

УДК 551.510.53

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ ДЛЯ
АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЯДОВ ДАННЫХ**

Доктор. хим. наук

И.Э. Сулейменов

Н.Е. Кахбанбаева

Т.А. Форменканов

К.И. Сулейменова

На основе рядов температурных данных, относящихся ко всем регионам бывшего СССР, показано, что долгопериодные колебания температуры обладают выраженной частотной модуляцией, т.е. продолжительность года по отношению к вариациям температуры не совпадает с астрономическим значением, изменяясь в пределах от 11,5 до 12,5 месяцев.

В [3, 7] на основании анализа ряда температурных данных в Алматы за последние 90 лет было показано, что колебания температуры обладают выраженной частотной модуляцией, т.е. продолжительность года по отношению к вариациям температуры может изменяться в пределах от 11,5 до 12,5 месяцев. В данной работе этот вывод подтвержден на основании анализа температурных рядов данных в других географических точках бывшего СССР.

В работе использованы суточные данные по температуре воздуха в 9 различных географических точках бывшего СССР. Используются данные, предоставляемые международным центром данных (Росгидромет). Зависимость среднесуточных значений температуры от времени [2] представляет собой колебание с периодом очень близким к продолжительности одного года, заведомо модулированное по амплитуде.

Анализ спектров таких колебаний, произведенный в многочисленных работах, в частности, в [2] позволяет с высокой степенью надежности выделить воздействие различного рода периодических факторов (вращения Солнца вокруг общего центра тяжести Солнце-Юпитер, синодические колебания Марса и т.д.). Однако возможности выявления кратковременных воздействий остаются ограниченными. Задача осложняется также тем, что основная гармоника в спектре колебаний температуры имеет домини-

рующую амплитуду, причем метод вычитания основной гармоники может привести к заметным ошибкам, если ее частота непостоянна во времени.

Метод фазовых портретов, предложенный в [4,5], основывается на хорошо известном в физике нелинейных процессов факте [6]. А именно, в важном частном случае, когда колебание является строго гармоническим

$y = y_0 \cos(\omega t)$, фазовый портрет представляет собой эллипс, поскольку в каждый момент времени значения функции и её производной

$$\frac{dy}{dt} = -y_0 \omega \sin(\omega t)$$

связаны между собой соотношением

$$\omega^2 (y(t))^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = (\omega y_0)^2, \quad (1)$$

которое представляет собой уравнение эллипса.

Фрагмент фазового портрета первого порядка для зависимости температуры от времени представлен на рис. 1 на примере колебаний температуры в г. Москва. По оси абсцисс отложена среднелегальные значения температуры, по оси ординат - ее производная по времени. Этот рисунок хорошо отвечает фазовому портрету гармонического колебания, совершаемого, например, маятником (получаемый при этом эллипс подробно рассматривается в подавляющем большинстве руководств по нелинейной физике [6]).

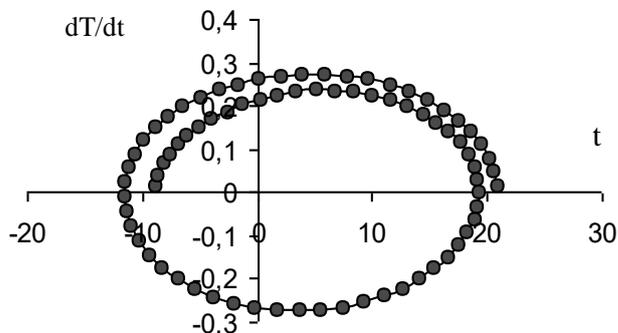


Рис. 1. Фазовый портрет колебаний температуры первого порядка, построенный по годичным наблюдениям в г. Москве.

Производные рассчитывались по фильтрованным зависимостям температуры от времени. Использовалась численная процедура фильтра-

ции, описанная в [7], сводящаяся к численному вычислению интеграла свертки. На представленном рисунке изменение размеров эллипса отвечают амплитудной модуляции рассматриваемого колебания, а изменение отношения длин их осей (деформация эллипса) - частотной. Таким образом, возникает принципиальная возможность отдельно осуществить частотную и амплитудную демодуляцию колебания, отыскивая для каждого эллипса (в рассматриваемом случае для каждого года наблюдений) свое значение частоты и свое значение амплитуды.

