

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МНОГОЛЕТНЕГО РЯДА ТЕМПЕРАТУРЫ В ЦЕЛЯХ РАЗРАБОТКИ СВЕРХДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА

Л. М. Акимов, Т. Н. Задорожная

Воронежский государственный университет, Россия
Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского
и Ю. А. Гагарина», Россия

Поступила в редакцию 30 апреля 2014 г.

Аннотация: В статье на основе расчета автокорреляционных функций выявлены структурные особенности временных рядов температуры. Для всех календарных месяцев установлено наличие 17-19-летней волны с 11-летним периодом положительной и отрицательной корреляции. Показана возможность прогноза температуры на год и более длительный период.

Ключевые слова: среднемесячная температура, северное полушарие, автокорреляция, прогноз, ошибки.

Abstract: Structural features of the time series of temperature are revealed on the basis of the calculation of the autocorrelation functions. All calendar months have 17-19 year old wave with the 11-year period of positive and negative correlation. The possibility of temperature forecast for the year and over a longer period has been shown.

Key words: the average monthly temperature, the northern hemisphere, autocorrelation, forecast, errors.

Существенной характеристикой окружающей среды является температура воздуха, с которой связаны многие опасные явления погоды. Продолжительные периоды с аномально высокими температурами в летний сезон, а также аномально низкие температуры воздуха в холодный период, оказывают негативное воздействие (прямое или опосредованное) на качественное выполнение планируемых народно-хозяйственных задач. Вот почему выработка подходов к прогнозу температурного режима, особенно на длительные сроки, является задачей чрезвычайно актуальной.

Несмотря на значительный прогресс в разработке метеорологических прогнозов погоды различной заблаговременности, долгосрочные и сверхдолгосрочные прогнозы базируются, в основном на климатических показателях, которые в случае отсутствия методического прогноза могут быть полезными в качестве предварительных рекомендаций. Однако, недостатком климатического прогноза является невозможность предсказания глобальных и региональных колебаний погодных условий.

Дополнить климатическую информацию могут помочь знания о динамических особенностях в ходе многолетних метеорологических рядов, которые, как правило, имеют скрытые периодичности, обусловленные различными внешними и внутренними факторами.

В данной статье изучению динамики временной структуры подвергались ряды среднемесячной температуры воздуха $T_m(t)$ сглаженные по всему северному полушарию. Информационной базой служили данные о температуре воздуха на поверхности 1000 гПа с шагом регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ по всему северному полушарию, полученные с серверов Мирового банка данных реанализов R-1 и R-2 (NCAR/NCAR и NCAR/DOE) [6, 7] за период с 1958 по 2011 годы.

Исходные ряды составлялись из одноименных календарных месяцев. В качестве инструмента по выявлению скрытых периодичностей использовалась автокорреляционная функция $r^m(t)$. По сути, такая функция характеризует структуру и динамику развития процесса во времени. Поэтому параметры функции могут быть весьма полезными при анализе меняющихся во времени величин, а, сле-

