

В.И. Воробьев, А.А. Зорина

**СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕГО РЕЖИМА
ЕЖЕДНЕВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОЙ И МИНИМАЛЬНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ЗА ПОСЛЕДНИЙ
ДВАДЦАТИЧЕТЫРЕХЛЕТНИЙ ПЕРИОД (1987–2011 ГГ.)**

V.I. Vorobyev, A.A. Zorina

**SEASONAL FEATURES OF THE MULTI-YEAR REGIME FOR DAILY
VALUES OF THE MAXIMUM AND MINIMUM AIR TEMPERATURE IN
ST. PETERSBURG OVER THE LAST TWENTY FOUR YEARS OLD PERIOD
(1987–2011 YEARS)**

Дается общая характеристика сезонных особенностей режима ежедневных значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге за 1987–2011 гг. Приводятся количественные оценки вклада каждого сезона в их годовую изменчивость. Показано, что повышение и понижение сезонных значений экстремальных температур воздуха тесно связано с изменениями режима атмосферной циркуляции.

Ключевые слова. Максимальная температура воздуха. Минимальная температура воздуха. Адвективное изменение температуры воздуха. Временная сезонная изменчивость экстремальных температур воздуха.

General characterization is given for seasonal features of the daily values of extreme air temperatures in St. Petersburg for 1987–2011 The quantitative assessments are presented for the contribution of each season in their annual variability. It is shown that increase and decrease of extreme seasonal variations for air temperature is closely connected with the changes of the atmospheric circulation regime.

Key words. Maximum air temperature. The minimum temperature. Advective changes in air temperature. Temporary seasonal variability of extreme air temperatures.

Сведения об ожидаемом температурном режиме ближайших суток для населения и некоторых предприятий и организаций представляют несомненный интерес. При этом наиболее информативной для них является не средняя суточная температура воздуха, а максимальная температура днем и минимальная температура ночью. Поэтому в соответствии с действующим Наставлением по краткосрочным прогнозам общего назначения [5] приводятся прогнозируемые на 1, 2 и 3 суток значения максимальной температуры воздуха днем и минимальной его температуры ночью. Эти данные для населения и некоторых предприятий и организаций несомненно более важны, чем, среднесуточная температура. Поэтому не случайно в краткосрочных прогнозах общего пользования (от 12 часов до 3-х суток) указывается не средняя суточная температура воздуха, а его ожидаемые минимальная температура ночью и максимальная температура днем. В тоже время, несмотря на важность этой характеристики температурного режима приземного слоя его многолетним характеристикам не уделялось должного внимания.

Климату Санкт-Петербурга (Ленинграда) ранее были посвящены крупные комплексные исследования [3,4], но многолетнему режиму ежедневных значений экстремальных температур воздуха внимания не уделялось. Только в сравнительно недавно в изданной монографии [2], посвященной описанию климата Санкт-Петербурга в главе «Температурный режим Санкт-Петербурга и его изменения» представлены некоторые результаты обработки данных о максимальной и минимальной температурах воздуха за период с 1901 по 2006 гг. Так, например, по осредненным за весь упомянутый период наблюдения данным рассчитаны средние месячные значения максимальной и минимальной температуры, их абсолютные значения и средних из них, приведены данные о средних месячных значениях средней суточной амплитуде воздуха. Кроме того, даны оценки изменений во времени средних максимальных и минимальных температур зимой и летом за 1901–2006 гг. (106 лет) и за последние 32 года этого же периода (1975–2006 гг.). Переходные сезоны – весна и осень – не рассматривались. Сравнение результатов расчетов коэффициентов линейных трендов для этих перекрывающихся периодов позволило авторам монографии сделать вывод, что реальные временные изменения, происходящие в ряду, даже при большом временном сглаживании, не являются монотонными, а испытывают циклические колебания. Поэтому оценки тренда для коротких отрезков ряда могут существенно отличаться от общего тренда, как в большую, так и в меньшую сторону, вплоть до изменения знака.