Более того, отталкиваясь от аналогии с методом скользящих средних (этот метод получил очень широкое распространение не только в геофизике, но и в экономике и эконометрике), можно получить действующее значение частоты колебания для, например, каждого года, строя эллипс по последовательности пятидесяти трех точек, центральная из которых отвечает выбранному году.

Однако проводить конкретные расчеты, вычисляя отношение осей эллипса, не очень удобно. Более простой метод можно предложить, рассматривая фазовый портрет второго порядка. Это построение представляет собой график, на котором по оси абсцисс отложено значение функции (в данном случае - температуры), а по оси ординат - значения ее второй производной в соответствующий момент времени.

Предположим, что на выделенном отрезке времени рассматриваемое колебание приближенно является гармоническим. Тогда оно представимо в виде

$$A = A_0 \cos(\omega t + \varphi) + B, \quad (2)$$

причем значения амплитуды, частоты и фазы приближенно являются постоянными. Тогда, вторая производная функции (2) дается, очевидно, формулой:

$$\frac{d^2 A}{dt^2} = (\omega)^2 A_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

Исключая из записей (2) и (3) переменную t , получаем, что вторая производная в рассматриваемом случае зависит линейно от значения динамической переменной A :

$$\frac{d^2 A}{dt^2} = f(A) = \omega^2 (A - B), \quad (4)$$

причем тангенс угла наклона этой прямой в точности равен квадрату циклической частоты.

Данный вывод иллюстрирует рис. 2, на котором представлена зависимость второй производной температуры от самого значения температуры для того же отрезка наблюдений, что и для рис. 1.

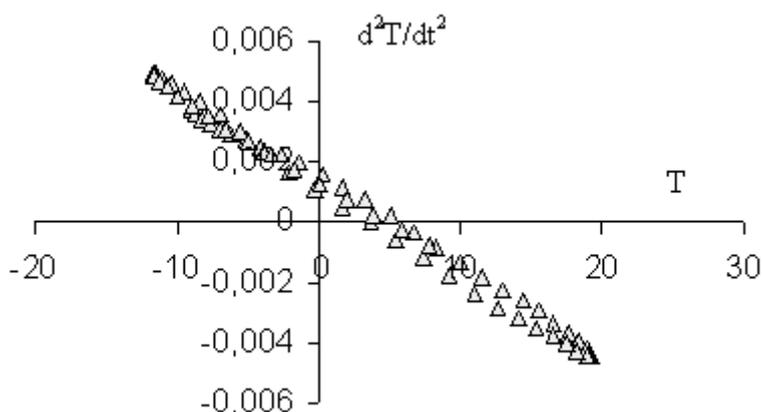


Рис. 2. Фазовый портрет второго порядка, построенный по результатам годовых наблюдений в г. Москве.

Видно, что для фиксированного года точки с высокой точностью ложатся на одну прямую. Вычисляя тангенс угла наклона этой прямой, можно отыскать действующее значение периода колебаний, отвечающее выбранному году. Однако при построении полного фазового портрета за 50-летние наблюдения наблюдается заметный разброс, что и отвечает тому факту, что "продолжительность года по погоде" не является постоянной.

Фазовый портрет второго порядка, пример которого представлен на рис. 2, позволяет отыскать значение частоты, действующей в данный период времени, проводя прямую по полученным точкам. Значения тангенса угла наклона прямой рассчитывалось численно, по формуле, вытекающей из метода наименьших квадратов:

Примеры результата вычисления периода колебаний, действующего по отношению к заданному году, т.е. пересчитанное значение периода,

представлены на рис. 3, на котором показана зависимость действующего значения периода λ колебаний температуры от времени. Действующее значение для каждого месяца вычислялось по 53 точкам на основании аналогии с методом скользящих средних. На рис. 3 представлены данные, полученные по результатам усреднения для всех проанализированных географических точек (Москва, Учарал, Красноярск, Тбилиси, Феодосия, Ужгород, Анадырь, Кушка, Магадан).

