

**Семинар Института глобального климата и экологии  
Росгидромета и РАН (ИГКЭ)**

**17 июня 2015 года**

**SUMMARY**

(составлено И. А. Корневой, ИГКЭ)

Состоялся доклад д.ф.-м.н. **РИВИНА** Гдалия Симоновича (Гидрометцентр РФ) **«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ICON И COSMO ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА И ПРОГНОЗА ПОГОДЫ»**. Председательствовал С.М. Семенов. С содокладом выступил к.ф.-м.н. **ШКОЛЬНИК** Игорь Маркович (ГГО им. А. И. Воейкова).

**Ривин Г. С. выступает с докладом (текст прилагается).**

**Содоклад И.М. Школьника (ГГО им. А. И. Воейкова)**

В ГГО им. Воейкова существует группа исследователей, которая занимается региональным климатом. Сейчас мировым сообществом под эгидой ВПИК и ее рабочей группы по региональному климату организована широкомасштабная международная программа по оценке будущих изменений регионального климата в различных районах Земного шара под названием CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment). В рамках этого эксперимента ставится задача мультимодельной пространственной детализации результатов расчетов изменений климата глобальными моделями проекта CMIP (Coupled Model Intercomparison Project). С этой целью в CMIP предусмотрена архивация 6-часовых полей основных климатических переменных за период с 1860 по 2100 гг. для задания боковых граничных условий при моделировании регионального климата на ограниченной территории. Эти данные доступны в ИНТЕРНЕТе. В рамках программы CORDEX уже проведено несколько десятков расчетов для всех регионов Земли. Разрешение моделей в таких расчетах варьирует в диапазоне 25-50 км.

В ГГО используется 3 расчётные области для регионального моделирования: Арктический регион, Северная и Северо-восточная Евразия. Разрешение модели ГГО составляет 25 км. Для расчётов используется 30 членов ансамбля; накоплен 600-летний ряд данных для различных периодов XX и XXI вв. В ГГО имеется также небольшая отдельная модель для Средней Азии, которая в основном используется для сельскохозяйственных прогнозов. В частности, модель участвует в международном

проекте под руководством NASA (National Aeronautics and Space Administration, USA). В настоящее время модель ГГО активно развивается и совершенствуется. Недавно в нее включено лагранжево описание переноса атмосферной влаги, что позволило заметно улучшить расчет компонент водного баланса.

Перед использованием региональных моделей в расчетах будущих изменений климата обычно проводится их валидация, в ходе которой обосновывается целесообразность использования модели для того или иного региона. Валидация включает ретроспективные расчеты по воспроизведению пространственно-временной изменчивости характеристик климата, полученной по данным наблюдений и реанализам. Особое внимание уделяется качеству расчетов мезомасштабной структуры метеорологических полей, которая обычно не воспроизводится глобальными моделями, имеющими более низкое разрешение. Валидация региональной модели – неотъемлемая часть любого исследования климата, проводимого с помощью такой модели. Так, например, валидация качества расчета атмосферной циркуляции была осуществлена, например, для Арктической модели. В частности, было произведено сравнение скоростей движения циклонов по данным глобальных и региональных моделей, с данными различных реанализов. Было установлено, что данные региональной модели лучше согласуются с данными реанализа, чем данные глобальной модели, в которую региональная модель строена. Другой пример сравнения результатов моделирования и реанализов – воспроизведение количества полярных циклонов, выход которых часто сопровождается экстремальными погодными явлениями. Количество циклонов по данным реанализа NCEP-CFSR и глобальной модели существенно меньше, чем должно быть на самом деле вследствие ассимиляции и сглаживания данных наблюдений. Число и пространственное распределение траекторий полярных циклонов, рассчитанных по региональной модели, удовлетворительно согласуется с данными анализа наблюдений, основанных на спутниковых снимках.

В последнее время региональная модель ГГО начала применяться для оценки будущих изменений гидрологических характеристик, в первую очередь стока. Для таких оценок в рамках единой модульной системы прогнозирования климата вместе с региональной и глобальной моделями используются гидрологические модели речного стока. Например, сейчас в качестве такой гидрологической компоненты применяется японская модель CaMa-Flood, позволяющая на основе входной информации о стоке из региональной модели рассчитывать трансформацию этого стока на речной сети и оценивать локальную водообеспеченность на разных участках водосборов.