В тоже время, поиски закономерностей в рядах характеристик температуры, длительностью 20–30 лет могут оказать помощь при разработке долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов погоды и других целей. Здесь следует заметить, что в одной из предыдущих статей авторов [1] на двадцатилетнем ряде наблюдений за осенний сезон были сделаны предварительные выводы о возможных причинах изменения средних осенних максимальных и минимальных температур и их обусловленность изменениями режима атмосферной циркуляции на сопредельных Санкт-Петербургу территориях. В настоящей статье на основе анализа средних годовых и средних сезонных значений максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге за 24-хлетний период (1987–2011 гг.) сделана попытка на более длинном ряду наблюдений и для всех сезонов подтвердить или опровергнуть ранее сделанные выводы о причинах изменения во времени режима максимальных и минимальных температур во все сезоны и, таким образом, найти общую основную причину их существенных изменений во времени.

В качестве, исходного материала для решения этой задачи послужил архив ежедневных значений максимальной и минимальной температуры воздуха и направления ветра в Санкт-Петербурге за 1987–2011 гг. Кроме того, за этот же период использовались ежедневные данные о направлении ветра в Санкт-Петербурге за все сезоны. На основе их анализа получены оценки роли особенностей атмосферной циркуляции в формировании режима ежедневных значений максимальной и минимальной температуры воздуха за этот же период.

Известно, что изменение температуры воздуха на станции на уровне психрометрической будки состоит из адвективных и трансформационных изменений. Причем вклад первых, как правило, существенно больше, чем вторых. Адвективные изменения формируют основную часть температурного фона суток, месяца, сезона, а трансформационные изменения – внутрисуточный ход температуры. При этом, максимумы и

минимумы во временном ходе максимальных и минимальных температур совпадают, т.е. амплитуды меняются сравнительно мало. Отсюда следует, что изменения максимальной и минимальной температуры воздуха во времени определяются её адвективными изменениями, а максимумы и минимумы во временном ходе экстремальных температур формируются за счет их вариаций. Эти изменения зависят от географического положения очагов тепла и холода относительно Санкт-Петербурга и направления переноса теплого или холодного воздуха от них.

Для решения поставленной задачи в первую очередь был рассмотрен общий многолетний режим экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге за 1987–2011 гг. Для этого подвергнуты анализу многолетние изменения средних годовых значений максимальной и минимальной температуры воздуха (табл. 1).

Таблица 1

Средние годовые значения максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге с 1987 по 2011 гг.

Температура	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Максимальная	6,5	9,0	10,1	9,0	9,0	8,9	8,2	8,5	9,4	9,0	8,8	8,5	
Минимальная	0,9	3,1	4,9	3,8	3,6	3,5	2,4	2,4	3,9	2,5	2,1	1,6	
Температура	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Максимальная	9,9	10,8	9,9	9,7	8,3	9,4	10,0	9,2	10,1	10,2	9,1	8,9	10,1
Минимальная	2,8	3,8	3,3	2,7	1,9	3,1	3,6	2,8	3,9	4,6	3,5	2,4	3,8

Данные, приведенные в табл. 1 показывают, что за двадцатичетырехлетний период во временном ходе среднегодовых значений как максимальных, так и минимальных температур имеется по пять максимумов и минимумов. Расчеты показали, что их отклонения от линии тренда, как правило, не превышают 1,0–1,5 °С. Существенное систематическое изменение за этот промежуток времени претерпевает только максимальная среднегодовая температура воздуха, коэффициент линейного тренда равен 0,37, что соответствует её росту к концу рассматриваемого периода, примерно, на 1,2 °С. Общий фон среднегодовых значений минимальной температуры воздуха изменился не так значительно. За этот период среднегодовые минимальные температуры воздуха выросли на 0,4 °С. Об этом свидетельствует и меньшее значение коэффициента линейного тренда, равное 0,13. Таким образом, за прошедшие двадцать четыре года среднегодовая амплитуда суточного хода среднегодовых значений температуры воздуха увеличилась на 0,8 °С.

