

Хаотические вариации погоды и нехаотические короткопериодные вариации климата

Д. М. Сонечкин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, РАН

Начиная со второй половины 20-го века, исследования физики и динамики системы атмосфера - океаны были существенно стимулированы развитием вычислительной техники. Это привело к созданию численных методов сначала краткосрочного (на 1-3 дня вперед), а затем и среднесрочного (до примерно недели) прогноза погоды. Однако распространение этих методов на более долгие сроки прогнозирования (месяц, сезон) встретило значительные трудности в связи с существующей неустойчивостью атмосферных процессов всех масштабов движения. Более того, усилиями ряда теоретиков, прежде всего Е. Н. Лоренца, была развита теория предсказуемости (точнее непредсказуемости), которая указала на месячную заблаговременность как предельно достижимую при численном прогнозе погоды с помощью интегрирования современных прогностических моделей.

Отсутствие ясных перспектив для распространения численных методов прогноза погоды на долгие сроки (месяц, сезон) явилось одной из причин того, что Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) сосредоточилась на проблеме современного изменения климата как главном объекте своей деятельности. Для ее решения было предложено использовать детализованные гидродинамические модели совместной циркуляции атмосферы и океана, сходные с теми, которые были разработаны для целей численного прогноза погоды. При этом было предположено, что описание эволюции климата получится «само собой», при суммировании изменений состояния атмосферы ото дня ко дню, которые явно рассчитываются в этих моделях. Этот подход к решению проблемы современных изменений климата можно назвать подходом «грубой силы».

Доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в своей прогностической части основанные, главным образом, на длительных интегрированиях таких моделей указывали со все большей уверенностью, что современное глобальное потепление будет продолжаться. Однако, вопреки этим предсказаниям, в самом конце 20-го века и начале 21-го века глобальное потепление сначала вообще остановилось, а в самые последние годы вроде бы продолжилось, но уже со значительно меньшей скоростью. Причины этой приостановки сейчас широко обсуждаются.

Данное исследование исходило из предположения, что подход «грубой силы», т.е. использование одной и той же максимально детализованной модели для описания, понимания и предсказания всех масштабов движений в атмосфере (от междусуточных изменений погоды до междугодовых и десятилетних вариаций климата) не может объяснить современное изменение климата.

Суть в том, что в гидротермодинамических моделях общей циркуляции атмосферы и океана неявно присутствуют различные «большие» и «малые» параметры. Пренебрегая этим, подход «грубой силы» порождает в решениях этих уравнений высокочастотные «шумы», которые «забивают» искомый климатический сигнал. Наоборот, явно учитывая те или иные из этих параметров, можно выявлять различные «сингулярности», например, резкие изломы в климатических трендах и т. п., и, в принципе, исключать из последующего рассмотрения неустойчивости атмосферных и океанических процессов того или иного пространственно-временного масштаба, которые ограничивают предсказуемость этих конкретных процессов.

Примером «малого» параметра, который уже был эффективно использован в метеорологии, является «число И.А. Кибеля». Оно позволило отделить погодообразующие волны от звуковых и гравитационных волн и, тем самым, реализовать первые численные схемы краткосрочного прогноза погоды.

Одним из результатов данного исследования было обнаружение другого «малого параметра». Им оказалась обратная величина давно известного индекса

зональной циркуляции Е.Н. Блиновой, т.е. времени обегания вокруг Земли воздушными частицами в системе западно-восточного переноса умеренных широт (~20-30 дней). Разлагая решение уравнений гидротермодинамики атмосферы в ряд по этому параметру, можно отделить быстрые изменения погоды от вариаций динамики атмосферы с периодами более 20-ти дней. При этом исключается из рассмотрения бароклинная неустойчивость циклонов и антициклонов, которая, как известно, создает непреодолимый порог примерно недельной предсказуемости междусуточных изменений погоды.