Гидрологическая модель находится в свободном доступе и специально адаптирована для работ с региональной моделью. Разрешение сетки такой модели соответствует разрешению региональной модели и составляет 25 км. Совместное использование региональной модели и модели CaMa-Flood позволяет рассчитывать в узлах сетки экстремальные расходы воды и время их наступления, площадь затопления и её динамику, глубину затопления и т.д.

### **Вопросы/ответы**

Ранькова Э. Я. (ИГКЭ): *Какая дополнительная информация используется в Вашей модели, кроме граничных условий по данным глобальных моделей?*

Ривин Г. С.: Счёт модели начинается со срока -6 часов, т.е. шесть часов назад. Полученные после этого данные наблюдений усваиваются во время численного прогноза. Т.е. производится downscaling для получения начальной информации в момент времени -6 час, обработка и усвоение наблюдений.

Ранькова Э. Я. (ИГКЭ): *Используется ли прогностическая информация по глобальным моделям? Как оценивается полезность этой глобальной информации?*

Ривин Г. С.: Прогностическая информация используется только для боковых границ. Раньше, когда ещё не было глобальных климатических моделей, граничные условия фиксировались в начале прогноза. И это, конечно, приводило к огромным ошибкам, влияние этих ошибок прослеживалось далеко (при скорости переноса 10 м/с ошибка через 24 часа распространяется на, примерно, 1000 км). Поэтому в настоящее время, на каждом шаге для боковых границ используется и прогностическая информация по глобальным моделям.

Ранькова Э. Я. (ИГКЭ): *Накоплен ли климатический ряд результатов моделирования по Вашей модели?*

Ривин Г. С.: К сожалению, из-за нехватки внешней дисковой памяти, мы вынуждены время от времени стирать практически всю прогностическую информацию. Однако мы регулярно передаем информацию в базу данных Гидрометцентра РФ. Пока перед нами не ставилось климатических задач, которые бы требовали накопления длительного ряда данных. Хотя, даже если бы перед нами поставили такую задачу, к сожалению, накопленный ряд по нашей модели вряд ли был бы полезен климатологам. Причина – в его неоднородности из-за того, что модель всё время совершенствуется и обновляется.

С.М. Семёнов (ИГКЭ): *Предусмотрено ли в правилах использования модели COSMO совершенствование и развитие прогностических уравнений каждым отдельным членом консорциума?*

Ривин Г. С.: Конечно, модель всё время совершенствуется в рамках специальных проектов консорциума. Каждая страна обязана развивать ее. Основные физические уравнения в модели – одни и те же, а параметры модели в различных странах – разные. Развитие блоков модели странами-участницами всячески поддерживается и требуется по уставу консорциума COSMO, причем ежегодно каждая страна отчитывается о проделанной работе, которая должна быть выполнена не менее определенного объема.

С.М. Семёнов (ИГКЭ): *Модели климата и погоды обычно верифицируются. Например, Г.В. Груза и Э.Я. Ранькова провели сравнение климатических данных модели ИВМ с реальными данными наблюдений за XX век. Для разных параметров получились разные результаты: давление и температура – хорошо воспроизводятся, осадки – воспроизводятся не везде, а экстремумы – воспроизводятся плохо. Проводили ли Вы такие сравнения?*

Ривин Г. С.: Перед внедрением модели COSMO-Ru в оперативную практику, в течение двух лет проводились независимые сравнения соответствующих численных прогнозов с прогнозами по всем другим моделям для ограниченной территории, используемым в Гидрометцентре, и данными наблюдений. На основании полученных оценок ЦМКП приняло решение считать прогнозы по модели COSMO-Ru базовыми. Для более длительных, климатических периодов мы таких сравнений не проводили, однако, возможно, результаты таких сравнений опубликованы в работах климатического сообщества COSMO-CLM.