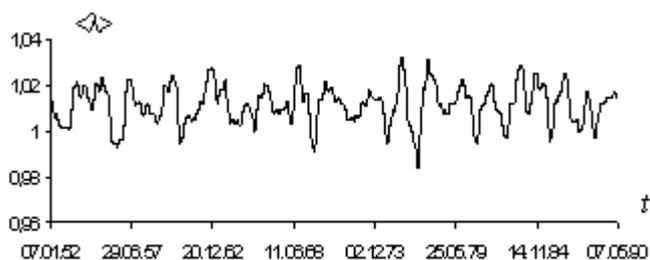


Рис. 3. Зависимость действующего значения периода колебаний температуры от времени, полученная усреднением по 9 географическим точкам (Москва, Учарал, Красноярск, Тбилиси, Феодосия, Ужгород, Анадырь, Кушка, Магадан).

Видно, что действующее значение периода колебаний температуры действительно характеризуется заметным разбросом (до 10%, считая от минимально возможного значения до максимального). Можно сказать, что эффективная продолжительность года (если иметь в виду погоду, а не астрономический год) изменяется от 11,5 до 12,5 месяцев.

Видно также, что вариации действующего значения периода колебаний температуры сами представляют квазипериодический процесс, к которому снова можно применить как предложенный в работе метод фазовых портретов второго порядка, так и обычный спектральный анализ.

В настоящей работе были получены численные спектрограммы колебаний, примеры которых представлены на рис. 4 для всех перечисленных выше городов.

Сопоставление спектров для городов Тбилиси, Феодосия, Учарал, проводимое в широком спектральном интервале (рис. 4), показывает, что указанные спектры действительно носят однотипный характер, причем

обращает на себя внимание существование трех полос, относящихся к примерно одинаковым спектральным областям. Аналогичное поведение демонстрируют также спектры, полученные и для других городов

Исходя из аналогии с результатами [3], допустимо предположить, что наиболее интенсивные пики в спектре вариаций продолжительности периода годовых колебаний как раз отвечают гармоникам, кратным частоте вращения Солнца вокруг общего центра масс системы Солнце-Юпитер.

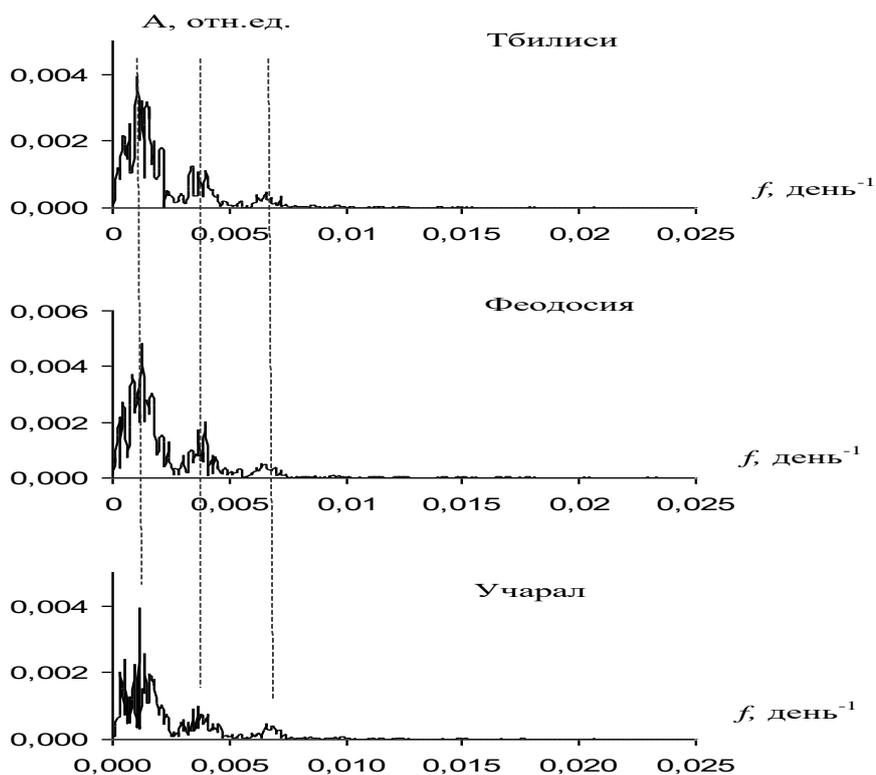


Рис. 4. Спектры колебаний действующего значения периода.