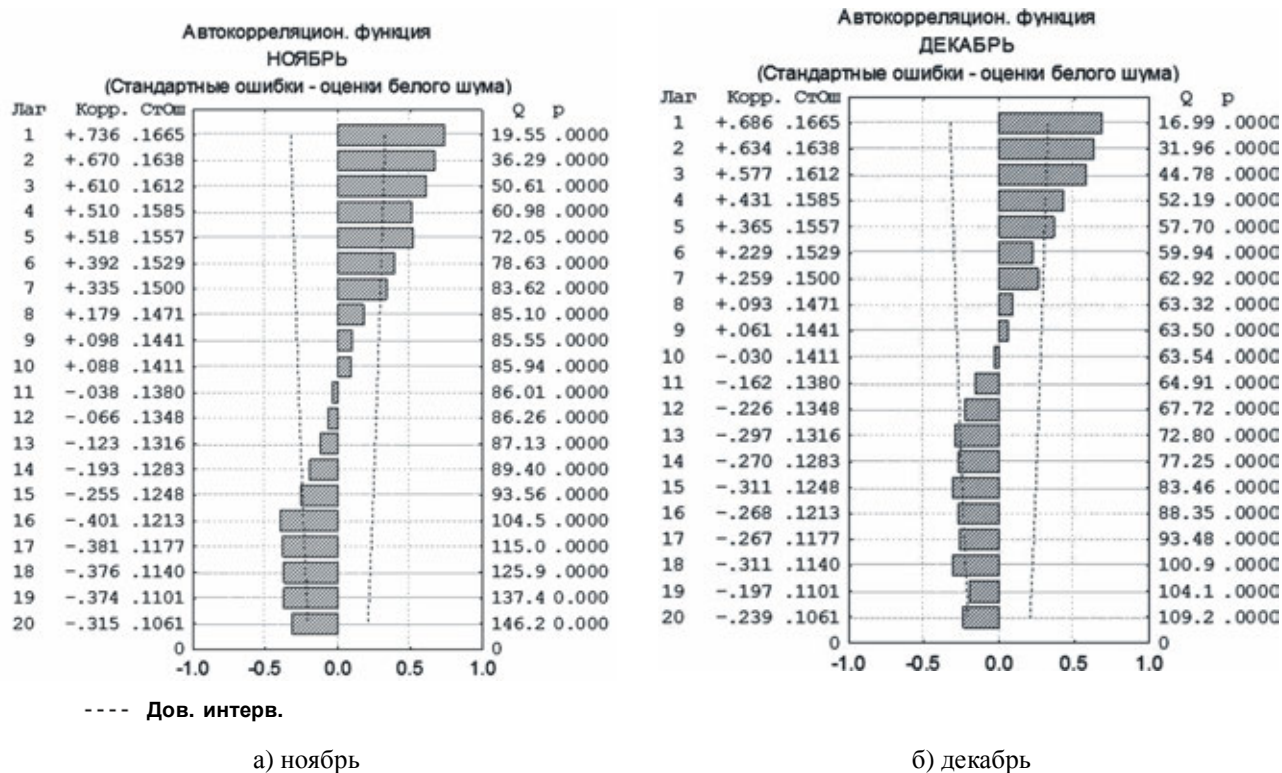


Рис. 1. Автокорреляционные функции температуры воздуха северного полушария (уровень 1000 гПа)

довательно, и в прогностических целях. Расчет ее проводился по формуле:

$$r_{D\tilde{T}^m}^m(t) = \frac{\sum_{t=1}^{N-t-1} D\tilde{T}_t^m D\tilde{T}_{(t+t)}^m}{(N-t-1)s_{D\tilde{T}^m}^2}, \quad (1)$$

где $r^m(t)$ – автокорреляционная функция, зависящая от временного сдвига t , равного 1 году; m – порядковый номер календарного месяца; $D\tilde{T}_t^m$ – аномалия температуры воздуха в момент времени t ; s – среднее квадратическое отклонение температуры воздуха для конкретного календарного месяца; N – объем выборки.

В данном случае автокорреляционная функция показывает степень зависимости между сечениями аргумента, показателем которого выступают координаты времени. Практически автокорреляционная функция характеризует общую зависимость значений параметров в некоторый фиксированный момент времени t от их значений в предшествующий момент $(t-t)$ [1, 2].

Рассчитываемая корреляционная функция показывает степень зависимости будущих значений температуры от предшествующих, относящихся к различным сдвигам t . Чем выше уровень коэффициентов корреляции, тем в большей степени связаны между собой отдельные сечения или зна-

чения одной реализации, и тем в большей степени выявляются тенденции и преемственность в развитии рассматриваемого процесса.

Учитывая требованиям статистики [4], количество использованных сдвигов в данном исследовании составило 20 лет. С целью достоверности рассчитанных коэффициентов автокорреляции вычислялись средние квадратические отклонения s_r , характеризующие случайную составляющую в значениях ординат $r(t)$ по формуле:

$$s_r = \frac{1 - [r(t)]^2}{\sqrt{N-t-1}}, \quad (2)$$

где r – автокорреляционная функция; t – сдвиг по времени; N – длина выборки.

Анализ автокорреляционных функций показал, что во всех календарных месяцах имеет место четкая периодичность в смене знака связи. Особенно ярко это проявляется в месяцах второй половины года.

На рис. 1 представлены автокорреляционные функции для ноября и декабря.

