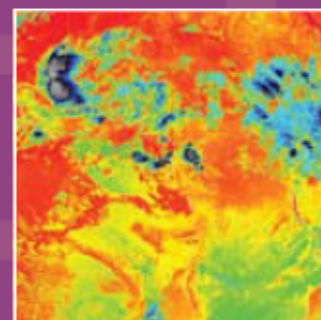


Предсказуемость за пределами детерминистических ограничений



Брайан Хоскинс¹

Традиционная концепция детерминистических ограничений подвергается сомнению путем рассмотрения возможности определенной успешности прогнозирования во всех временных масштабах от часов до десятилетий. Обсуждение построено в рамках проблемы непрерывного прогнозирования погоды и климата. Основное внимание уделено явлениям, которые развиваются в искомым временных масштабах, и предсказуемости этих явлений, а также смещениям, которые появляются при прогнозировании в более длительных временных масштабах.

Как может иметь место предсказуемость за пределами детерминистических ограничений?

Название статьи отражает кажущееся противоречие между тем, что прогнозирование все чаще пытаются осуществить на месяцы, сезоны и в более длительных временных масштабах, и концепцией, предполагающей, что состояние атмосферы, в сущности, невозможно предсказать на период более двух недель. Эта концепция прочно базируется на теоретических предположениях и возникла на основе работы Lorenz (1969). Чувствительность начальных условий, которую Лоренц обнаружил и развил в теории хаоса, означает, что неизбежные ошибки, присущие начальным условиям, должны в конечном итоге оказать влияние на прогнозирование атмосферных потоков во всех временных масштабах. Обусловленные наличием турбулентности аргументы, основанные на наблюдаемом относительно медленном уменьшении потока энергии при рассмотрении менее длительных временных масштабов прогнозирования, предполагают неизбежную неопределенность при прогнозировании на непродолжительные сроки, которая влияет на прогнозирование на все более длительные сроки так, что все временные масштабы отражают неопределенность в конечном промежутке времени. Эксперименты с использованием глобальных моделей прогнозирования с высоким разрешением предполагают,

что две недели являются крайним пределом детерминистического прогнозирования даже для самых крупномасштабных атмосферных систем.

Однако имеются признаки того, что прогнозирование некоторых явлений и структур показывает надежные результаты за пределами ожидаемых временных рамок на основе аргументов, обусловленных наличием хаоса и турбулентности. Каждые 26 месяцев или около этого экваториальные ветры в стратосфере меняют направление с запада на восток и обратно. Блокирующие антициклоны в средних широтах имеют тенденцию сохраняться с небольшими изменениями в структуре в течение многих стандартных жизненных циклов синоптических областей пониженного и повышенного давления. В таких случаях динамика атмосферы играет решающую роль в том, чтобы расширить потенциальные пределы предсказуемости ее поведения, а не наоборот.

Концепция детерминистического прогнозирования основана на синоптическом прогнозировании погоды в средних широтах и предполагает четкое определение атмосферного потока синоптического масштаба. Никогда не предполагалось, что можно точно предсказать конвективный ливень: в прогнозе таких явлений всегда присутствовало понятие вероятности. В последние годы появилось осознание того, что прогнозы во всех временных масштабах должны быть вероятностными. Были разработаны системы ансамблевого прогнозирования на основе нескольких прогонов прогностической модели с разными начальными условиями в пределах ошибок анализа данных наблюдений. Неизбежный фактор случайности в отображении процессов подсеточного масштаба (меньше шага сетки) имитируется путем добавления статистического шума (например, Slingo and Palmer, 2011). При прогнозировании в более длительных временных масштабах при отображении процессов подсеточного масштаба начинают использовать вариации параметров.

Такие методы можно применять при прогнозировании во всех временных масштабах с целью определения различающихся проявлений явления, развивающегося в искомым временном масштабе, и статистических

¹ Институт Грантэма по исследованию изменения климата при Имперском колледже Лондона, факультет метеорологии Университета Рединга

характеристик явления в менее длительных масштабах. В течение многих лет, прошедших после новаторских исследований Charney & Shukla (1981), также показывается, что условия в некоторых внешних по отношению к атмосфере компонентах взаимодействующей системы Земли, таких, как температура поверхности моря в тропиках или влажность почвы у земной поверхности, могут развиваться медленно или предсказуемым образом. Следовательно, они способны привести к смещению в последующем поведении атмосферы и таким образом обеспечить основу для определенного потенциала для прогнозирования. Колебания солнечной активности и извержения вулканов являются действительно внешними по отношению к взаимодействующей системе и могут обеспечить возможный потенциал для прогнозирования, хотя извержения вулкана в период прогноза могут понизить успешность прогнозирования.

