

УДК 574.3

**ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕКОВОГО ХОДА
СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В г. НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ**

© 2007 г.

Л.А. Солнцев, Д.И. Иудин, М.С. Снегирева, Д.Б. Гелаишвили

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

ecology@bio.unn.ru*Поступила в редакцию 4.06.2007*

Проведён анализ векового хода температуры воздуха в г. Нижнем Новгороде с позиций фрактального анализа. Проведено сравнение результатов, получаемых путём применения фрактальных методов анализа, с результатами, полученными традиционными методами. Показано, что использование фрактальных методов анализа временных рядов позволяет оценить стабильность ряда, что недоступно при использовании традиционных методов анализа трендов.

Введение

В настоящее время достоверно установлено, что климат Земли никогда не был постоянным, он изменялся, эти изменения были весьма значительными и иногда происходили очень быстро. Поверхность Земли покрывалась ледниками, а затем эти ледники исчезали и на значительной территории Земли устанавливался тропический климат. В прошлом таких ледниковых периодов было несколько десятков, их повторение было нерегулярным, а промежутки между ними составляли от 40 тысяч до нескольких сотен тысяч лет. Последний ледниковый период начал отступать всего 20 тысяч лет назад. Следует отметить, что в эпоху больших оледенений уровень Мирового океана опускался более чем на 100 м ниже современного. Это подтверждается независимыми геологическими данными. Сейчас уровень мирового океана меняется очень медленно. За период с 1890 по 1950 гг. он возрос всего на 10 см, а с 1950 г. остается практически постоянным (колебание ± 3 см) [1].

Некоторые ученые считают, что наблюдаемое потепление связано не с выбросом большого количества «парниковых газов», а с необычайно высоким уровнем интенсивности излучаемой Солнцем в течение почти всего прошлого века энергии. За этим потеплением последует закономерное похолодание, что подтверждается тем фактом, что верхние слои Мирового океана уже начали остывать и эпоха потепления скоро закончится [2].

Итак, все еще остается открытым вопрос: «Не может ли быть потепление климата результатом антропогенного воздействия? Или

это просто начало нового естественного цикла потепления?». Может быть, антропогенное воздействие могло спровоцировать климатический сдвиг и вызвать новый цикл потепления?

Однозначного ответа нет.

Необходимо значительное повышение научного уровня исследований всех проблем, связанных с глобальным потеплением, особенно проблем изменения солнечной активности и роста парниковых газов.

Проблема изменения климата – это сегодня не только научная, но также экономическая и политическая проблема.

Материалы и методы

При анализе климата исходными данными являются временные ряды, содержащие значения тех или иных климатических показателей (температуры, осадков, влажности и т.п.) за некий период. Очевидно, что чем длиннее ряд, тем больше информации из него можно извлечь.

В общем случае существуют две основные цели анализа временных рядов:

- (1) определение природы ряда;
- (2) прогнозирование (предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям).

Как и большинство других видов анализа, анализ временных рядов предполагает, что данные содержат систематическую составляющую (обычно включающую несколько компонент) и случайный шум (ошибку), который затрудняет обнаружение регулярных компонент. Большинство методов исследования временных рядов включает различные способы фильтрации шума,

позволяющие увидеть регулярную составляющую более отчетливо.

Большинство регулярных составляющих временных рядов принадлежит к двум классам: они являются либо трендом, либо сезонной составляющей. Тренд представляет собой общую систематическую линейную или нелинейную компоненту, которая может изменяться во времени. Сезонная составляющая – это периодически повторяющаяся компонента. Оба эти вида регулярных компонент часто присутствуют в ряде одновременно.

Традиционно для анализа данных по ходу температур в климатологии используются тренды. При этом, как правило, решается только вторая задача: предсказание будущих значений ряда. В то же время тренд ничего не говорит о том, насколько устойчив ряд. Кроме того, при построении тренда большое значение имеет выбор метода построения: обычная ли средняя, скользящая средняя и т.п. Результаты, полученные разными методами, могут значительно различаться. Проиллюстрируем вышесказанное на примере трендового анализа хода температур (данные по [3]).

