

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ ТРЕНДА НА ПРИМЕРЕ
РЯДА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОРОНЕЖА****Л. М. Акимов, Ю. М. Фетисов***Воронежский государственный университет, Россия**Поступила в редакцию 8 апреля 2015 г.*

Аннотация: Проведен анализ многолетнего хода среднегодовой температуры города Воронежа. Представлена методика анализа тренда и его оценки.

Ключевые слова: температура, тенденция, тренд.

Abstract: The analysis of the lasting run in the average temperature in the city of Voronezh has been carried out. The technique of trend analysis and evaluation is performed.

Key words: temperature, tendency, trend.

Проблема многолетних изменений климата впервые была поставлена еще в конце 19-го столетия. С тех пор интерес к ней неуклонно возрастал. Это стало особенно заметным после того, как в общественном сознании укрепилось понимание роли климата как важного фактора окружающей среды, опасного характера наметившихся антропогенных изменений и их возможных эколого-географических, экзодинамических, социальных и других последствий. Ярким свидетельством актуальности рассматриваемой проблемы является ввод в ряде стран (Англия, США, Россия и другие) в последние десятилетия оперативных систем мониторинга текущих изменений глобального термического режима.

В работах, посвященных изучению изменения климата, исследуются, в основном, колебания во времени температуры воздуха, так как по этому элементу наиболее длинные и надежные ряды наблюдений. Накопление многолетних рядов инструментальных наблюдений дает возможность объективно проанализировать колебания климата, происшедшие за последние годы [1].

Временной ряд температуры представляет собой последовательность данных, описывающих объект в последовательные моменты времени. Анализ временных рядов основывается на предположении, что последовательные данные наблюдаются через равные промежутки времени (тогда

как в других методах привязка наблюдений ко времени была для нас неважна).

Существует две основные цели анализа временных рядов: определение природы ряда и прогнозирование, т.е. предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям. Обе цели требуют, чтобы модель ряда была определена и более или менее формально описана. Как только модель определена, с ее помощью можно интерпретировать рассматриваемые данные. Затем можно экстраполировать ряд на основе найденной модели, т.е. предсказать его будущие значения [3, 4].

Большинство регулярных составляющих временных рядов принадлежит к двум классам: они являются либо трендом, либо сезонной составляющей.

Тренд (англ. *trend* – *тенденция*) – основная тенденция изменения временного ряда. Тренды могут быть описаны различными уравнениями – линейными, логарифмическими, степенными и так далее. Фактический тип тренда устанавливают на основе подбора его функциональной модели статистическими методами либо сглаживанием исходного временного ряда.

Не существует «автоматического» способа обнаружения тренда во временном ряду. Однако, если тренд является монотонным (устойчиво возрастает или убывает), то анализировать такой ряд обычно нетрудно. Если временные ряды содержат значительную ошибку, то первым шагом выделения тренда является сглаживание. Сглаживание всегда

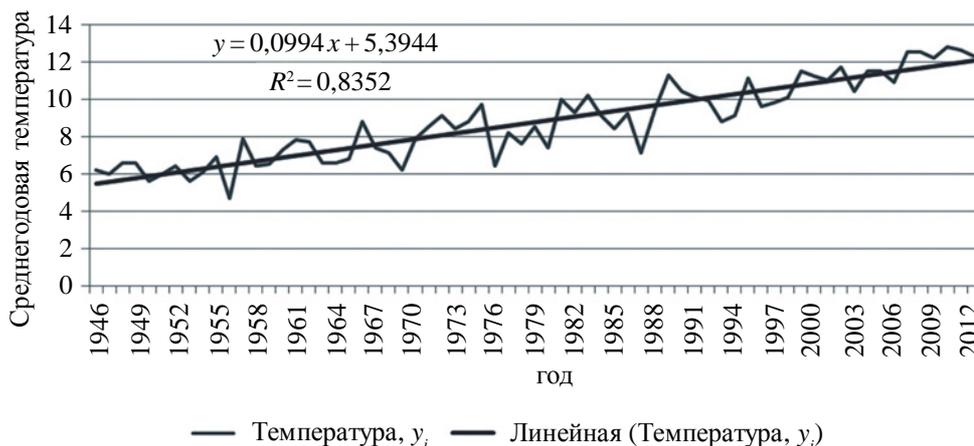


Рис. 1. Временной ход средней годовой температуры Воронежа

включает некоторый способ локального усреднения данных, при котором несистематические компоненты взаимно погашают друг друга.

Сезонная составляющая – это периодически повторяющаяся компонента. Оба эти вида регулярных компонент часто имеются в рядах одновременно.

В анализе временных рядов существуют два основных метода оценки тренда: параметрические и непараметрические.

Параметрические методы рассматривают временной ряд как гладкую функцию от t : $X(t) = f(t)$, $t=1...n$. При этом сначала выявляют один либо несколько допустимых типов функций $f(t)$; затем различными методами (например, МНК) оценивают параметры этих функций, после чего на основе проверки критериев адекватности выбирают окончательную модель тренда. Для практических приложений важное значение имеют линеаризованные тренды, то есть тренды, приводимые к линейному виду относительно параметров использованием тех или иных алгебраических преобразований.