Построение такого разложения является трудной технической задачей. Однако, в результате теоретического исследования и численного моделирования простых моделей атмосферных движений со «странными хаотическими аттракторами» (СХА) и последующего анализа данных реальных метеорологических наблюдений удалось выявить один физический механизм, который позволяет более просто решить эту задачу. Этим механизмом оказалась синхронизация фаз планетарных волн в системе западно-восточного переноса умеренных широт. Простейшая реализация задачи в рамках спектральной модели баротропного уравнения вихря привела к модели, названной квазисинхронной. При численном интегрировании этой модели оказалось возможным предсказывать осредненное по последовательным пятидневкам поле H500 Северного полушария на месяц вперед. Эта работа выполняется в Гидрометцентре России оперативно. Хотя эти прогнозы являются очень приближенными, на их основе удается подбирать аналоги хода приземной температуры воздуха в отдельных пунктах на месяц вперед. Сейчас эта работа оперативно выполняется в Гидрометцентре России для г. Москвы.

Следующим «малым параметром», который полезен для описания и предсказания вариаций климата во временных масштабах от года до примерно десятилетия, является обратная величина годового хода притока тепла к системе атмосфера-океан от Солнца. В этой части настоящего исследования было принято во внимание, что, помимо этого годового хода, на систему воздействуют другие меняющиеся внешние силы, периоды которых, по-

видимому, несоизмеримы с годовым периодом. При этом условии математическая теория динамических систем указывает, что решения климатической модели должны составлять не СХА, а «странный нехаотический аттрактор» (СНА). С практической точки зрения важно, что, из-за их нехаотичности, эти решения не должны иметь никакого предела предсказуемости.

Ряду ученых из ИО РАН (В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов и И.В. Серых) недавно удалось выявить, в данных реальных метеорологических наблюдений для всей Земли, представленные в различных ре-анализах, что процессы Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) составляют только часть глобальной моды атмосферных колебаний, которую они назвали «Глобальной атмосферной осцилляцией» (ГАО). Последующие исследования при участии автора данного доклада показали, в противоречие к общепринятому мнению, что компоненты ГАО за пределами канонической области ЭНЮК в приэкваториальной зоне Тихого океана, выступают как причины, а собственно ЭНЮК – только как следствие. Образно говоря, ЭНЮК – это «волна-убийца» в динамике глобальной системы атмосфера – океан, которая создается совокупным действием всех «волн» в этой системе.

Исследование результатов длительных интегрирований моделей проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, stage 5) показало, что современные модели вполне неплохо воспроизводят ГАО. Однако, почему же тогда остается непредсказуемым Эль-Ниньо, если заблаговременность их прогноза превышает два – три сезона?

Чтобы ответить на этот вопрос были исследованы временные вариации ГАО и, в частности, вариации известных индексов ЭНЮК. При этом удалось установить, что энергетические спектры специально разработанных индексов ГАО и индексов ЭНЮК содержат большое число статистически значимых пиков и, в то же время, «лакун», где спектральная плотность равна нулю. Иначе говоря, все эти спектры являются дискретными. Это доказывает нехаотичность

рассмотренных вариаций ГАО и ЭНЮК и, следовательно, их принципиальную предсказуемость без какого-либо предела.

Периоды, на которых расположены основные пики в рассмотренных энергетических спектрах, были найдены на субгармониках известного Чандлеровского колебания (период ~14 месяцев) и супергармониках Лунно-Солнечной нутации полюсов Земли (период 18.6 года). В то же время, периоды модельных энергетических спектров оказались расположенными на субгармониках годового периода.

Таким образом, модели CMIP5 неплохо прогнозируют Эль-Ниньо, но только не вовремя! Причина этого очевидна – в моделях не принимаются во внимание обе периодические внешние силы (Чандлеровское колебание и Лунно-Солнечная нутация), которые «дирижируют» Эль-Ниньо. Учесть их в детализованных гидротермодинамических моделях чрезвычайно трудно, ибо, например, отклонение мгновенной оси вращения Земли от номинальной точки полюса не превышает 15-ти метров, что далеко за пределами пространственного разрешения моделей. Надо придумывать какую-то параметризацию. Альтернативой могут оказаться чисто статистические предсказания Эль-Ниньо по специальным индексам ГАО. Предварительные просчеты показали, что при этом может быть достигнута годовая предсказуемость.