Из рисунка видно, что в течение продолжительного промежутка времени имеют место положительные автокорреляционные связи. Максимальная величина этих связей, отмечается на первых сдвигах по времени. В последующие годы поло-

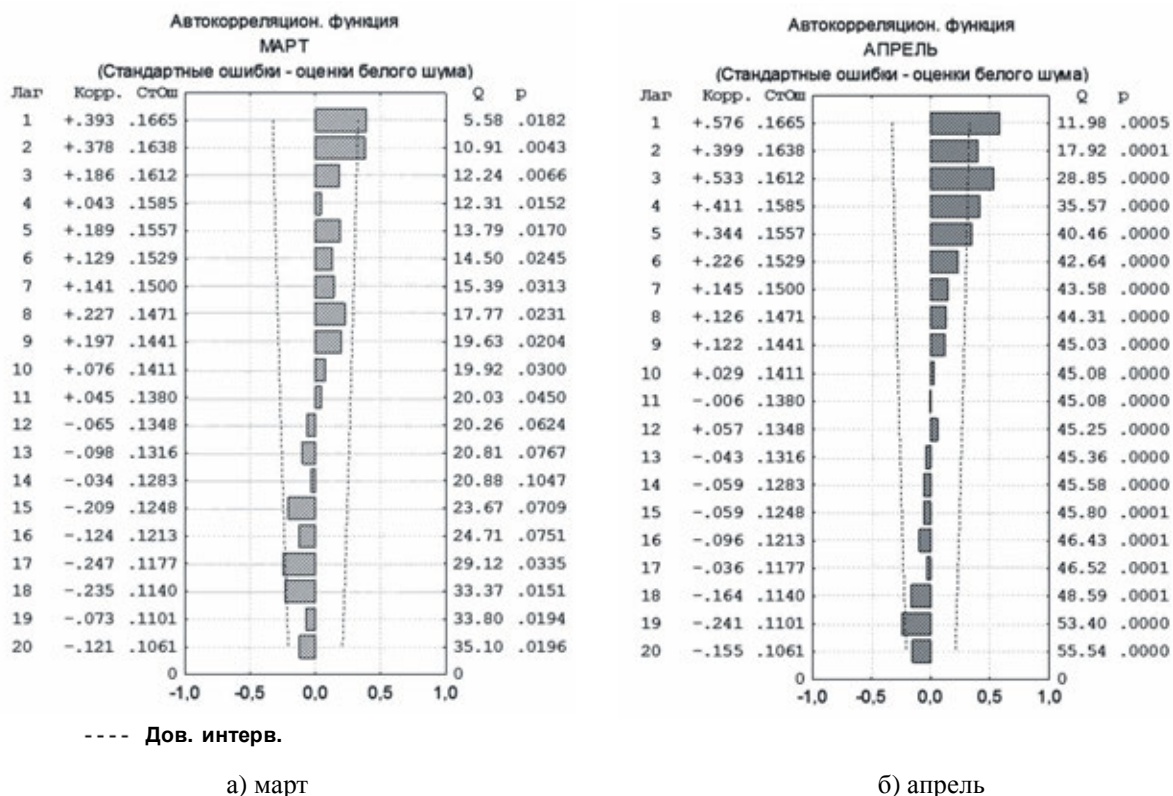


Рис. 2. Автокорреляционные функции (март, апрель, уровень 1000 гПа)

жительные значения коэффициентов автокорреляции, оставаясь значимыми еще в течение некоторых сдвигов по времени, монотонно уменьшаются, минимум связей с нулевыми показателями приходится на $t = 11$ лет. Значимые коэффициенты достигают 5-7 месяцев. Это свидетельствует о том, что значения температуры воздуха внутри рядов одноименных месяцев на некотором временном интервале связаны между собой, то есть имеет место инерция, степень которой со временем уменьшается. В зависимости от времени года продолжительность инерции может различаться.

Начиная, примерно с 12 сдвига, величина коэффициентов автокорреляции снова растет, но уже с обратным знаком, также монотонно увеличивая величину $r(t)$, достигая максимума в среднем на сдвиге 18-19 лет.

Для сравнения на рис. 2 приведены автокорреляционные функции, полученные по данным временных рядов весенних месяцев марта и апреля.