Основное внимание в данной статье сосредоточено на явлениях, развитие которых в искомом временном масштабе дает надежду на определенный потенциал для прогнозирования. Поведение атмосферы зачастую может выглядеть как шум, но нас интересуют типовые варианты поведения, т.е. музыка. Обсуждение построено в рамках проблемы непрерывного прогнозирования погоды и климата, отображенной на рис. 1. Потенциально предсказуемые явления происходят во всех временных масштабах. Каждый временной масштаб развивается в контексте развития более продолжительных временных масштабов и действительно внешних условий, которые могут оказать влияние на развитие. Развивающиеся в менее длительном временном масштабе явления, которые нельзя явно отобразить, могут находиться частично «в рабочем положении» по отношению к более длительным масштабам, как общие зоны конвекции по отношению к фронту. В этом случае аспекты их обратной связи с более длительными масштабами могут быть точно

определены этими более длительными масштабами. Они также могут быть «свободными», как местоположение и характер отдельных конвективных ливней. В этом случае потребуются статистические элементы.

Как показано на рис. 1, охват и сложность модели системы Земли, необходимые для прогнозирования, зависят от временного масштаба прогнозирования. Помимо физической атмосферы, степень детализации, в которой океан, суша, химия атмосферы и ледяные щиты должны быть явно включены в прогностическую систему, будет зависеть от искомого временного масштаба. Понимание и улучшенное моделирование и прогнозирование в одном временном масштабе может обеспечить ценную поддержку для прогнозирования в более продолжительных временных масштабах. Например, улучшение в прогнозировании отдельных блокирующих явлений, достигнутое в последние годы, должно помочь улучшить моделирование их частоты и характеристик на протяжении XX века с помощью моделей климата и, следовательно, добавить надежности перспективным оценкам изменений в блокирующих явлениях в конце XXI века.

Примеры потенциальной успешности прогнозирования в широком диапазоне временных масштабов

1 день – Достигнуты хорошие результаты в разработке систем прогнозирования на первый день с использованием моделей с разрешением 1 км, вложенных в региональные или глобальные модели. Например, Метеорологическое бюро СК вложило модель с разрешением 1,5 км, охватывающую территорию Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии, в различные члены ансамблевой системы прогнозирования, базирующейся на модели с разрешением 24 км, с целью прогнозирования выпадения экстремальных локальных осадков в октябре 2008 года. Система с более низким

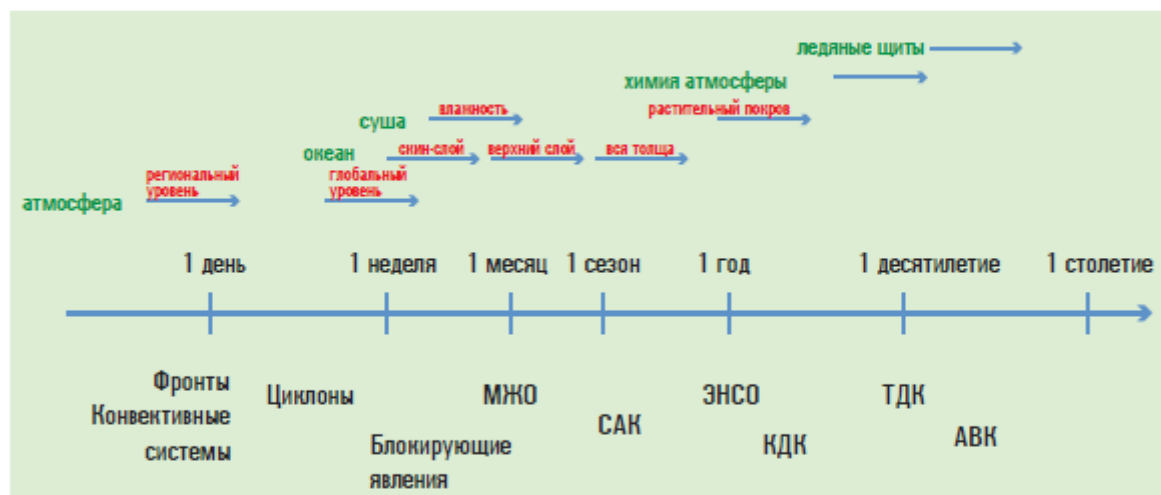


Рисунок 1 – Проблема непрерывного прогнозирования погоды и климата. Временные масштабы показаны вдоль оси, расположенной в центре. Под осью приведены явления, которые происходят в различных временных масштабах. Над осью показаны компоненты системы Земли, которые должны быть представлены, и степень детализации их представления. Для временных масштабов справа от стрелки могут потребоваться даже более полные сведения.



