

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

УДК 551.58
ББК 26.237

В.Н. Малинин, Д.А. Гурьянов

К ОЦЕНКЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СЕЗОНОВ ГОДА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Рассматривается изменчивость климатических сезонов года в Санкт-Петербурге за период 1950–2011 гг., выделение которых осуществлено по данным о переходах среднесуточной температуры воздуха через 0 и 15°С весной и осенью. Приводятся оценки трендов перехода температуры через 0 и 15°С и продолжительности сезонов. Показано, что продолжительность зимы за период 1950–2011 гг. уменьшилась на 27 суток, вследствие чего увеличилась продолжительность других сезонов. Предложены регрессионные модели продолжительности сезонов, предикторами в которых являются продолжительность предыдущего сезона и дата перехода температуры от него к текущему сезону.

Ключевые слова:

межгоддовая изменчивость, продолжительность сезонов года, регрессионные модели, температура воздуха, тренд.

Календарные сезоны года не совпадают с естественными фазами развития климатических процессов, не позволяют проследить их начало, продолжительность, окончание. Очевидно, важнейшим параметром, определяющим смену естественных сезонов года, является температура воздуха. Для выделения сезонов необходимы физические критерии. Обычно в качестве зимы понимают промежуток времени, в течение которого отмечается устойчивая отрицательная температура воздуха. Лето – период времени со среднесуточной температурой выше 15°С [1]. Тогда в переходные сезоны, (весна и осень) среднесуточная температура должна меняться в пределах от 0°С до 15°С. Однако в течение календарного года температура может неоднократно переходить через 0 и 15°С. Например, в зимний период возможно наступление оттепелей, когда среднесуточная температура становится положительной, а весной, наоборот, возможен возврат заморозков. Существуют различные способы оценки даты устойчивого перехода температуры через ноль [2; 6–8]. Так, в работе [7] выбиралась дата последнего отрицательного значения среднесуточной температуры воздуха весной и первого – осенью. С целью нивелирования случайных ошибок данная процедура была дополнена

предварительным трехчленным скользящим усреднением значений температуры.

Аналогичным образом осуществлялся выбор даты последнего перехода среднесуточной температуры воздуха через 15°С от весны к лету и первого – от лета к осени. Исходными данными для выполнения расчетов послужили срочные значения температуры воздуха за период 1950–2011 гг. на метеостанции, расположенной на Аптекарском острове Петроградской стороны Санкт-Петербурга.

На рис. 1 приводится график перехода среднесуточных значений температуры воздуха через 0 и 15°С осенью в днях от начала года

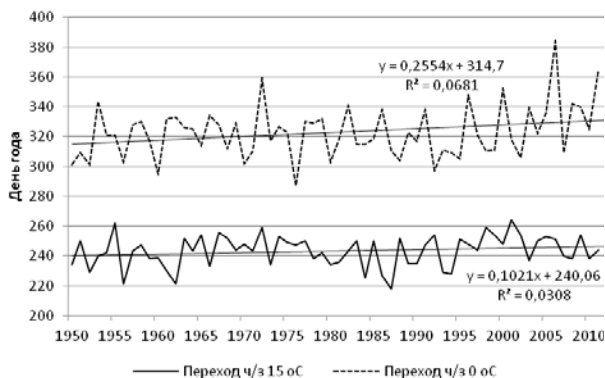


Рис. 1. Переход среднесуточных значений температуры воздуха через 0 и 15°С осенью в днях от начала года за период 1950–2011 гг.

Статистические оценки тренда перехода среднесуточных значений температуры воздуха через 0 и 15 °С весной и осенью в Санкт-Петербурге за период 1950–2011 гг.

Параметр	Среднее, дней	Тренд (Тг), дней/год	Коэф-т детерминации, R2	Оценка по тренду, дней		ΔТг, дней
				1950 г.	2011 г.	
Переход ч/з 0° весной	90	-0,111	0,02	94	87	-7
Переход ч/з 0° осенью	319	0,302	0,14	310	329	19
Переход ч/з 15° весной	160	-0,076	0,01	163	158	-5
Переход ч/з 15° осенью	243	0,102	0,03	240	247	7

отсчетной шкалы приняты дни, начиная с 1 января. Прежде всего, обращает на себя внимание очень высокая изменчивость временных рядов, особенно перехода температуры через ноль осенью. Размах колебаний составляет 96 дней, т.е. более 3 месяцев. Самая ранняя зима наступила в 287-й день (13 октября) 1976 г., а самая поздняя – 19 января 2007 года. Действительно, осень 2006 г. была аномально теплой, а средняя месячная температура воздуха в декабре составила 3°С и оказалась самой высокой за весь период наблюдений, начиная с 1752 г. [3]. Аномально холодным был октябрь 1976 г., который вошел в пятерку самых холодных месяцев за период наблюдений.