Сравнительно небольшие отклонения среднегодовых значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге от линии тренда, скорее всего связаны с тем, что вклад в них средних сезонных значений экстремальных температур может быть не только различен по величине, но может быть противоположным по знаку.

Далее, по ежемесячным картам средней температуры воздуха, приведенным в [6], были определены сначала месячные, а затем и сезонные положения очагов

тепла и холода относительно Санкт-Петербурга и направления ветра, с которыми, находящиеся там воздушные массы могут достигнуть города. Эти сведения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Направления ветра в Санкт-Петербурге, при которых должны наблюдаться наиболее значительное адвективное повышение или понижение максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге во все месяцы и сезоны

Период	Направление ветра	
	Адвекция тепла	Адвекция холода
Декабрь	Ю, ЮЗ, З	В, СВ, С
Январь	Ю, ЮЗ, З	В, СВ, С
Февраль	Ю, ЮЗ, З	В, СВ, С
Зима	Ю, ЮЗ, З	В, СВ, С
Март	Ю, ЮЗ, З.	С, СВ, В
Апрель	ЮВ, Ю, ЮЗ, З	С, СВ, В
Май	ЮВ, Ю, ЮЗ	СЗ, С, СВ
Весна	ЮВ, Ю, ЮЗ	С, СВ, В
Июнь	ЮВ, Ю, ЮЗ	СВ, С, СЗ
Июль	ЮВ, Ю, ЮЗ	СВ, С, СЗ, З
Август	ЮВ, Ю, ЮЗ	СВ, С, СЗ, З
Лето	ЮВ, Ю, ЮЗ	СВ, С, СЗ
Сентябрь	ЮВ, Ю, ЮЗ	СЗ, С, СВ
Октябрь	Ю, ЮЗ, З	СЗ, С, СВ, В
Ноябрь	Ю, ЮЗ, З	С, СВ, В, ЮВ
Осень	Ю, ЮЗ, З	СЗ, С, СВ

Теперь можно перейти к рассмотрению сезонных особенностей временного хода максимальных и минимальных температур и оценкам их вклада во временной ход их среднегодовых значений.

Начнем с **зимнего сезона**, которому сначала дадим общую характеристику. Средняя зимняя максимальная температура равна $-1,2^{\circ}\text{C}$, а минимальная $-6,5^{\circ}\text{C}$. Коэффициенты линейных трендов отрицательны и равны для максимальной температуры $-0,30$, а для минимальной температуры равен $0,15$. Таким образом, зимний сезон «работал» в среднем на понижение как максимальной, так и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге.

Для оценки вклада зимнего сезона во временной ход средней годовой температуры рассмотрим данные, приведенные в табл. 3 и 4.

Анализ данных, приведенных в табл. 3 и 4, показывает, что зима способствовала уменьшению значений температур максимумов во временном ходе максимальных и минимальных температур. Например, вклад зимы в формирование максимума

максимальных температур 2000 г. (10,8 °С) составляет –0,4 °С, а в формирование максимума 1995 г. он равен –0,8 °С. Вклад зимы в формирование максимума минимальных температур в 2000 г. равен –5,1 °С, а в 2008 г. –2,4 °С. Заметим, что характер внутри-периодного хода максимальных и минимальных температур, как среднегодовых, так и зимних одинаков, что не удивительно, т.к, амплитуды практически сохраняются. Отсюда следует, что при анализе особенностей следующих сезонов, в целях сокращения иллюстративных материалов, можно ограничиться сравнением среднегодовых температур с максимальными температурами.