Метеорологическая служба Германии

Успехи в области моделирования и непрерывного прогнозирования

разрешением выдает различные места прохождения фронта, а система с более высоким разрешением свидетельствует о том, что выпадение очень обильных осадков следует ожидать где-то в пределах района, обусловленного фронтом, выданным системой с более низким разрешением. Текущая задача состоит в том, чтобы разработать ансамбль с высоким разрешением, который сможет обеспечить полезный потенциал для прогнозирования этого и других явлений.

1 неделя – В последние 30 лет достигнут большой прогресс в прогнозировании в синоптическом масштабе на средних широтах, обусловленный совершенствованием моделей прогнозирования и систем анализа данных наблюдений и начальных данных. В тропиках потенциально можно прогнозировать явления, которые в настоящее время недостаточно отражены в прогностических моделях. Например, на основе данных было выявлено, что экваториальные волны в сочетании с конвекцией имеют типовую структуру, осуществляют слаженное движение и развиваются как раз в однонедельном временном масштабе.

От 1 недели до 1 месяца – Почти все члены ансамблевой системы прогнозирования Японского метеорологического агентства, инициализированной в середине декабря 2010 года, показывали очень сильное похолодание в период с конца декабря 2010 года до начала января 2011 года включительно, которое имело место на самом деле. Наводнения в северо-западной части Пакистана были вызваны рядом сильных дождей в период с июля до начала августа. Каждый случай сильных осадков был спрогнозирован с заблаговременностью более 10 дней

системой ансамблевого прогнозирования Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Потенциал для прогнозирования в обоих случаях был обусловлен двумя явлениями: распространением волн Россби и наличием блокирующего антициклона. В случае с похолоданием волна присутствовала в начальных условиях и распространялась вдоль субтропического струйного потока прежде, чем достичь района Японии. Здесь волна протянулась по широте и разрушилась, образуя блокирующий антициклон, который существовал продолжительное время. В случае с наводнениями каждый раз причиной осадков являлась ложбина волны, которая распространялась от Соединенного Королевства вдоль зоны западных ветров до северной части блокирующего циклона над Россией, который вызвал здесь волну тепла. Осадки выпадали, когда ложбина достигала района входа сильного струйного течения около Пакистана.

В обоих случаях вновь именно предсказуемое развитие явления обуславливает потенциал для прогнозирования. Аналогичным образом развитие колебания Маддена-Джулиана (МЖО) дает надежду на значительный потенциал для прогнозирования в тропической зоне и в обоих полушариях. Однако этот потенциал пока еще не реализован по причине ограничений в моделировании МЖО.

От 1 месяца до сезонов – Хорошо известное явление Эль-Ниньо/ Южное колебание (ЭНКО) – это явление, обусловленное взаимосвязанными эволюционными процессами в тропической части Тихого океана и в атмосфере. Это явление служит основой для успешного прогнозирования в сезонном временном масштабе в тропиках и в большей или меньшей степени в

районах высоких широт. Ветры, обусловленные МЖО, важны для развития ЭНСО, и поэтому более качественное моделирование МЖО может привести к повышению успешности в прогнозировании ЭНСО. Так же обнадеживающе, но более расплывчато, чем в случае с ЭНСО, выглядят возможности для прогнозирования Североатлантического колебания (САК). Отмечались факторы, указывающие на возможность прогнозирования благодаря взаимодействию со стратосферой, а позднее – благодаря влиянию льда в арктических морях и снежного покрова в Азии. Влияние САК в атмосфере на подлежащую поверхность океана понятно, обратное влияние, которое может помочь в обеспечении потенциала для прогнозирования, менее понятно.

Некоторые экстремальные сезоны, такие, как летняя волна тепла в Европе в 2003 году и холодная зима 2009/2010 гг., не были предсказаны, но ряд имеющих в настоящее время ретроспективных прогнозов выглядят обнадеживающе. Хотя реальной проверкой будет прогнозирование будущих экстремальных сезонов.