Как следует из рис. 2, в месяцах первой половины года описанная выше структура временных рядов также имеет место, однако, она менее четко выражена и уровень связей ниже. Имеет место периодическая функция, хотя величины коэффициентов корреляции не велики. В марте, автокорреляционная функция, представленная на рис. 2а,

достигает уровня значимости на первых сдвигах. На последующих шагах по времени она сохраняет положительный знак связи, но величина находится на уровне случайных, меняя знак функции на сдвиге в $t = 11$ лет на противоположный. Начиная с этого уровня, коэффициенты корреляции снова начинают монотонно расти, приобретая отрицательный знак. Экстремальные отрицательные значения достигаются на $t = 17-18$ лет. Таким образом, имеет место многолетняя знакопеременная ритмичность, близкая к периоду в среднем 18 лет.

Характерные особенности в структуре среднемесячной температуры, обнаруженные для марта, также проявляются и в апреле, автокорреляционная функция которого представлена на рис. 2б. Как видно из рисунка, в апреле, по сравнению с мартом, установленная выше периодичность выражена более отчетливо, уровень коэффициентов автокорреляции для большинства сдвигов значительно вырос.

Следует обратить внимание на то, что для данного месяца значимая положительная инерция наблюдается в течение пяти последовательных сдвигов с последующим понижением уровня корреляции также до $t = 11$ лет включительно. В данном месяце хорошо выражен максимум значимой отрицательной связи на сдвиге $t = 19$ лет.

Инерционно-климатические прогнозы среднемесячной температуры воздуха для различных календарных месяцев и оценки их успешности ($t = 1$)

| п/п | Календарный месяц | Вид уравнения регрессии | Ошибка прогноза $ d $ °С |
|-----|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 | январь | $T_{q+1}^1 = 0.3T_q + 0,97$ | 0,13 |
| 2 | февраль | $T_{q+1}^2 = 0.19T_q^2 + 1,43$ | 0,48 |
| 3 | март | $T_{q+1}^3 = 0.43T_q^3 + 2,1$ | 0,13 |
| 4 | апрель | $T_{q+1}^4 = 0.6T_q^4 + 3,09$ | 0,03 |
| 5 | май | $T_{q+1}^5 = 0.58T_q^5 + 5,1$ | 2,7 |
| 6 | июнь | $T_{q+1}^6 = 0.51T_q^6 + 7,95$ | 2,1 |
| 7 | июль | $T_{q+1}^7 = 0.64T_q^7 + 6,52$ | 0,2 |
| 8 | август | $T_{q+1}^8 = 0.58T_q^8 + 7,3$ | 1,3 |
| 9 | сентябрь | $T_{q+1}^9 = 0.7T_q^9 + 4,32$ | 3,5 |
| 10 | октябрь | $T_{q+1}^{10} = 0.7T_q^{10} + 3,04$ | 1,1 |
| 11 | ноябрь | $T_{q+1}^{11} = 0.75T_q^{11} + 1,4$ | 0,4 |
| 12 | декабрь | $T_{q+1}^{12} = 0.71T_q^{12} + 0,64$ | 0,7 |
| | средняя ошибка | | 1,1 |

В результате проведенного анализа автокорреляционных функций для рядов среднемесячной температуры воздуха на поверхности 1000 гПа, осредненной по всему северному полушарию, были выявлены следующие закономерности.

1. Практически для всех календарных месяцев в распределении коэффициентов автокорреляции присутствует однородная волновая структура в виде хорошо выраженной синусоиды с периодом от 17 до 19 лет, хотя в месяцах первой половины года она несколько сглажена. Наиболее четко это проявляется в осенних месяцах и начале зимы (с сентября по декабрь). Наличие однородной структуры в различных календарных месяцах, указывает на то, что в динамике временных рядов среднемесячной температуры принимает участие глобальный фактор.

2. Обнаруживается наличие значимой положительной автокорреляции со значимыми величинами коэффициентов корреляции на нескольких первых сдвигах по времени с последующим монотонным уменьшением их уровня до $t = 11$ лет.

