

УДК 501:519.856

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ДИНАМИКИ ЗАДЕРЖИВАЮЩИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ

Д.В. Гедзенко¹, В.Н. Шрайнер², Е.С.Ляпин³

В данной статье исследуется возможность получения информации об атмосферной турбулентности с помощью теории фракталов, для последующего прогноза инверсии и изотермии

Ключевые слова: фрактальная геометрия природы, метод Херста, инверсия, изотермия, задерживающие слои атмосферы

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на интенсивное развитие военной авиационной техники, эффективность и безопасность применения авиации по-прежнему остаются в достаточно высокой зависимости от погодных условий. Данный факт обусловлен тем, что неверная оценка фактических и прогностических метеоданных способны помешать достижению поставленных целей, а в отдельных случаях и привести к авиационным инцидентам и катастрофам.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ЗАДЕРЖИВАЮЩИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ

Существующие подходы к получению прогностической метеоинформации основаны в первую очередь на аппарате гидродинамики и математической статистики. К настоящему времени указанные подходы по ряду технических и экономических причин нуждаются в совершенствовании. Поэтому получение прогностических метеомоделей, основанных на новых математических идеях, безусловно, представляют собой важную научную и практическую задачу.

Новый подход для решения поставленной задачи предлагается реализовать, основываясь на фрактальной геометрии природы.

Фрактал – это геометрическая фигура, в которой один и тот же фрагмент повторяется при каждом уменьшении масштаба. Фракталы, обладающие этим свойством и получающиеся в результате простой рекурсивной процедуры (комбинации линейных преобразований), будем называть конструктивными фракталами.

Наряду с конструктивными фракталами были обнаружены множества, которые похожи на фракталы. Как правило, подобные множества возникают в нелинейных динамических системах и, в первую очередь, в дискретных динамических системах. Их построение не так просто, как в случае конструктивных фракталов, и они могут обладать масштабной инвариантностью лишь приближенно. Подобные множества будем называть динамическими фракталами. В связи с этим Мандельброт ввел другое определение фрактала. Фрактал – это такое множество, которое имеет хаусдорфову (или фрактальную) размерность, большую топологической. Среди широкого разнообразия «фрактальных размерностей», которые используются в настоящее время, определение Хаусдорфа, основанное на конструкции Каратеодори, является самым старым и, возможно, наиболее важным. Начиная с конца XIX века, в математике появляются примеры самоподобных объектов с патологическими с точки зрения классического анализа свойствами.

К ним можно отнести следующие:

- множество Кантора – нигде не плотное несчётное совершенное множество. Модифицировав процедуру, можно также получить нигде не плотное множество положительной длины.
- треугольник Серпинского и ковёр Серпинского – аналоги множества Кантора на плоскости.
- губка Менгера – аналог множества Кантора в трёхмерном пространстве.

Многие природные системы настолько сложны и нерегулярны, что использование только знакомых объектов классической геометрии для их моделирования представляется безнадежным. Столь же сложной и нерегулярной может быть и динамика реальных природных систем.

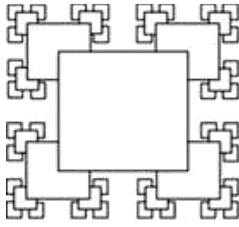


Рис. 1. Множество Кантора

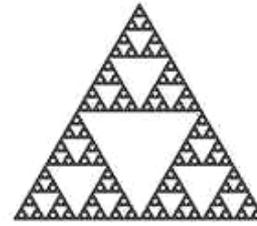


Рис. 2. Треугольник Серпинского

Фракталы и математический хаос – подходящие средства для исследования поставленных вопросов. Термин фрактал относится к некоторой статичной геометрической конфигурации, такой как мгновенный снимок водопада. Хаос – термин динамики, используемый для описания явлений, подобных турбулентному поведению погоды.

Важная особенность турбулентного движения атмосферы заключается в том, что его характеристики случайным образом, хаотично изменяются в пространстве и времени при практически неизменных внешних условиях. Именно случайный характер изменения указанных характеристик отличает турбулентные течения от ламинарных, характеристики которых в любой момент времени однозначно определяются внешними условиями. О турбулентном характере атмосферных движений свидетельствуют данные об изменении во времени и пространстве метеорологических величин (скорости ветра, температуры, влажности воздуха и др.), полученные с помощью специальной малоинерционной аппаратуры.

На возможность использования теории фракталов для получения информации об атмосферной турбулентности указывает нерегулярность и хаотичность поведения во времени и пространстве характеристик состояния и движения турбулентной атмосферы, когда крайне малые изменения начальных условий модели приводят к различным результатам.

В работах [1,2] была осуществлена модификация метода Херста с целью его применения для получения прогностической информации об атмосферной турбулентности. В качестве характеристики интенсивности турбулентности при этом было принято число Ричардсона Ri [1]:

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{(\gamma_a - \gamma)}{\left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

где $\frac{\partial \vec{V}}{\partial z}$ – сдвиг ветра в слое z ; g – ускорение свободного падения; T – температура воздуха; γ_a – сухадиабатический градиент температуры; γ – вертикальный градиент температуры.

Сдвиг ветра в формуле (1) рассчитывался:

$$\frac{\partial V}{\partial z} \approx \frac{|V_6|^2 + |V_n|^2 - 2|V_6||V_n|\cos \alpha}{z_6 - z_n} \quad (2)$$

где V_6, V_n – скорости ветра на верхней и нижней границах исследуемого слоя; z_6, z_n – соответствующие высоты указанных границ, α – угол между векторами направления ветра.

