

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА В ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Бародко С.К., Красовский А.Н., Светашев А.Г.

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы,

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: barodka@bsu.by

В силу многообразия протекающих в атмосфере процессов и их сложного распределения в пространстве и эволюции во времени, традиционный подход к повышению качества численного моделирования для целей прогнозирования погоды и климата связан с использованием всё более высокого пространственного разрешения, увеличения числа узлов сетки и уравнений модели. Можно утверждать, что сложность используемых в метеорологическом прогнозировании атмосферных моделей растёт соизмеримо с развитием суперкомпьютерной техники и ростом доступных вычислительных ресурсов.

Несмотря на впечатляющие достижения в области краткосрочного прогнозирования, увеличение сложности атмосферных моделей напрямую не влечёт за собой соизмеримые улучшения в среднесрочном и долгосрочном прогнозе погоды. Ограниченная предсказуемость атмосферных явлений обусловлена существенной нелинейностью протекающих в атмосфере физических процессов. Дальнейшее повышение качества моделирования может быть связано с разработками в области оптимального представления нелинейных процессов в атмосферной модели и учётом влияния их нелинейного характера на результаты моделирования. Исследования в данной области связаны с активным вовлечением методов нелинейной динамики в сферу атмосферных исследований в целом и разработки численных моделей атмосферы в частности [4].

В многообразии физических явлений в атмосфере их значимой общей чертой является существенная нелинейность процессов, оказывающих ключевую роль на общую динамику. Атмосфера как реальная гидродинамическая система обладает исходной нелинейностью, заключенной уже в самих уравнениях движения жидкости. Однако, кроме этого, нелинейность атмосферы связана с рядом дополнительных физических процессов, основную роль среди которых играют фазовые переходы воды и изменение содержания водяного пара, а также взаимодействие с электромагнитным излучением. Нелинейность атмосферной динамики является причиной неотъемлемой сложности и многообразия атмосферных явлений, демонстрирующих иерархию пространственно-временных структур, процессы самоорганизации и хаотическое поведение.

В целом, применение теории нелинейных динамических систем в исследовании и моделировании атмосферы может быть условно подразделено на три обширные области [2, 5]: анализ данных реальных атмосферных наблюдений, анализ результатов численного моделирования атмосферных процессов и принципиально новые идеи и подходы, основанные на принципах теории динамического хаоса.

Значимость методов нелинейной динамики в атмосферном моделировании обусловлена проблемой предсказуемости, тесно связанной с явлением динамического хаоса – детерминированной непериодической динамики нелинейной системы с сильной зависимостью от начальных условий. Примечательно, что впервые явление динамического хаоса было обнаружено и проанализировано метеорологом Э. Лоренцем в упрощённой численной модели атмосферной конвекции [1]. Основным подходом в атмосферном моделировании, реализующим принципы теории динамического хаоса, является метод ансамблевого прогнозирования, который заключается в интегрировании совместных вариантов одной и той же модели, отличающихся малыми возмущениями в начальных условиях. При этом рост начальных малых возмущений отражает рост ошибок в процессе интегрирования, позволяя оценить время предсказуемости и надёжность прогнозирования.

Еще одной перспективной областью является применение методов нелинейной динамики непосредственно для анализа результатов моделирования некоторого атмосферного явления с помощью конкретной численной модели. Такой анализ позволяет определить характеристики используемой численной атмосферной модели как некоторой динамической системы и сделать выводы о её применимости для конкретной задачи, а также проанализировать динамические свойства рассматриваемого атмосферного явления, определяющие его предсказуемость [5].

Целью данного исследования является численное мезомасштабное моделирование нескольких случаев опасных и трудно предсказуемых погодных явлений на территории Беларуси и анализ полученных результатов с применением методов нелинейной динамики (в частности, с использованием аттракторного представления). Проведено мезомасштабное моделирование нескольких случаев активных циклонов за период 2005-2014 гг., связанных с ураганами, шквалистым

ветром и обильными осадками, с использованием модели WRF и суперкомпьютерного кластера БГУ СКИФ K1000-2 [3].

Особое внимание уделяется моделированию с высоким пространственным разрешением с прямым воспроизведением конвекции, пространственной структуре конвекции в модели и нелинейной динамике поля скоростей, а также формированию в модели структуры атмосферных фронтов активного циклона.

На основе анализа результатов моделирования методами нелинейной динамики выявлены несколько масштабов изменения основных метеорологических величин, а также определены различные динамические характеристики как рассматриваемых погодных явлений, так и непосредственно модели WRF, позволяющие провести оценку степени фундаментальной предсказуемости данных явлений в рамках конкретной численной атмосферной модели. Полученные характеристики отражают степень устойчивости модели к исходным данным и скорость нарастания ошибок в процессе счёта, что особенно важно для развития оптимальных методов ансамблевого прогнозирования с учётом динамических свойств как самой численной модели, так и рассматриваемого класса атмосферных процессов. Наконец, важным результатом работы является возможность оценки принципиальной предсказуемости конкретных погодных явлений с использованием детерминированных и ансамблевых методов различной степени сложности на основе анализа внутренне присущих им динамических свойств.

Список использованных источников:

1. Lorenz E. Deterministic Nonperiodic Flow / E. Lorenz // J. Atmos. Sci. – 1963 – V. 20 – P. 130-141.
2. Lorenz E. Dimension of weather and climate attractors / E. Lorenz // Nature – 1991 – V. 353 – P. 241-244.
3. Skamarock W.C. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 / W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, W. Wang, J.G. Powers // NCAR Technical Note. – 2008. – NCAR / TN-468+STR – Mode of access: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf, – Date of access: 25.02.2015.
4. Tsonis A.A. The Impact of Nonlinear Dynamics in the Atmospheric Sciences / A.A. Tsonis // Int. J. Bif. Ch. – 2001. . – V. 11, No. 4. – P. 881 – 902.
5. Zeng X. Chaos Theory and Its Applications in the Atmosphere / X. Zeng, R. A. Pielke, R. Eykholt // Bull. Am. Met. Soc. – 1993. – V. 74, No. 4 – P. 631-644.