С.М. Семёнов (ИГКЭ): *Известно, что чем меньше шаг сетки в модели, тем больше ошибка прогноза. Ухудшается ли при уменьшении шага сетки модели (downscaling) качество прогнозов?*

Ривин Г. С.: Качество улучшается, а вот формальные оценки могут ухудшаться из-за так называемых двойных штрафов. Мы периодически сравниваем региональные результаты расчетов с использованием COSMO с результатами глобальных моделей, и качество прогноза региональной модели COSMO-Ru получается лучше. Отмечу, что сравнивать с ежедневными результатами глобальных моделей трудно, так как информация по одной и той же модели (например, американской) обычно приходит с шагом сетки примерно в 2 раза большим, чем проводился прогноз в самой стране-производителе. Это вызвано необходимостью уменьшения объема информации, передаваемой по каналам связи.

Школьник И. М. (ГГО): Какой принцип построения ансамбля моделей Вы использовали?

Ривин Г. С.: Приведу для примера метод, который использовался при прогнозе в Сочи. Сначала брался 51 член ансамбля из Европейского Центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Затем из них выбирались 10 членов ансамбля, наиболее подходящих для данной территории (кластеризация). Затем по такому ансамблю из 10 членов проводились прогнозы в ECMWF для сетки с шагом сетки 7 км. Далее, с учётом этих данных, мы сами осуществляли ансамблевый прогноз с шагом 2,2 км. Результаты этого прогноза получились лучше, чем выполненные с шагом 7 км.

Рябошапко А. Г. (ИГКЭ): Известно, что основную неопределённость в моделирование концентраций химических веществ вносят поля эмиссий. Откуда Вы брали данные по эмиссиям для Вашей модели?

Ривин Г. С.: Мы используем данные международного глобального банка данных по эмиссиям в Голландии – TNO. В настоящее время качество этих данных улучшилось, и их можно использовать для прогноза загрязнения воздуха.

Рябошапко А. Г. (ИГКЭ): Верифицировались ли данные химического моделирования по данным наблюдений?

Ривин Г. С.: В лаборатории под руководством И. Н. Кузнецовой модельные данные регулярно сравниваются с данными Мосэкомониторинга.

Рябошапко А. Г. (ИГКЭ): Вы не используете данные ИГКЭ?

Ривин Г. С.: Мы используем оперативные данные (4 раза в сутки) для Центрального Федерального округа.

Рябошапко А. Г. (ИГКЭ): Имеются ли у Вас контакты с международной Конвенцией о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (ЕМЕР)?

Ривин Г. С.: К сожалению, нет. Однако мы активно сотрудничаем с А. Баклановым (WMO).

## **Комментарии**

### **Розинкина И. А. (Гидрометцентр РФ)**

При уменьшении шага сетки, действительно ошибка прогноза (дисперсия метеорологических полей) увеличивается, но сам прогноз дает более детальную информацию. От мезомасштабных моделей мы требуем реалистичных прогнозов, и мы всегда предупреждаем синоптиков, что такой прогноз никогда не будет абсолютно

точным, а использовать его нужно как дополнительный материал для анализа процесса. Такой принцип применяется для прогноза погоды.

Для прогноза климата в сообществе COSMO-CLM используется глобальная климатическая модель, в которую встраивается региональная мезомасштабная модель. Региональная модель COSMO широко используется для прогноза регионального климата в основном за счёт хорошей организации работы сообщества.

Все региональные модели похожи и в настоящее время находятся примерно на одном и том же уровне развития. В разных моделях зачастую используются одни и те же блоки. Климатическая версия модели COSMO используется, например, для уточнения глобальной информации по реанализам – например, для расчёта экстремумов для определённой территории. Но для всех расчётов требуются граничные условия из глобальных климатических моделей, без них модель не может производить расчёт.

Климатические реализации с моделью COSMO были проведены, модель даёт неплохие результаты расчёта характеристик локального климата. Например, такая работа была проделана для острова Сахалин. За временной промежуток около 30 лет можно получить значения климатических параметров и их статистики для выбранной территории. Преимущество региональной модели состоит в том, что информация рассчитывается уже с учётом детализации рельефа и подстилающей поверхности, что в глобальной модели невыполнимо.

Относительно верификации: возможно, климатическая информация полученная с помощью блока COSMO-CLM, хранится в каких-то архивах, по этому вопросу стоит обратиться в сообщество COSMO-CLM.

### **Семёнов С. М. (ИГКЭ)**

Большое спасибо, Гдалий Симонович, за доклад, содержащий интересную и новую для нас информацию об успешной работе международного сообщества COSMO.