Сопоставление спектров для городов Тбилиси, Феодосия, Уचारал, проводимое в широком спектральном интервале (рис. 4), показывает, что указанные спектры действительно носят однотипный характер, причем обращает на себя внимание существование трех полос, относящихся к

примерно одинаковым спектральным областям. Аналогичное поведение демонстрируют также спектры, полученные и для других городов

Исходя из аналогии с результатами [3], допустимо предположить, что наиболее интенсивные пики в спектре вариаций продолжительности периода годовых колебаний как раз отвечают гармоникам, кратным частоте вращения Солнца вокруг общего центра масс системы Солнце-Юпитер.

Представляется вполне оправданным, что указанное астрономическое движение проявляется в большей степени не в вариациях амплитуды годовых колебаний температуры, а в квазипериодических изменениях действующего значения продолжительности колебаний температуры.

Действительно, раз Земля совершает не строго периодическое вращение вокруг неподвижного Солнца, а более сложное движение, то и интервал времени, который можно связать с продолжительностью года по температурным условиям, также должен изменяться (т.е. отличаться от строго периодической функции).

При этом данный эффект максимально должен быть выражен по отношению именно к частотным, а не амплитудным характеристикам колебаний температуры.

Таким образом, предложенный метод фазовых портретов позволяет разделять амплитудную и частотную модуляцию колебаний температуры. Полученные результаты показывают, что эффективная продолжительность года отличается от астрономического значения, а поведение спектров действующего значения периода колебания температуры носит однотипный характер для всех регионов бывшего СССР. Это позволяет заключить, что вывод о частотной модуляции колебаний температуры астрономическими движениями носит общий характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. От маятника до турбулентности и хаоса. - М.: Наука, 1988.- С. 256.
2. Иванов В.В. Периодические колебания погоды и климата // Успехи физических наук. - 2002. - Т. 172., № 7.- С. 777-811.
3. Сулейменов И.Э., Чечин Л.М., Адамов Т.Н., Аушев В.М. Толмачев Ю.А. Физика ближнего и дальнего Космоса. Т. 1. Физика и химия атмосферы. – Алматы, 2002.- 230 с.
4. Сулейменов И. Э., Будтова Т. В., Адильбеков С. А., Переладов И. Ю., Бектуров Е. А. Применение метода фазовых портретов к ана-

лизу кинетики перераспределения концентрации ионов металлов в системе полиэлектролитный гидрогель+многокомпонентный раствор // Высокомолекулярные соединения. - 2003.- Т.46, №8.- С. 797-805.

5. Сулейменов Э.Н, Ни Л.П., Сулейменов И.Э. Характеристические точки зависимости электропроводности оксидных систем от температуры. // Доклады АН РК, 1999. - №3.- С.66-73.
6. Сулейменова К.И., Сулейменов И.Э. Полициклический характер колебания мировых цен на золото // Комплексное использование минерального сырья. - 2002.- №6. - С.33-39.
7. Suleimenova, K., Zhantayev, Zh., Suleimenov, I., Yakupova, Z. Frequency modulation of long-term temperature and pressure oscillations //Annual Meeting of European Meteorological Society, Nice, September 2004, EMS04-A-00100.

ТЕМПЕРАТУРАЛЫС САТАРЛАРДЫ САРАПТАУДА ФАЗАЛЫС ПОРТРЕТТЕР ...ДІСІН СОЛДАНУ

Хим. Ғылымд. докторы

И.Э. Сулейменов
Н.Е. Кахбанбаева
Т.А. Форменканов
К.И. Сулейменова

БҒрынҒы Кенес кезіндегі аймақтарды Ұ б., рине жатысты біржатар температуралық м., ліметтер негізінде тзај мерзімдік температура тербелістері Ұ айындаЛан жиелік модуляциясы бар екендігі кҒрінеді, яҒни температура Ғзгерістері жатысында жыл тзајтыҒы астрономиялық м., ндерге с., йкес келмейді, ж., не 11,5-12,5 айлар аралыҒында Ғзгереді.