Такая устойчивая закономерность, просматриваемая отчетливо практически во всех календарных месяцах, предположительно может быть связана с влиянием солнечной активности, обладающей помимо 11-летнего цикла, 22-летней пе-

риодичностью, обнаруженной в работе [3]. Такая цикличность выражается в том, что в течение первой половины цикла (11 лет) полярность ведущего пятна в экваториальной зоне Солнца имеет положительный заряд, а в течение второй половины – отрицательный. В связи с этим, может меняться и характер температуры в северном полушарии. 22-летняя цикличность была замечена и в поведении некоторых других гидрометеорологических параметров [1].

3. Во временных рядах, составленных из значений температуры воздуха одноименных месяцев, наблюдается хорошо выраженная межгодовая положительная инерция. Длительность значимой инерции, в зависимости от календарного месяца, может достигать от двух лет в марте до семи лет – в ноябре. Инерция имеет место и в отрицательном периоде, особенно ярко она выражена в ноябре, где составляет около пяти лет, хотя уровень значимости отрицательных коэффициентов автокорреляции по сравнению с положительной ниже.

Наличие перечисленных особенностей в динамике временного хода во всех календарных месяцах может указывать на то, что они не являются случайными и, при отсутствии методического прогноза, могут быть полезными в качестве прогностических рекомендаций для разработки инерцион-

но-климатического прогноза с заблаговременностью на несколько лет вперед.

Как уже отмечалось выше, наибольшие значения коэффициентов автокорреляции обнаружены при сдвиге. Особенно четко это проявилось в ноябре, где коэффициенты автокорреляции r достигают величины 0,74, что при данной длине выборке и 95 % доверительном интервале, значительно выше случайного нуля. В связи с этим мы в данной статье сделали попытку разработать прогноз температуры для всех календарных месяцев с заблаговременностью в один год ($t = 1$ год). Вид линейных уравнений регрессии и их абсолютные ошибки представлены в таблице.

Ошибка прогностических уравнений оценивалась с помощью средней абсолютной ошибки $|d|$, чем меньше ее значение, тем точнее прогноз. Из таблицы следует, что средняя ошибка прогноза средней месячной глобальной температуры воздуха составляет $1,1^\circ\text{C}$, что свидетельствует о достаточной успешности данной методики. Менее успешными являются прогнозы на май и сентябрь, их ошибки достигают $2,7$ и $3,5^\circ\text{C}$ соответственно.

Достоинством данного подхода является простота расчетов. Прогноз разрабатывается только на основе внутренней структуры исходного ряда и не требуется дополнительной информации. Он может быть использован в качестве предварительных

рекомендаций при планировании соответствующих мероприятий, в том случае, если предикторы для разработки методического прогноза не выявлены или информация о них отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М. Выявление циклических колебаний во временном ходе условий увлажнения Воронежа / Л. М. Акимов // Аридные экосистемы. – 2013. – Т. 19, № 4 (57). – С. 59-63.
2. 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. – № 1. – С. 137-142.
3. Дмитриев Ю. П. Солнечная активность и изменчивость метеорологического режима / Ю. П. Дмитриев // Солнечные данные. – 1972. – Бюл. № 2. – С. 107-115.
4. Исаев А. А. Статистика в метеорологии и климатологии / А. А. Исаев. – Москва : Изд-во Московского государственного университета, 1988. – 248 с.
5. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард; пер. с англ. В. С. Занаворова. – Москва : Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
6. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) / M. Kanamitsu [et al.] // Bull. American Meteor. Soc. – 2002. – Vol. 83. – P. 1631-1643.
7. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project / E. Kalnay [et al.] // Bull. American Meteor. Soc. – 1996. – Vol. 77. – P. 437-471.

Акимов Леонид Мусамудинович
кандидат географических наук, доцент Воронежского государственного университета, г. Воронеж,
т. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail: akl63@bk.ru,
root@geogr.vsu.ru

Задорожная Тамара Николаевна
кандидат географических наук, доцент Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации – ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, т. (473) 222-99-07

Akimov Leonid Musamudinovitch
Candidate of Geographical Sciences, associate professor,
Head of the chair of nature management, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8-951-850-49-82, (473) 266-56-54,
E-mail: akl63@bk.ru, root@geogr.vsu.ru

Zadorozhnaya Tamara Nikolayevna
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of Military Educational and Scientific Centre of the Air Force, «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin» (Voronezh) of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Voronezh, tel. (473) 222-99-07