Таблица 3

Средние годовые и средние зимние значения максимальной температуры воздуха

Период	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Год	6,5	9,0	10,1	9,0	9,2	8,9	8,2	8,5	9,4	9,0	8,8	8,5	
Зима	-4,3	-3,0	0,0	-1,3	-2,3	-0,6	-0,2	-4,2	-0,8	-2,3	-1,9	-2,2	
Период	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Год	9,9	10,8	9,9	9,7	8,3	9,4	10,0	9,2	10,1	10,2	9,1	8,9	10,1
Зима	-3,4	-0,4	-1,1	-1,7	-5,4	-2,3	-0,7	-4,4	-1,7	-0,7	-2,2	-2,1	-2,6

Таблица 4

Средние годовые и средние зимние значения минимальной температуры воздуха

Период	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Год	0,9	3,1	4,9	3,8	3,6	3,5	2,4	2,4	3,9	2,5	2,1	1,6	
Зима	-9,3	-6,3	-3,8	-4,4	-5,9	-4,3	-3,5	-3,1	-4,1	-6,2	-7,8	-7,7	
Период	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Год	2,8	3,8	3,3	2,7	1,9	3,1	3,6	2,8	3,9	4,6	3,5	2,4	3,8
Зима	-9,3	-5,1	-5,4	-7,4	-11,2	-7,4	-5,1	-9,0	-6,3	-2,4	-6,1	-12,1	-7,5

Теперь вновь обратимся к данным табл. 2. Они показывают, что наиболее высокие максимальные и минимальные температуры воздуха будут при преобладании ветров южного, юго-западного западного направлений. Поскольку они обеспечивают поступление в район Санкт-Петербурга теплого воздуха с поверхности Атлантического океана, который в это время года существенно теплее, чем континент. Наоборот, с ветрами восточного, северо-восточного и северного направлений в район Санкт-Петербурга поступают холодные воздушные массы с покрытых льдом Баренцова и Карского морей, а также с находящего на востоке континента. Ветры этих направлений формируют зимние минимумы.

Эти процессы формируют максимумы и минимумы во временном ходе зимней максимальной и зимней минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге (табл. 3 и 4).

Данные расчетов повторяемости направлений ветра в Санкт-Петербурге в зимний сезон, приведенные в табл. 5, позволяют оценить суммарный вклад направлений ветра, при которых адвективные изменения будут наиболее значительны.

Таблица 5

Повторяемость направления ветра в зимние сезоны с 1987 по 2011 гг.

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
С	10,7	1,3	10,8	5,7	10,7	8,0	7,9	6,9	9,1	2,6	19,4	25,4	
СВ	6,0	0,0	0,0	0,0	3,6	8,0	5,6	4,6	3,4	5,3	4,5	3,0	
В	9,5	12,0	0,0	0,0	8,3	1,1	10,1	12,6	8,0	7,9	17,9	11,9	
ЮВ	2,4	14,7	0,0	7,1	2,4	8,0	12,4	8,0	8,0	5,3	13,4	10,4	
Ю	10,7	36,0	6,2	37,1	15,5	17,2	25,8	21,8	26,1	28,9	14,9	13,4	
ЮЗ	33,3	13,3	32,3	21,4	23,8	35,6	12,4	19,5	21,6	19,7	17,9	23,9	
З	19,0	10,7	40,0	24,3	19,0	19,5	20,2	20,7	14,8	27,6	9,0	10,4	
СЗ	8,3	12,0	10,8	4,3	16,7	2,3	5,6	5,7	9,1	2,6	3,0	1,5	
Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
С	20,6	11,3	9,7	5,7	5,5	11,7	6,7	9,3	10,0	8,0	8,3	4,0	6,7
СВ	4,8	3,3	9,0	4,7	6,9	3,0	10,0	6,0	8,7	2,7	14,0	15,0	7,7
В	6,3	5,7	13,0	7,3	5,2	8,0	15,3	11,7	7,3	8,0	19,7	24,0	9,7
ЮВ	9,5	8,0	12,7	6,3	9,0	12,3	11,0	4,0	6,3	11,3	13,0	14,7	12,0
Ю	23,8	15,3	18,0	13,7	14,8	27,3	24,0	14,0	23,0	27,0	8,7	12,0	17,0
ЮЗ	22,2	28,7	13,7	22,0	27,2	18,0	15,0	25,0	22,3	20,7	13,7	15,3	27,3
З	3,2	18,3	16,3	30,7	22,8	13,0	10,7	22,3	15,7	15,3	14,3	10,3	14,0
СЗ	9,5	9,3	7,7	9,7	8,6	6,7	7,3	7,7	6,7	7,0	8,3	4,7	5,7

