



## Исследование механизмов критических переходов в сложных природных системах

д.ф.-м.н. Александр Маркович Фейгин

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Н. Новгород*

В лекции излагаются подходы к построению математических моделей сложных (нелинейных, высокоразмерных, пространственно распределенных) природных систем, позволяющие исследовать механизмы изменения их поведения при изменении внешних воздействий на систему, в том числе, выявлять причины критических переходов, приводящих к смене режима поведения системы.

Основной особенностью сложных систем является мультимасштабность: протекающие в них взаимосвязанные процессы характеризуются существенно различными временными и пространственными масштабами. В большинстве случаев построение «полной» модели, адекватно описывающей все разномасштабные процессы и их взаимодействие между собой, оказывается невозможным, и целью моделирования является изучение поведения отдельной подсистемы, чья динамика отвечает сравнительно узкому диапазону пространственно-временных масштабов. Влияние на эту динамику подсистем, эволюционирующих с другими характерными масштабами, описывается в большинстве случаев приближенно.

В случае, когда математическая модель построена на основании «первых принципов» (установленных естественно-научных законов), приближенное описание производится на основе гипотез, согласующихся с имеющимися данными наблюдений. Для сложных систем при этом возникает проблема с оценкой степени адекватности гипотезы: нередко приближенные описания, основанные на разных (в том числе – принципиально несовместимых) гипотезах, одинаково хорошо воспроизводят наблюдаемую динамику системы. В результате становится невозможной оценка адекватности как выявленных механизмов, определяющих наблюдаемую динамику системы, так и прогноза критических переходов, обусловленных данными механизмами.

В лекции обсуждается иной подход к исследованию механизмов эволюции сложных систем, основанный на построении их математических моделей методами эмпирической реконструкции, позволяющими определить статистическую значимость различных моделей и, тем самым, выявить наиболее вероятные механизмы, ответственные за наблюдаемую динамику системы. Возможности подхода демонстрируются на примере построения модели эволюции климата Земли на протяжении последних 2,6 миллиона лет. С помощью этой модели показывается, в частности, что на протяжении всего этого периода устойчивость климатической системы к «большим» возмущениям монотонно уменьшалась.