Как видим (рис. 1), результаты трендового

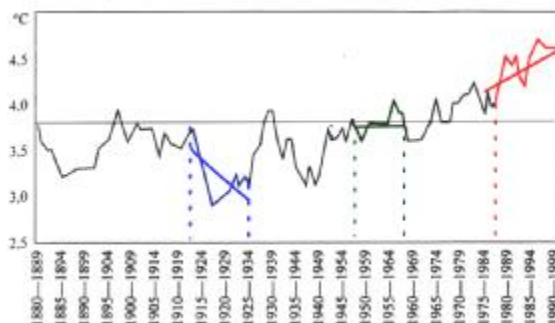


Рис. 1. Скользящие 10-летние средние значения годовой температуры воздуха (°C) Нижегородской области по данным О.Д. Моковой (2005) с

анализа сильно зависят от момента начала наблюдения. Так, если избрать период 1910–1934 гг., то можно делать вывод о похолодании, в период 1945–1970 гг. – о стабильности обстановки, с 1990 по 2000 гг. – о резком потеплении.

Таким образом, классические методы анализа являются малоинформативными и имеют много методологических ограничений к применению.

В последнее время широкое распространение получил анализ временных рядов с использованием фрактальной идеологии. Предполагается, что временной ряд на некоем интервале масштабов самоподобен, и,

как следствие, процессы, идущие в настоящий момент, определялись предыдущими состояниями. Причём не только непосредственно предшествующими (как в марковских цепях), а процессами, происходившими достаточно давно относительно настоящего момента.

Способов исследования фрактальных временных рядов существует достаточно много [4]. В данной работе используется метод, предложенный Бенуа Мандельбротом и базирующийся на исследованиях английского учёного Хёрста. В его основе лежит анализ размаха параметра (наибольшего и наименьшего значения на изучаемом отрезке) и среднеквадратичного отклонения [5].

Ряд $x(t)$ разделяется на набор неперекрывающихся отрезков длиной n . Для каждого разбиения считается функция $X(t, n)$:

$$X(t, n) = \sum_{k=1}^t [x(k) - \bar{x}],$$

где \bar{x} – среднее значение для каждого интервала. Далее рассчитывается размах R как разница между максимальным и минимальным значением $X(t, n)$ для каждого разбиения:

$$R = \max_{1 \leq t \leq n} X(t, n) - \min_{1 \leq t \leq n} X(t, n).$$

Далее, полученный размах R делится на стандартное отклонение S для каждого разбиения, и полученный набор величин усредняется для всех разбиений. Получаем функцию $\overline{R/S}(n)$.

Изучая динамику разливов Нила, Хёрст экспериментально показал, что:

$$\overline{R/S} \propto n^H,$$

где H – показатель Хёрста.

Впоследствии оказалось, что многие другие природные явления хорошо описываются этим законом. Оказывается, временные последовательности измерений таких величин, как температура, сток рек, количество осадков, толщина колец деревьев или высота морских волн, можно исследовать методом нормированного размаха или методом Хёрста.

Временные последовательности, для которых H больше 0.5, относятся к классу персистентных – сохраняющих имеющуюся тенденцию. Если приращения были положительными в течение некоторого времени в прошлом, то есть происходило увеличение, то и впредь в среднем будет происходить увеличение. Таким образом, для процесса с $H > 0.5$ тенденция к увеличению в прошлом

означает тенденцию к увеличению в будущем. И наоборот, тенденция к уменьшению в прошлом означает, в среднем, продолжение уменьшения в будущем. Чем больше H , тем сильнее тенденция.

При $H = 0.5$ никакой выраженной тенденции процесса не выявлено, и нет оснований считать, что она появится в будущем.

Случай $H < 0.5$ характеризуется антиперсистентностью – рост в прошлом означает уменьшение в будущем, а тенденция к уменьшению в прошлом делает вероятным увеличение в будущем. И чем меньше H , тем больше эта вероятность. В таких процессах после возрастания переменной обычно происходит её уменьшение, а после уменьшения – возрастание.

Одним из преимуществ метода размаха является малая чувствительность к длине ряда, что позволяет определять показатель H даже для коротких рядов.

Результаты и их обсуждение

Нами были исследованы ряды со средними годовыми температурами за период 1924–2004 гг. для г. Нижнего Новгорода.

Если анализировать данные тренда (рис. 2), то получаем, что за 100 лет прирост среднегодовой температуры должен был составить 1.4 градуса, что расходится с реально имеющимися данными. В то же время показатель H , полученный для того же ряда, составляет 0.51, что говорит, что ряд является слабо персистентным.