Данные расчетов повторяемости направлений ветра в Санкт-Петербурге в зимний сезон, приведенные в табл. 5, позволяют оценить суммарный вклад направлений ветра, при которых адвективные изменения температуры будут наиболее значительны. Зимой при активной адвекции тепла это будут ветры южного, юго-западного и западного направлений, а при активной адвекции холода – ветры северо-западного, северного и северо-восточного направлений. Сведения о годовой повторяемости суммы этих направлений приводятся в табл. 6.

При первом взгляде на данные табл. 6 обращает на себя внимание весьма высокая суммарная повторяемость ветров южных, юго-западных и западных направлений. Это связано с тем, что в это время года Санкт-Петербург находится на южной периферии климатической области пониженного давления, для которой характерны ветры именно

этих направлений. Причем их повторяемость в два, а зачастую в три раза превышает суммарную повторяемость ветров восточных, северо-восточных и северных направлений.

Таблица 6

Суммарная повторяемость направлений ветра зимой в Санкт-Петербурге, с которыми связаны наиболее значительные адвективные изменения температуры

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Ю+ЮЗ+З	63,1	60,0	78,5	72,9	58,3	72,4	58,4	62,1	62,5	76,3	41,8	47,8	
В+СВ+С	26,2	13,3	10,8	5,7	22,6	17,2	23,6	24,1	20,5	15,8	41,8	40,3	
Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ю+ЮЗ+З	49,2	62,3	48,0	66,3	64,8	58,3	49,7	61,3	61,0	63,0	36,7	37,7	58,3
В+СВ+С	31,7	20,3	31,7	17,7	17,6	22,7	32,0	27,0	26,0	18,7	42,0	43,0	24,0

В соответствии с таблицами временного хода средних за зимний сезон значений максимальной и минимальной температуры воздуха (табл. 3 и 4) выбрано несколько максимумов и минимумов, для которых построены и рассмотрены гистограммы. Они позволяют, не обращаясь к этим таблицам и аналогичным таблицам для других сезонов, визуальнo оценить вклад каждого направления ветра в формирование того или иного максимума или минимума во временном ходе средних за сезон значений температуры. На первой из них (рис. 1) для трёх максимумов графически представлена повторяемость направлений ветра при адвекции тепла, а на второй (рис. 2) при адвекции холода для трех минимумов. Каждому году рассматриваемого максимума или минимума соответствует определенный цвет столбика. Чем больше повторяемость какого-либо направления ветра для рассматриваемого максимума или минимума, тем значителен его вклад в их формирование.

В формирование максимума 1989 г. (повторяемость 82,9 %) наибольший вклад внесли ветры западного и юго-западного направлений. На их долю приходится более 70 %. Примерно 20 % положительного вклада в формирование этого максимума внесли океанические ветры с северо-запада и севера, т.е. с Баренцева и Норвежского морей. В тоже время, в формирование этого максимума ветры, дующие с континента (СВ, В, ЮВ) участия не принимали.

В формирование второго максимума (2000 г.) наибольший вклад вносят юго-западные ветры (28,7 %) которые переносят теплые воздушные массы со Средиземного моря, а также западные ветры, приносящие теплый воздух с Атлантического океана (18,3 %) и южные приносящие воздушные массы с восточной части акватории Средиземного моря и Черного моря (15,3 %). Что касается повторяемости синоптических процессов с адвекцией тепла при северных и северо-западных ветрах, примерно по 10 %, то такие синоптические ситуации вполне возможны.

По аналогичной схеме можно описать особенности формирования и максимума 2008 г.