Во временном ряде перехода температуры через 0°С отчетливо выражен положительный линейный тренд, который позволяет не только оценить общую изменчивость временного ряда, но и характеризует средние многолетние условия для конкретных лет. По тренду переход через ноль в 1950 г. произошел через 310 дней от начала года (7 ноября), а в 2011-м – через 329 день (26 ноября), т.е. начало зимы сдвинулось на 19 дней (табл. 1). Непосредственно по исходным данным такой переход был через 301 день, а в 2011 г. – через 365 дней, т.е. сдвиг начала зимы составил 64 дня. На наш взгляд, последняя оценка, обусловленная большой выборочной изменчивостью, в значительной степени носит случайный характер, поэтому в дальнейшем используются оценки по тренду.

Что касается перехода температуры через 15°С осенью, то размах колебаний составляет 46 дней, при этом наиболее поздний переход к осени отмечался через 264 дня (20 сентября 2001 г.), а наиболее ранний – через 218 дней (5 августа 1987 г.). Ли-

нейный тренд перехода температуры через 15°С больше чем в 2 раза уступает тренду перехода температуры через 0°С. В 1950 г. переход температуры через 15°С произошел через 240 дней, а в 2011 году – через 247 дней, т.е. осень стала наступать на 7 дней позже (табл. 1).

На рис. 2 приводится график перехода среднесуточных значений температуры воздуха через 0 и 15°С весной. Как следует из этого рисунка, изменчивость дней перехода через 0 весной меньше, а через 15°С несколько больше, чем осенью. Так, размах колебаний перехода через ноль составляет 78 дней, а через 15°С – 59 дней. Переход от зимы к весне в 1950 году произошел через 94 дня, а в 2011 г. – через 87 дней, переход от весны к лету – соответственно через 163 и 158 дней. Вследствие этого ускорение наступления весны составило 7 дней, а лета – 5 дней (табл. 1).

Итак, можно совершенно точно утверждать, что за прошедшие десятилетия произошло значительное уменьшение продолжительности зимы, в результате чего повысилась продолжительность всех дру-

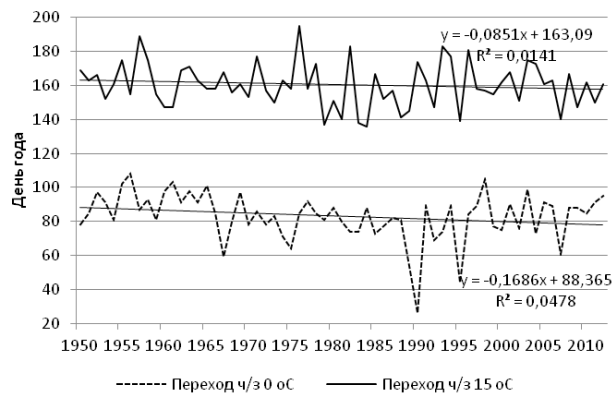


Рис. 2. Переход среднесуточных значений температуры воздуха через 0 и 15°С весной в днях от начала года.

254 | гих сезонов года. Действительно, как следует из табл. 2, продолжительность зимы в течение 1950–2011 гг. уменьшилась на 27 дней, а весны, лета и осени увеличилась соответственно на 2, 12 и 13 дней. Естественно, это связано с потеплением климата в Северо-Западном регионе за рассматриваемый период времени [4; 6].

Таблица 2

Оценка продолжительности климатических сезонов года в Санкт-Петербурге в течение 1950–2011 гг. в днях

Год	Зима	Весна	Лето	Осень
1950	150	69	77	69
2011	123	71	89	82
Среднее 1950–2011	136	70	83	76

Представляет интерес оценка степени сопряженности колебаний продолжительности сезонов между собой и с другими характеристиками температуры. Продолжительность зимы имеет значимую отрицательную корреляцию с переходом температуры через 0°С осенью ($r = -0,77$) и продолжительностью осени ($r = -0,58$), т.е.

чем раньше происходит переход к зиме и чем короче осень, тем длиннее зима. Так же достаточно хорошо физически обусловлены статистические связи для других климатических сезонов (табл. 3). В тоже время даты переходов температуры воздуха через 0 и 15°С весной и осенью практически не коррелированы друг с другом. Что касается средней годовой температуры воздуха, то она имеет значимую отрицательную корреляцию с продолжительностью зимы ($r = -0,44$) и положительную с летом ($r=0,39$), а также с переходом температуры через 0°С весной ($r = -0,50$), т.е. чем раньше наступает весна, тем выше может быть среднегодовая температура воздуха.