От 1 года до 1 десятилетия – Ряд явлений, которые имеют почти неизменный характер в сезонном временном масштабе и в этом временном масштабе являются потенциально предсказуемыми, могут быть предсказуемы и в более длительных временных масштабах в связи с тем, что развиваются они медленно, потенциально предсказуемым образом. НАО отличается определенным постоянством в этих длительных временных масштабах. Стратосфера также поддается прогнозированию в масштабе нескольких лет и даже десятилетия в связи с постоянным характером изменений в ее составе. Поддающаяся прогнозированию солнечная активность благодаря ее воздействию на ультракоротковолновую радиацию, которая поглощается стратосферой, вероятно, влияет на температуру стратосферы. Все больше свидетельств того, что такие изменения в стратосфере могут оказывать влияние на статистику погоды.

Были продемонстрированы возможности для прогнозирования температуры верхнего слоя северной части Атлантического океана. В целом, как говорилось выше, еще не понятно, подразумевает ли это какую-либо предсказуемость атмосферы. Однако температура верхнего слоя океана оказывает сильное влияние на тропические циклоны, и было показано, что имеются возможности для прогнозирования повторяемости тропических циклонов в северной части Атлантического океана в среднем за 5-летний период.

От 1 десятилетия до 1 столетия – В этих временных масштабах тенденция, обусловленная растущими выбросами парниковых газов, становится важной и должна обеспечить потенциал для прогнозирования. До последнего времени основное внимание было сосредоточено на изменениях в средних объемах выбросов, но сейчас все больший интерес проявляется к возможному воздействию на такие вещи, как блокирующие явления или ЭНСО, или на режимы изменчивости, такие, как САК. Это воздействие может проявляться в изменяющейся интенсивности или повторяемости, или в изменяющейся структуре.

В временном масштабе в несколько десятилетий в САК наблюдается изменение, и есть явления, такие, как атлантическое внутривековое колебание (АВК) и тихоокеанское десятилетнее колебание (ТДК), развитие которых происходит в этих временных масштабах. Современные модели могут воспроизвести структуры и их эволюцию, которые обладают некоторым сходством с наблюдаемыми АВК и ТДК. Когда такие воспроизведения улучшатся и поведение САК будет более глубоко понято, можно надеяться, что такие явления явятся источником определенных возможностей для прогнозирования. Чтобы это реализовать, необходимы надлежащие данные наблюдений и их анализ, а также процедуры инициализации. В прошлом эти явления воспринимались как шум, который делает неясным сигнал изменения климата. В будущем они станут основным компонентом перспективных оценок на предстоящие десятилетия.

Заключительные замечания

Предпосылки, которые обеспечивают более длительные временные масштабы и внешние условия, и явления, которые происходят в каждом диапазоне временных масштабов и рассматриваются в рамках проблемы непрерывного прогнозирования погоды и климата, дают надежду на определенный потенциал для прогнозирования во всех временных масштабах. Реальная полезность этого потенциала не будет понятна для многих временных масштабов, пока не будут проведены соответствующие научные исследования и не будут освоены методы использования предсказаний для конкретных применений. Я думаю, что важнейший аспект научного подхода должен заключаться в том, чтобы внимание в большей степени было сконцентрировано на изучении явлений и их развития, т.е. на поиске и восприятии музыки среди шума погодно-климатической системы. Задача для нашей науки огромная, но и выгоды для общества могут быть колоссальными.

Выражение признательности

Я бы хотел поблагодарить ВМО и ее Генерального секретаря Мишеля Жарро за приглашение выступить с лекцией ВМО 2011 года. Я с признательностью отмечаю очень полезный вклад многих коллег, включая Ягадиша Шуклу, Тима Палмера, Джулию Слинго, Тима Вулинго, Дэвида Страуса, Роберто Буиззу, Майка Блекберна, Найджела Робертса, Адама Скейфа, Рована Саттона, Джона Робсона и Дуга Смита. Полная версия научной статьи на основе этой лекции будет опубликована в ежеквартальном журнале Королевского метеорологического общества под названием «Предсказуемость и проблема непрерывного прогнозирования погоды и климата».

Литература

- Charney, J. G. and J. Shukla, 1981: *Predictability of monsoons. Monsoon Dynamics*, Editors: Sir James Lighthill and R. P. Pearce, Cambridge University Press, pp. 99–109.
- Lorenz, E., 1969: The predictability of a flow which possesses many scales of motion. *Tellus*, 21, 289–307.
- Slingo, J., and Palmer, T., 2011: Uncertainty in weather and climate prediction. *Phil. Trans. R. Soc. A* 369, 4751–4767