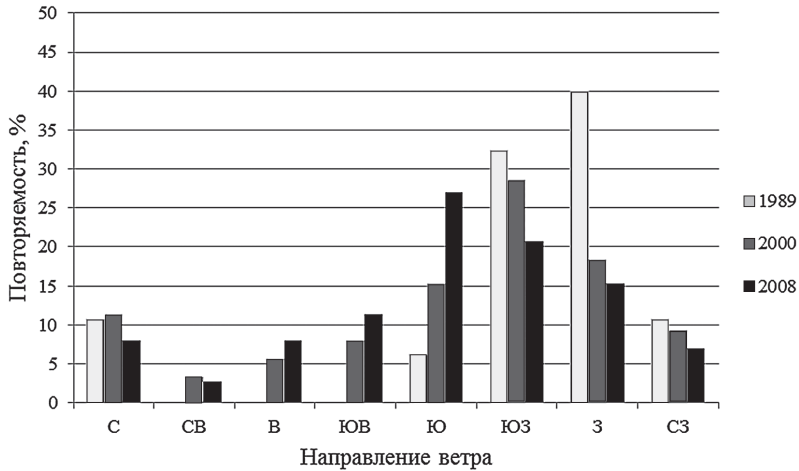


Рис. 1. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции тепла за отдельные годы в зимний период

Адвекция холода приводит к образованию минимумов (ложбин) во временном ходе средних за зимний сезон значений максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. За рассматриваемый период во временном ходе этих характеристик можно выделить шесть ложбин: в 1991, 1994, 1999, 2003, 2006 и 2010 гг. Для трех из них на рис. 2 приводится гистограмма. При её анализе следует обратить внимание на то, что повторяемость синоптических процессов, приводящих к значительному понижению температуры воздуха в Санкт-Петербурге существенно меньше, чем процессов, приводящих к их повышению. Это приводит к тому, что наряду с увеличением повторяемости северных, северо-восточных, восточных и даже юго-восточных ветров, сохраняется высокая повторяемость синоптических процессов с преобладанием в городе ветров южных юго-западных и западных направлений.

В итоге можно сделать вывод, что зимний сезон, в целом, вносит отрицательный вклад в формирование многолетнего режима максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. Он уменьшает существующую тенденцию к повышению этих температур с 1987 по 2011 гг.

Теперь перейдем к анализу многолетнего режима ежедневных значений максимальной и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге **весной**.

Сначала дадим общую характеристику весеннего сезона. Средняя весенняя максимальная температура равна $9,1^{\circ}\text{C}$, а минимальная тоже положительна и равна $1,4^{\circ}\text{C}$. Коэффициенты линейных трендов положительны и равны для максимальной температуры $0,6$ и $0,2$ для минимальной. Следовательно, весна вносит положительный вклад в многолетний рост экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге.

Весна является не только переходным периодом от зимы к лету, но и периодом смены температурных контрастов между поверхностными водами Атлантического океана и Евразией. Если зимой Атлантический океан был теплее континента, то летом

он станет холоднее его. Таким образом, весеннее сезонное осреднение скрывает эту особенность и её влияние на многолетний режим экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге.

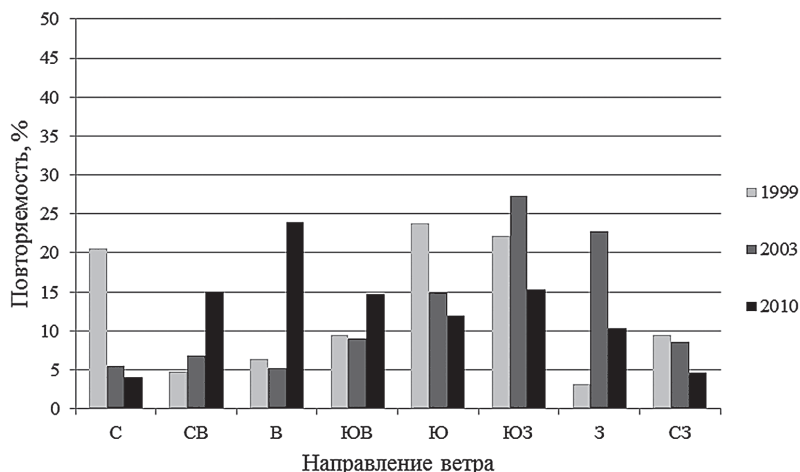


Рис. 2. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции холода за отдельные годы в зимний период

Для оценки вклада весеннего сезона во временной ход средней годовой температуры рассмотрим данные, приведенные в табл. 7.

