропиках обычно улучшают прогноз траекторий тропических циклонов, однако в среднем эффект не слишком велик (S Majumdar, BAMS 2016).

В рамках подпроекта по мультимодельному ансамблевому прогнозированию TIGGE была создана база данных ансамблевых прогнозов различных прогностических центров, доступная участникам проекта в оперативном режиме. Это позволило заметно повысить надежность прогнозов стран-участниц.

Большой заслугой проекта стало развитие многоуровневой международной кооперации. Рабочие группы проекта по данным наблюдений и их усвоению, по предсказуемости по итогам проекта продолжили свою деятельность на постоянной основе. Механизмы международного сотрудничества, реализованные в рамках проекта THORPEX, теперь использованы в трех проектах-«наследниках» - проект по прогнозированию в полярных регионах (PPP), проект по долгосрочным прогнозам с заблаговременностью от двух недель до сезона (S2S), проект по прогнозированию опасных погодных явлений (HIW, High impact weather). Россия также участвует в проектах PPP и S2S.

5) Бесшовный прогноз ('seamless prediction') - от наукастинга до сотен лет (и более) - сейчас у всех на слуху. В чем суть, какие перспективы этого метода, где в этом контексте Гидрометцентр, и как Вы относитесь к этой концепции?

Идея бесшовного прогноза (Shukla 2006, Hoskins 2013) заключается в том, что модель атмосферы, ориентированная на воспроизведения каких-либо временных масштабов, должна адекватно воспроизводить процессы всех временных масштабов. Другими словами, не может быть отдельно модели атмосферы для краткосрочного прогноза погоды и моделирования изменений климата: модель атмосферы должна правильно описывать динамику как отдельно взятого циклона, так и квазидвухлетнюю осцилляцию (QBO) с периодом 26

месяцев. Вместе с тем, система прогноза в целом может усложняться, становиться мультимодельной для более полного учета физических, химических, биологических и других процессов. Так, например, для моделирования изменений климата на десятки лет важно правильно описывать динамику аэрозолей и атмосферных малых газовых составляющих, химические реакции в атмосфере, углеродный и метановый циклы Земли, биохимические процессы в океане.

Системы прогноза погоды также движутся в сторону усложнения и мультимодельности: уже сейчас ряд прогностических центров разрабатывает (либо исследует возможность применения) совместные модели атмосферы и океана для прогноза с заблаговременностью от нескольких дней. Важность этих исследований, в частности, подтверждается результатами упомянутого ранее международного проекта THorPEX.

В Гидрометцентре России наша группа вместе с коллегами из ИВМ РАН и ИО РАН принимает участие в проекте, одним из основных направлений которого является создание совместной модели атмосферы и океана для задачи численного прогноза погоды (прежде всего, долгосрочного), финансирование данных работ до 2014 года осуществлялось Росгидрометом, а после при поддержке Российского научного фонда (РНФ). Особенность реализации разрабатываемой модели - возможность ее использования с различной пространственной детализацией в зависимости от типа и заблаговременности прогноза. Таким образом, мы считаем правильной идею создания бесшовной модели атмосферы, пригодной как для среднесрочного прогноза погоды, так и для задачи моделирования изменений климата. Однако нужно проявлять известную осторожность при применении этой концепции, так как критерии качества моделей прогноза погоды и моделей климата существенно различны. Поэтому, когда говорят о бесшовном прогнозе, верхний предел временного масштаба часто ограничивают даже не годами, а месяцами (например, Seamless prediction of the Earth system: from minutes to months, WMO TD-1156, 2014).

6) Расскажите, пожалуйста, в чем состоят основные современные научные и технологические вызовы, стоящие перед специалистами в мире, занимающимися прогнозированием погоды?

По мнению мирового сообщества специалистов численного прогноза погоды (см, например, Bauer et al, Nature, 2015), уменьшение ошибок прогноза (а, следовательно, и повышение его полезной заблаговременности) предполагает решение нескольких задач.

1. Неотъемлемым компонентом любой модели атмосферы системы прогноза погоды является блок, основной задачей которой является описание важных физических процессов, не воспроизводимых моделью явно (т.н. блок параметризаций). Важной задачей является адекватная подстройка и совершенствование этого блока вместе с повышением пространственной детализации модели атмосферы - одного из основных путей повышения качества прогноза.
2. Описание неопределенностей (ошибок) в начальных данных и модельных прогнозах с помощью ансамблевого подхода. Этот подход состоит в расчете набора специальным образом возмущенных начальных данных для прогнозов и последующим расчетом прогнозов по этим данным, а также стохастическим описанием некоторых неадиабатических процессов в моделях прогноза.
3. Обеспечение физически согласованных начальных условий для моделей прогноза путем оптимального использования всех видов наблюдений за атмосферой, океаном и морским льдом (по сути, развитие согласованной системы усвоения данных наблюдений во всех средах).

Поскольку идет непрерывное совершенствование моделей прогноза, с одной стороны, и развитие архитектур суперкомпьютеров, с другой стороны, важной технологической задачей является оптимальное использование программными реализациями (кодами) моделей прогноза будущих вычислительных систем с экзафлопсной производительностью. В нашем коллективе работает много молодых сотрудников, которые постепенно модернизируют код модели используя стандарты современного языка программирования Фортран (модульность, объектная ориентированность и пр.) Одним из интересных для нас направлений исследования является запуск модели на ускорителях. Определенных успехов в этом мы уже достигли.

7) На протяжении уже нескольких лет Вы успешно работаете в ИВМ РАН и руководите Лабораторией перспективных численных методов в моделях атмосферы Гидрометцентра России, Росгидромета. Как бы Вы оценили уровень взаимодействия в Вашей области между специалистами Росгидромета и РАН? Какими Вы видите возможные перспективы его развития?

Мне кажется, что уровень взаимодействия между РАН и Росгидрометом достаточно высок. В частности, в свое время было подписано соглашение о научном сотрудничестве. Со своей стороны, утверждаю, что модель ПЛАВ никогда бы не стала моделью прогноза погоды, если бы не постоянное, на протяжении уже почти 20 лет, взаимодействие специалистов ИВМ РАН и Гидрометцентра России. Было и есть взаимодействие и других институтов Росгидромета и институтов РАН. В свое время был неплохой опыт целевых конкурсов РФФИ в интересах Росгидромета. Важные для общества направления работ Росгидромета вошли в список приоритетных направлений исследований на конкурсе РНФ 2015 года. Полагаю, что такой опыт следовало бы продолжить. Также научно-исследовательским институтам Росгидромета следовало бы шире пользоваться

возможностями научной стажировки своих молодых специалистов в институтах РАН при поддержке РФФИ, Минобрнауки.

8) И в заключение, если не секрет, расскажите, пожалуйста, над чем в настоящее время Вы работаете и для решения какой проблемы это необходимо?

Мы на практике реализуем концепцию бесшовного прогноза, а именно, работаем над применением нашей модель атмосферы ПЛАВ совместно с моделью океана ИВМИО и морского льда для моделирования изменений климата и долгосрочного вероятностного прогноза погоды. Последнее – давно назревшая необходимость: в большинстве мировых центров долгосрочный прогноз (на месяц и сезон) выпускается на основе ансамблевых расчетов совместных моделей.

Редакция бюллетеня благодарит М.А.Толстых за подготовку данного интервью

Примечание составителя: статья М.А.Толстых с соавторами «Разработка многомасштабной версии глобальной модели атмосферы ПЛАВ» опубликована в научно-техническом журнале «Метеорология и гидрология» 2015, №6.

■