



Эмпирическое моделирование и прогноз эволюции открытых динамических систем: общий подход и примеры из климата

д.ф.-м.н. Александр Маркович Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

В лекции излагается новый подход к моделированию и прогнозу процессов, протекающих в сложных (нелинейных, высокоразмерных, мультимасштабных, пространственно распределенных) динамических системах и его обобщению на случай открытых (подверженных внешним воздействиям различного типа) систем. К этому классу относятся многие природные (климатические, экологические, живые) системы. Созданные к настоящему времени на основе первых принципов математические модели, описывающие эволюцию некоторых из них (например, климатических), являются одними из самых сложных среди используемых сегодня в научных исследованиях. Сложность данных моделей позволяет, казалось бы, рассчитывать на адекватное описание с их помощью взаимосвязанных процессов, характеризующихся существенно различными временными масштабами, в том числе – их отклика на внешние воздействия. Тем не менее, адекватное воспроизведение одной и той же (без перенастройки параметров) моделью разномасштабных климатических процессов, чья взаимосвязь и взаимное влияние не вызывает сомнений, до сих пор остается нерешенной проблемой.

Подход основан на реконструкции оператора эволюции исследуемой системы путем прямого анализа имеющихся данных измерений, отражающих ее пространственно-временную эволюцию. Он включает в себя, во-первых, метод построения редуцированных моделей в форме случайных неавтономных динамических систем, включающих известную информацию о физически допустимых внешних воздействиях на изучаемую систему. Во-вторых, используется вероятностный (основанный на теоремах Байеса) метод оптимизации как структуры, так и параметров модели, что позволяет реконструировать статистически обоснованные законы, лежащие в основе наблюдаемой динамики.

В лекции приводятся результаты применения подхода к моделированию трех климатических систем, эволюционирующих на различных временных масштабах: климат плейстоцена, характеризующийся ледниковыми циклами с характерными масштабами десятки и сотни тысяч лет, климат тропической части Тихого океана на столетних масштабах и Эль-Ниньо – Южное колебание в современном климате – явление с масштабом в несколько лет. Представленные результаты дают основание заключить, что описываемый подход к построению оптимальных моделей сложных открытых динамических систем является полезным инструментом для верификации механизмов, лежащих в основе их наблюдаемой изменчивости, включая анализ отклика системы на внешние воздействия.