Прогностическую информацию об атмосферной турбулентности, полученную с помощью выражения (1) предлагается использовать для прогноза задерживающих слоев атмосферы путем учета следующих закономерностей. Под слоями приподнятой инверсии число Ричардсона Ri резко уменьшается (интенсивность турбулентности увеличивается), в пределах этих слоев – резко растет (интенсивность турбулентности уменьшается), над ними – увеличивается незначительно, представлено на рисунке 3 [1, 2].

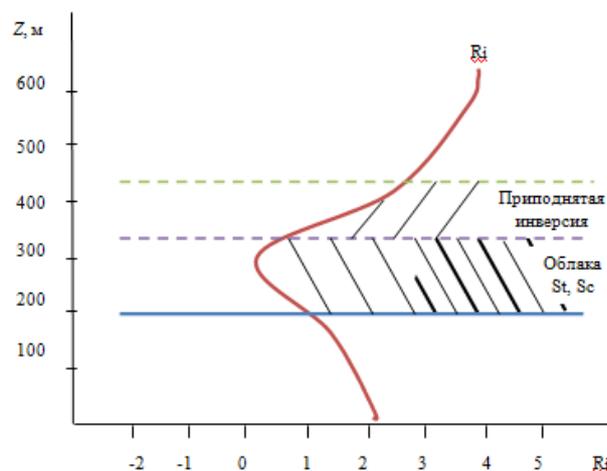


Рис. 3. Распределение вертикального профиля числа Ri при наличии приподнятой инверсии

Анализ рис. 3 указывает на то, что турбулентность атмосферы оказывает существенное влияние на ее температурную стратификацию, в частности – на образование инверсионных (изотермических) слоев [1,2]. Данный факт объясняется физической сущностью процесса влияния АТ на формирование инверсии в случае устойчивой температурной стратификации атмосферы [1], которая хорошо иллюстрируется, например, следующей практической ситуацией.

Пусть температура воздуха в начальный момент времени у земной поверхности равна $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на высоте 1000 метров – $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть вертикальная составляющая градиента температуры $\gamma = 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ представлена на рисунке 4. По мере уменьшения высоты z и приближения к подстилающей поверхности скорость ветра в нижней части слоя уменьшается, что приводит к увеличению роли динамического фактора $\Delta V / \Delta z$ в возникновении сил турбулентного трения. При этом, естественно, число Ri уменьшается.

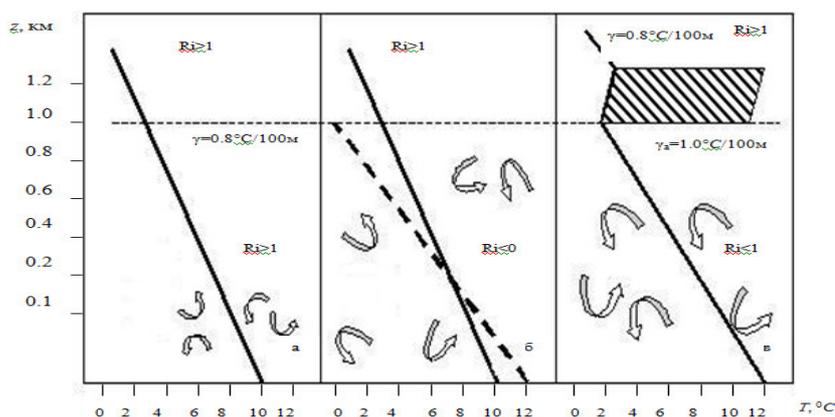


Рис. 4. Механизм влияния интенсивности турбулентности на формирование приподнятой инверсии

В представленной физической ситуации хорошо развитые турбулентные движения в нижнем слое атмосферы будут способствовать вертикальному перемешиванию воздуха, приводящему к появлению сухоадиабатической температурной стратификации [1] с вертикальным градиентом температуры $\gamma \approx \gamma_a \approx 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. В результате указанного перемешивания, на верхней границе слоя турбулентного трения, на высоте 1000 м, произойдет понижение температуры воздуха. В это же время у земной поверхности будет наблюдаться повышение температуры воздуха. Выше данного

слоя (уровня 1000 м), где число Ричардсона $Ri > 1$, распределение температуры воздуха с высотой сохранится, что приводит к образованию приподнятой инверсии, представленной на рисунке 4 [1,2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая данный методический аспект применения теории фракталов для прогноза инверсии и изотермии, возможна последующая работа в направлении составления прогноза таких опасных для авиации явлений погоды, как туманы, низкая облачность и т.д., образующихся под задерживающимися слоями.

METHODOLOGY FOR THE PREDICTION OF THE OCCURRENCE AND DYNAMICS THE INHIBITING LAYERS OF THE ATMOSPHERE

D. V. Gedzenko, V. N. Shriner, E. S. Lyapin

This article explores the possibility of obtaining information about the atmospheric turbulence using the theory of fractals, for subsequent forecast inversion and isothermia

Keywords: fractal geometry of nature, Hirst method, inversion, isothermic parameter, check the layers of the atmosphere

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев, М.Г. Применение теории фракталов для прогноза природных стохастических полей / М.Г. Матвеев, В.В. Михайлов // Системы управления и информационные технологии. №5 (22), 2005. С.21–25.
2. Михайлов, В.В. Применение метода Херста для прогноза стохастических объектов / В.В. Михайлов // Современные проблемы прикладной математики и математического моделирования. Материалы междунар. науч. конференции. Воронеж: ВГТА, 2006. С.158–159.