Непараметрические – это разные методы сглаживания исходного временного ряда – скользящие средние (простая, взвешенная), экспоненциальное сглаживание. Эти методы применяются как для оценки тренда, так и для прогнозирования. Они полезны в случае, когда для оценки тренда не удается подобрать подходящую функцию.

Рассмотрим актуальную задачу: насколько надежно можно установить наличие тренда среднегодовой температуры воздуха по данным ряда температур в городе Воронеже за 1946-2012 годы (рис. 1).

Чтобы освободить параметр тренда от влияния случайного распределения положительных и отрицательных отклонений от тренда, применим методику многократного скользящего выравнивания [2]. Сущность метода многократного ско-

льзящего выравнивания заключается в следующем: чтобы избежать преимущественного влияния уровней, стоящих на концах временного ряда, следует сделать так, чтобы на «концах» побывали все уровни. Для этого следует достаточно длинный временной ряд выравнивать не в один прием, а скользящим способом с использованием дробных отрезков. При этом каждый раз вычисляется среднегодовой прирост, например, b линейного тренда. Обозначив буквой n длину каждой базы, т.е. число уровней, по которым производится расчет параметра, а число таких баз расчета, укладываемых в ряд длиной N уровней, – буквой l , получим: $n + l = N + 1$. Далее усредним полученные значения среднегодового прироста, так как в средней величине случайные значения отклонения взаимно погашаются. Ограничения данного метода: $N > 18$ и коэффициент колебания должен быть не ниже 5%.

Многократное выравнивание следует применять, если колеблемость исходных уровней достаточно существенная (коэффициент колеблемости должен быть не ниже 5%).

Для вычисления коэффициента колебания используется формула:

$$V(t) = \frac{s(t)}{\bar{y}}, \quad (1)$$

где

$$S(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}; \quad (2)$$

$S(t)$ – среднее квадратическое отклонение уровней ряда y_i от тренда (\hat{y}_i) , n – длина ряда, p – число параметров в уравнении тренда; \bar{y} – среднее значение уровней ряда.

Результаты расчетов по многократному выравниванию

№	Скользящие базы расчета, период	Среднегодовой прирост, b_i , °С
1	1946-1992	0,08994
2	1947-1993	0,08833
3	1948-1994	0,08667
4	1949-1995	0,09163
5	1950-1996	0,09208
6	1951-1997	0,08964
7	1952-1998	0,08922
8	1953-1999	0,09287
9	1954-2000	0,0929
10	1955-2001	0,09314
11	1956-2002	0,0969
12	1957-2003	0,09054
13	1958-2004	0,09533
14	1959-2005	0,09554
15	1960-2006	0,09384
16	1961-2007	0,0981
17	1962-2008	0,10316
18	1963-2009	0,10659
19	1964-2010	0,10805
20	1965-2011	0,10643
21	1966-2012	0,10585
Итого		2,00705
Среднее		0,09557

Применяя формулу (2), находим, что колеблемость характеризуется величиной $S(t) = 0,861$ градуса, $\bar{y} = 8,764$. Отсюда, воспользовавшись (1), получим $V(t) = 0,09827$, или 9,8 %.

Сделаем 21 скользящую базу расчета среднегодового прироста по 47 уровням в каждой (таблица).

Как видно из таблицы, среднегодовой прирост по скользящим базам расчета то возрастает, то снижается. Поскольку нет определенного направления тенденции изменения величины b_i , можно считать, что их различие – следствие колебаний уровней, однако в пределах единой линейной тенденции. В связи с этим допустимо усреднение значений среднегодового прироста.

Среднее среднегодовое изменение (прирост):

$$\bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^{21} b_i}{21} = \frac{2,00705}{21} = 0,0994 \text{ градусов в год.}$$

Уравнение тренда:

$$\hat{y} = 0,0994t + 5,3944.$$

Величина среднегодового прироста температуры очень мала – сотые доли градуса за год, что может свидетельствовать о его незначительности,

ненадежном отличии от нуля (о равенстве параметра \bar{b} нулю).

Средняя ошибка репрезентативности выборочного коэффициента линейного тренда определяется по формуле:

$$m_{\bar{b}} = \frac{s(t)}{\sqrt{l \sum_{i=1}^{47} (t_i - t)^2}}, \quad (3)$$

где l – число баз расчета среднего параметра.