Объяснение столь высокому значению угла наклона тренда можно найти, если проводить анализ не по годовым значениям температуры, а анализировать изменения среднемесячной температуры за весь обследуемый период (рис. 3).

В зимние месяцы наблюдается устойчивое ($H = 0.53$) повышение (на 3.7 градуса за 100 лет)

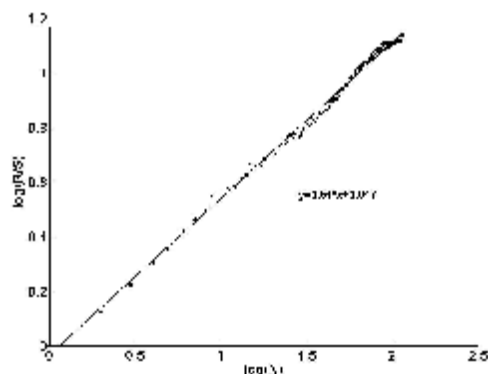
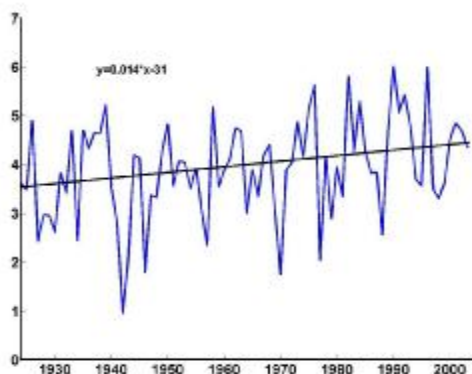
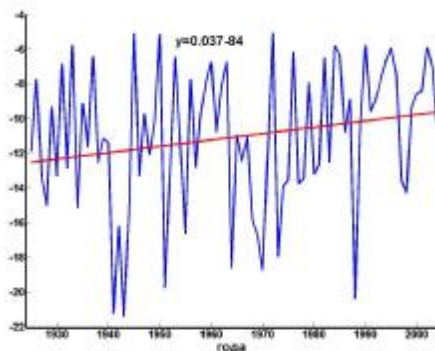
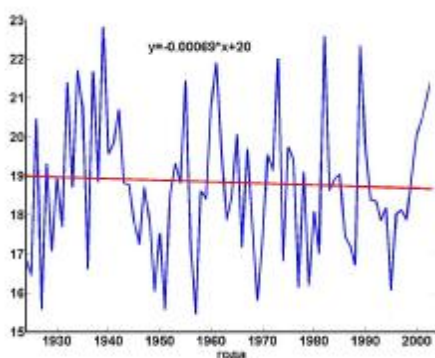
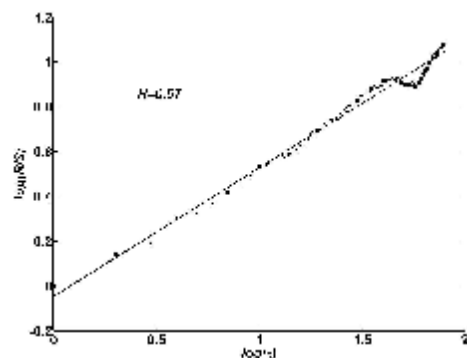


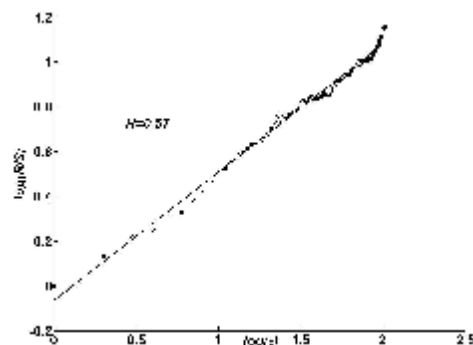
Рис. 2. Тренд средних годовых температур и значение показателя H за период 1924–2004 гг.