Несколько слов о соотношении разрешения по пространству и точности моделей. Предположим, что мы имеем климатическую модель, хотим запустить её на 100 лет вперёд и получить значения среднегодовой температуры воздуха для ячеек широтно-долготной сетки  $1^\circ \times 1^\circ$ . Для каждой ячейки такой пространственной сетки мы получим своё значение температуры. Эти данные будут не точными, отклонение от истины будет характеризоваться некоторой дисперсией. Если мы выполним осреднение для «квадрата»  $10 \times 10$  ячеек, то дисперсия прогноза уменьшится. Т.е. дисперсия прогноза будет

уменьшаться при переходе от мелких к крупным пространственным единицам. Соответственно, при downscaling'е дисперсия прогноза растёт.

Теперь, относительно оценки пригодности COSMO для климатических расчетов, о верификации. Конечно, как было сказано в докладе, существует возможность зарегистрироваться на сайте COSMO и ознакомиться с климатическими архивами модели. Далее любой желающий может произвести сравнение данных модели с фактическими данными для значительных, климатических промежутков времени (десятки лет). Однако, представляется, что перед тем как РЕКОМЕНДОВАТЬ использовать модель COSMO в региональных климатических расчётах идеологами КОНСОРЦИУМОМА самими должна была проводиться такая её верификация (скорее всего, она действительно была проведена и выявлены преимущества модели по сравнению с другими климатическими моделями такого типа).

Приведенный в самом начале доклада пример с простейшей линейной итерационной схемой для двух переменных, когда сколь угодно малое возмущение начальных условий давало огромное расхождение траекторий, конечно, впечатляет. Как же убедиться в том, что среди множества уравнений модели (многие из которых нелинейные) нет таких, что приведут к подобным некорректностям? Ведь общих теорем на эту тему нет, если я не ошибаюсь. Скорее всего, у модельеров существуют специальные приёмы, так сказать, рецепты, позволяющие подавить такие эффекты.

У меня, в заключение, есть еще один общий вопрос к Г.С. Ривину по поводу будущего развития климатического моделирования: Вы действительно считаете, что в будущем количество моделей будет уменьшаться, и постепенно мировое сообщество будет переходить к единому подходу в моделировании климата?

#### **Ривин Г. С. (Гидрометцентр РФ)**

Раньше каждый исследователь имел свою собственную прогностическую модель. Потом сложность моделей стала возрастать и отдельные учёные стали объединяться в коллективы. В настоящее время уже объединяются коллективы, страны и даже группы разных разработчиков моделей для прогноза по ограниченной территории (например, разработчики моделей консорциумов ALADIN и HIRLAM совместно подготовили модель HARMONIE). Если в настоящее время в мире появится новая прогностическая модель, то разработчикам этой модели прежде всего нужно будет доказать всем, что модель лучше других. Качество существующих мировых моделей для прогнозов погоды (COSMO, HIRLAM, ALADIN и др.) уже проверено на реальных данных в оперативных условиях. Я

считаю, что в мире будет происходить уменьшение количества существенно различных оперативных моделей мирового уровня примерно до 8-12 моделей во многом близких друг к другу. А вот количество стран, в которых проводится численный прогноз по ограниченной территории, непрерывно растет и уже составляет примерно половину всех стран, входящих в ВМО. В последнее время единственной страной, начавшей разрабатывать собственную прогностическую модель, является Китай, но при этом, конечно, с использованием опыта, полученного до этого международным сообществом. Что же касается климатических моделей, то, например, в России осталось всего две глобальные климатические модели – в Институте вычислительной математики (ИВМ РАН) и ГГО им. А.И. Воейкова. Глобальные же численные прогнозы уже 6-8 лет как проводятся только в, примерно, 10-12 метеорологических центрах.

**Семенов С.М. (ИГКЭ):** Хочу заметить, что в тот момент, когда останется одна лучшая модель, исчезнет возможность построения «мультимодельного климата». Замечу, что именно этим занимались наиболее значимые группы климатологов в последнее десятилетие.

**Семенов С.М., председательствующий:** Хотел бы поблагодарить Гдалия Симоновича Ривина за весьма интересный и полезный доклад, Игоря Марковича Школьника за очень информативный и уместный содоклад, в котором, в частности, был представлен опыт ГГО в области регионального моделирования, а также всех присутствующих за участие и дискуссию.