Кроме того, можно отметить, что продолжительность сезонов также влияет на последующий переход к другому сезону. Например, между продолжительностью осени и переходом температуры через 0°С наблюдается высокая положительная корреляция ($r = 0,80$), между продолжительностью весны и последующим переходом температуры через 15°С – $r=0,70$.

Из анализа корреляций в табл. 3 следует, что возможно построение простых статистических моделей продолжительности

Таблица 3

Оценка выборочных коэффициентов корреляции между различными временными рядами за период 1950–2011 гг. (значимые коэффициенты корреляции при уровне значимости $\alpha = 0,05$ соответствуют $g_{кр} > 0,25$)

Характеристика	Переход t через 0°С (весна)	Переход t через 15°С (весна)	Переход t через 15°С (осень)	Переход t через 0°С (осень)	Продолжительность зимы	Продолжительность весны	Продолжительность лета	Продолжительность осени
Переход t через 15°С (весна)	0,016	1						
Переход t через 15°С (осень)	-0,186	0,040	1					
Переход t через 0°С (осень)	0,065	0,155	0,122	1				
Продолжительность зимы	0,146	0,010	-0,153	-0,768	1			
Продолжительность весны	-0,710	0,698	0,161	0,063	-0,098	1		
Продолжительность лета	-0,131	-0,775	0,601	-0,047	-0,104	-0,456	1	
Продолжительность осени	0,169	0,111	-0,498	0,800	-0,579	-0,058	-0,404	1
Среднегодовая температура	-0,497	-0,346	0,162	0,322	-0,440	0,110	0,386	0,183

отдельных сезонов. Действительно, продолжительность зимы зависит от даты перехода температуры через 0°С осенью и от самой продолжительности осени. Очевидно, чем позже происходит переход температуры через ноль и чем длиннее осень, тем короче должна быть зима. Именно это и демонстрирует табл. 3. Аналогично продолжительность последующих сезонов может зависеть от продолжительности предыдущего и момента перехода температуры от него к текущему сезону. Следовательно, регрессионную зависимость для продолжительности i -го сезона (D_i) можно представить как:

$$D_i = \varphi(N, D_{i-1}), \quad (1)$$

где φ – некоторая линейная функция, коэффициенты которой определяются методом наименьших квадратов, N – дата перехода температуры через 0 или 15°С к текущему сезону, D_{i-1} – продолжительность предыдущего сезона. Для описания данной зависимости целесообразно использовать модель множественной линейной регрессии в стандартизованном виде [5]:

$$z_y = \beta_1 z_N + \beta_2 z_D \quad (2)$$

Здесь z_y, β_j, z_N, z_D – стандартизованные значения функции отклика, коэффициентов регрессии и предикторов соответственно. Стандартизованные значения функции отклика и предикторов вычисляются по формуле $z_k = (x_k - x_{cp})/\sigma$, где x_{cp} и σ – среднее арифметическое и стандартное отклонение временного ряда. Замечательным свойством данного преобразования является то, что среднее значение равно нулю, а дисперсия – единице. Физический смысл стандартизованных коэффициентов регрессии состоит в том, что они показывают относительную роль каждого предиктора в описании изменчивости функции отклика.

Мерой качества модели (2) служат:

- коэффициент детерминации R^2 , который показывает долю объясненной дисперсии функции отклика,
- стандартная ошибка модели $\sigma_{y(x)}$,

– критерий Фишера F , характеризующий значимость (адекватность) модели.

Коэффициент детерминации R^2 функционально связан со стандартизованными коэффициентами регрессии формулой:

$$R^2 = \beta_1 \gamma_{y1} + \beta_2 \gamma_{y2}, \quad (3)$$

где γ_{yj} – парный коэффициент корреляции между функцией отклика и j -м предиктором (см. табл. 3). Из формулы (3) видно, что произведение $\beta_j \gamma_{yj}$ представляет собой вклад каждого из предикторов X_j в описание изменчивости функции отклика.

Указанные выше статистические параметры для 4-х моделей приводятся в табл. 4. Кроме того, для сравнения с оценками $\sigma_{y(x)}$ в табл. 4 даны значения стандартных отклонений исходных временных рядов σ_y . Как видно из табл. 4, наиболее точными являются модели оценки продолжительности лета и зимы, имеющие максимальные значения коэффициента детерминации и критерия Фишера. На противоположном полюсе – модель оценки продолжительности осени с самым малым коэффициентом детерминации, который описывает всего 26% дисперсии исходного ряда. Однако, несмотря на это, модель все же адекватна по критерию Фишера (при уровне значимости $\alpha = 0,05$ $F_{кр} = 3,15$).