Используя (3), имеем

$$m_{\bar{b}} = \frac{0,86121}{\sqrt{21 \times 13348}} = 0,00163 \text{ градуса.}$$

При этом t – критерий Стьюдента равен:

$$\frac{\bar{b}}{m_{\bar{b}}} = \frac{0,09557}{0,00163} = 58,6319$$

Табличное значение критерия для значимости 0,01 (вероятность нулевой гипотезы) при 65 степенях свободы вариации составляет 2,66. Полученное значение критерия много больше табличного, так что вероятность нулевой гипотезы можно считать равной нулю, а надежность того, что сред-

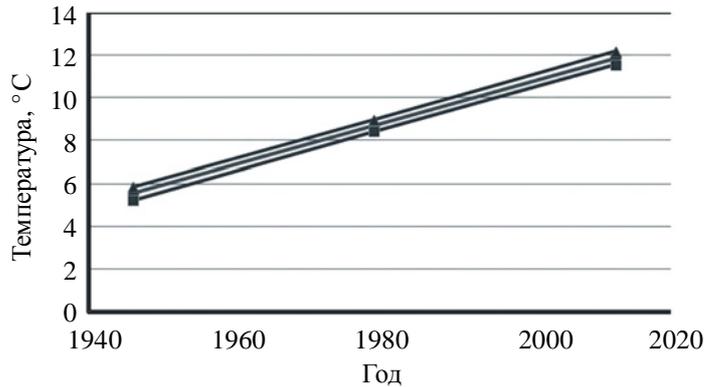


Рис. 2. Доверительные границы генерального тренда среднегодовой температуры воздуха в Воронеже

негодовая температура воздуха в городе повышается, большее 0,99. Возможные причины потепления в Воронеже объясняются не только глобальным изменением температуры по всему земному шару, но и в росте энергопотребления в самом городе.

Если уравнение тренда рассматривать как выборочное, имеющее ошибки репрезентативности своих параметров, то можно рассчитать доверительные границы, внутри которых с заданной, достаточно большой вероятностью проходит линия тренда в генеральной совокупности.

В любой точке тренда его средняя ошибка вычисляется по формуле:

$$m_{\hat{y}_m} = S(t) \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(t_m - \bar{t})^2}{l \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_d)^2}}, \quad (4)$$

где n – длина одной базы расчета тренда; l – число баз; \bar{t}_d – среднее по базе.

Пользуясь (4), рассчитаем среднюю ошибку тренда среднегодовой температуры воздуха в Воронеже:

$$m_{\hat{y}_m} = 0,861 \sqrt{\frac{1}{67} + \frac{(t_m - 34)^2}{21 \times 13348}}.$$

Для середины ряда – 1979 – средняя ошибка тренда составила 0,105. Для крайних уровней 1946 и 2012 годов средняя ошибка тренда составляет 0,118 градуса.

Таким образом, ошибка тренда возрастает от середины ряда его расчета к его краям, образуя конусообразную зону вероятных значений генерального тренда. Чем сильнее колеблемость уровней и чем меньше база расчета тренда, тем шире доверительная зона генерального тренда и тем быстрее она расширяется от середины ряда к его концам.

Границы доверительной зоны тренда среднегодовой температуры с вероятностью 0,99 изображены на рисунке 2.

На рисунке 2 наблюдается устойчивый тренд повышения температуры с небольшим разбросом среднегодовой температуры воздуха в Воронеже

Проведенный анализ временных рядов средней годовой температуры Воронежа позволил выявить устойчивый незначительный тренд температуры 0,0994 градусов в год, имеющий небольшой разброс. Представленная методика оценки тренда рядов температуры имеет большое практическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М. Многолетние изменения температуры воздуха города Воронежа во второй половине 20-го века / Л. М. Акимов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2009. – № 2. – С. 137-142.
2. Афанасьев В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Финансы и статистика, 2012. – 320 с.
3. Фетисов Ю. М. Методические основы применения компьютерных технологий в высшем профессиональном эколого-географическом образовании / Ю. М. Фетисов, С. А. Куролап, Ю. А. Нестеров // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 205-209.
4. Фетисов Ю. М. Методы регрессионного и корреляционного анализа в географии и геоэкологии : учебно-методическое пособие / Ю. М. Фетисов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 48 с.

REFERENCES

1. Akimov L. M. Mnogoletnie izmeneniya temperatury vozdukhа goroda Voronezha vo vtoroy polovine 20-go veka / L. M. Akimov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvenno-

go universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2009. – № 2. – S. 137-142.

2. Afanas'ev V. N. Analiz vremennykh ryadov i prognozirovanie / V. N. Afanas'ev, M. M. Yuzbashev. – 2-e izd., pererab. i dop. – Moskva : Finansy i statistika, 2012. – 320 s.

3. Fetisov Yu. M. Metodicheskie osnovy primeneniya komp'yuternykh tekhnologiy v vysshem professional'nom ekologo-geograficheskom obrazovanii / Yu. M. Fetisov,

S. A. Kurolap, Yu. A. Nesterov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 1. – S. 205-209.

4. Fetisov Yu. M. Metody regressionnogo i korrelyatsionnogo analiza v geografii i geoekologii : uchebno-metodicheskoe posobie / Yu. M. Fetisov. – Voronezh : Izdatel'skiy dom VGU, 2014. – 48 s.

Акимов Леонид Мусамудинович

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail: akl63@bk.ru, deanery@geogr.vsu.ru

Фетисов Юрий Михайлович

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: deanery@geogr.vsu.ru

Akimov Leonid Musamudinovich

PhD in Geography, Associate Professor, professorate of nature management, Department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail: akl63@bk.ru, deanery@geogr.vsu.ru

Fetisov Yuri Mikhailovich

PhD in Physics and Mathematics, assistant professor of the chair of nature management, Department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: deanery@geogr.vsu.ru