а



б



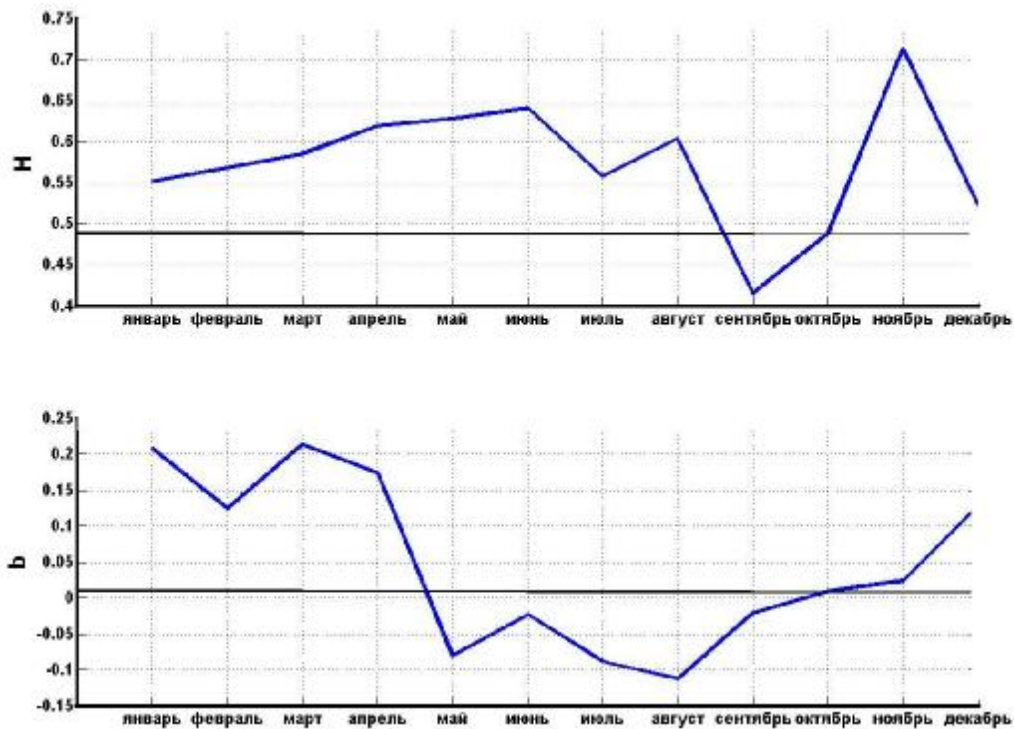


Рис. 4. Динамика показателя H и угла наклона тренда по месяцам за период 1924–2004 гг.

среднемесячной температуры, а в летние – устойчивое ($H = 0.57$) её понижение (на 0.07 градуса за 100 лет). И в целом за год трендовый анализ выдаёт повышение температуры, которое объясняется вкладом зимних месяцев. Если рассчитать, как меняется значение угла наклона прямой тренда и значения H в течение года (по месяцам), то можно увидеть, что в зимние периоды угол наклона > 0 и становится отрицательным в летний период (рис. 4).

Используя данные, полученные с помощью обоих подходов (классического и фрактального), можно сделать вывод, что на сегодняшний день ситуация в регионе по климату нижеследующая: наблюдается устойчивое повышение зимних температур и устойчивое понижение летних. Т.е. в перспективе можно ожидать нивелирования разницы между зимними и летними периодами.

Список литературы

1. Терез Э.И. Устойчивое развитие и проблемы изменения глобального климата Земли // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2004. – Т. 17(56), № 1. – С. 181–205.
2. <http://www.rian.ru/science>.
3. Мокеева О.Д. К вопросу об изменении климата. Вековой ход средней температуры воздуха и сумм осадков по Нижнему Новгороду // Конгресс международного научно-промышленного форума «Великие реки» 1999–2004 гг. «Проблемы гидрометеорологии и мониторинг окружающей природной среды в бассейнах великих рек». – С.-Петербург, 2005. С. 333–335.
4. Delignieres D. et al. // Journal of Mathematical Psychology – 2006. – V. 50. – P. 525–544.
5. Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M. Long-term storage: An experimental study. – L.: Constable, 1965.

FRACTAL ANALYSIS OF CENTURY-LONG VARIATIONS IN THE AVERAGE AIR TEMPERATURE IN NIZHNI NOVGOROD

L.A. Solntsev, D.I. Iudin, M.S. Snegireva, D.B. Gelashvili

We analyze variations in the air temperature in Nizhni Novgorod over the last 100 years using fractal analysis techniques. Our results are compared with the data obtained by using traditional methods of analysis. It is shown that the use of fractal methods allows one to study the time-series persistence, which is beyond the capabilities of the traditional methods.