Обратимся теперь непосредственно к регрессионным зависимостям, представленным в виде формул (4) – (7):

$$D_{зим} = -0.847 N_{0,^{\circ}C} + 0.100 D_{ос} \quad (4)$$

$$D_{вес} = -0.706 N_{0,вес} + 0.005 D_{зим} \quad (5)$$

$$D_{лет} = -0.889 N_{15,вес} + 0.165 D_{вес} \quad (6)$$

$$D_{ос} = -0.399 N_{15,ос} - 0.164 D_{лет} \quad (7)$$

Для всех моделей главным является переход температуры через 0 или 15°С, определяющий начало сезона. Поэтому, чем раньше начинается сезон, тем он длиннее. Наиболее слабо данная закономерность проявляется для осени. Очевидно, для данного сезона года необходим поиск более значимых предикторов. Влияние продолжительности предшествующих сезонов практически не сказывается на продол-

Таблица 4

Оценки статистических параметров для моделей продолжительности разных сезонов года

Продолжительность сезона	Коэффициент детерминации	Стандартная ошибка модели, дни	Критерий Фишера	Стандартное отклонение ряда, дни
Зима	0.60	13,5	43,1	16,0
Весна	0.50	13,5	29,1	13,1
Лето	0.61	10,5	46,9	13,0
Осень	0.26	15,1	10,6	8,9

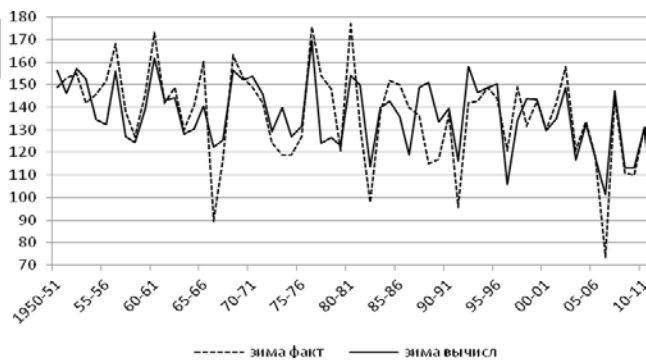


Рис. 3. Сопоставление фактических и вычисленных по модели (4) значений продолжительности зимы за период 1950–2011 гг.

жительности текущего сезона. При этом коэффициенты регрессии β_2 для всех моделей являются незначимыми по критерию Стьюдента. Как следует из формулы (3), максимальный вклад этого предиктора в коэффициент детерминации отмечается в формуле (4) для осени (Ос), который составляет всего 5,7 %. Следовательно, в первом приближении в формулах (4)–(7) можно ограничиться учетом только коэффициента

регрессии β_1 . В этом случае данные зависимости носят прогностический характер. Действительно, зная дату перехода к i -му сезону, нетрудно приближенно оценить его продолжительность. Впрочем, относительно точно это можно сделать для основных сезонов года (зимы и лета).

В качестве примера на рис. 3 представлен временной ход фактических и вычисленных значений продолжительности зимы, который в основном подтверждает их хорошее соответствие. Максимальные ошибки отмечаются для сравнительно теплых коротких зим (1966–1967 и 2006–2007 гг.), когда происходил очень ранний переход к весне. Относительную ошибку прогноза можно представить как отношение стандартной ошибки модели к стандартному отклонению исходного ряда, т.е. $S = \sigma_{y(x)} / \sigma_y$. При $S < 1$ прогностические оценки считаются «хорошими». Для продолжительности зимы имеем $S = 0,84$, а для лета $S = 0,80$, что подтверждает возможность их прогноза.

Список литературы:

- [1] Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – М.: Высшая школа, 1991. – 366 с.
- [2] Карлин Л.Н., Ефимова Ю.В., Никифоров А.В. Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления // Ученые записки РГГМУ. – 2005, № 1. – С. 22–29.
- [3] Климат Санкт-Петербурга и его изменения / Под ред. В.П.Мелешко и др. – СПб.: ГУ Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, 2010. – 256 с.
- [4] Крышнякова О.С., Малинин В.Н. Особенности потепления климата Европейской территории России в современных условиях // Общество. Среда. Развитие. – 2008, № 2. – С. 115–124.
- [5] Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 407 с.
- [6] Малинин В.Н., Гурьянов Д.А. Структурные особенности формирования межгодовой изменчивости температуры воздуха в Северо-Западном районе России // Общество. Среда. Развитие. – 2013, № 2. – С. 227–232.
- [7] Малинин В.Н., Гордеева С.М., Гурьянов Д.А. Особенности температурного режима Санкт-Петербурга в современный период // Нерешенные проблемы климатологии и экологии мегаполисов. – СПб, 2013. – С. 43–46.
- [8] Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, +5°C, их прогноз оценка // Труды гидрометеорологического НИЦ РФ / Под. ред. д-ра физ.-мат. наук М.А. Толстых. – 2012, вып. 348. – С. 144–152.