Таблица 7

Средние годовые и средние весенние значения максимальной температуры воздуха

Период	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Год	6,5	9,0	10,1	9,0	9,0	8,9	8,2	8,5	9,4	9,0	8,8	8,5	
Весна	6,7	9,6	10,6	9,5	8,1	8,7	9,6	9,2	10,3	8,3	7,0	8,2	
Период	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Год	9,9	10,8	9,9	9,7	8,3	9,4	10,0	9,2	10,1	10,2	9,1	8,9	10,1
Весна	9,3	10,3	9,1	10,9	8,7	9,2	8,5	8,2	11,9	10,0	8,9	10,1	9,0

Сравнение средних годовых и весенних средних максимальных температур показывает, что они довольно близки друг другу. Отличия, как правило, не выходят за интервал ± 1 °С. Весенние максимумы и минимумы средних годовых и максимальных температур чаще всего совпадают. В последние годы (2005 и 2008) весенние максимумы наступают раньше годовых максимумов на год. Весенний минимум 1997 г. наступил раньше среднегодового на год.

Таблица 8

Повторяемость направления ветра в весенние сезоны с 1987 по 2011 гг.

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
С	28,6	18,7	10,0	13,3	13,6	11,1	17,6	15,4	12,1	8,9	25,0	26,1	
СВ	3,3	7,7	6,7	0,0	6,8	1,1	11,0	6,6	6,6	13,3	9,4	5,8	
В	9,9	14,3	13,3	5,3	12,5	7,8	8,8	7,7	12,1	17,8	6,3	15,9	
ЮВ	12,1	11,0	12,2	0,0	5,7	7,8	7,7	9,9	8,8	6,7	4,7	8,7	
Ю	14,3	13,2	16,7	12,0	12,5	16,7	13,2	15,4	18,7	12,2	10,9	10,1	
ЮЗ	19,8	19,8	24,4	22,7	30,7	34,4	20,9	27,5	24,2	21,1	21,9	17,4	
З	9,9	13,2	7,8	34,7	15,9	18,9	15,4	14,3	12,1	13,3	15,6	8,7	
СЗ	2,2	2,2	8,9	12,0	2,3	2,2	5,5	3,3	5,5	6,7	6,3	7,2	

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
С	18,2	9,0	10,3	11,3	9,3	10,7	18,7	3,7	7,7	9,3	13,0	6,3	11,3
СВ	10,6	10,3	11,3	12,7	11,7	13,4	15,7	17,3	9,3	17,7	12,3	11,0	9,7
В	6,1	9,7	6,3	10,3	8,0	9,4	6,3	15,3	5,0	17,7	10,7	16,0	9,7
ЮВ	10,6	4,0	8,3	7,3	7,7	9,7	4,3	4,7	5,3	7,0	6,0	9,7	3,7
Ю	13,6	12,7	12,3	8,3	10,0	10,4	8,3	9,7	9,3	12,3	7,0	5,3	9,0
ЮЗ	16,7	19,3	22,0	19,0	22,7	15,1	19,3	27,0	25,0	14,0	19,7	20,0	23,3
З	16,7	25,3	22,7	24,0	24,7	25,1	19,7	18,7	33,0	13,7	23,7	24,0	25,3
СЗ	7,6	9,7	6,7	7,0	6,0	6,4	7,7	3,7	5,3	8,3	7,7	7,7	8,0

Таблица 9

Суммарная повторяемость направлений ветра весной в Санкт-Петербурге, с которыми связаны наиболее значительные адвективные изменения температуры

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
ЮВ+Ю+ЮЗ	36,2	44,0	53,3	34,7	48,9	58,9	41,8	52,7	51,6	40,0	37,5	36,2	
С+СВ+В	41,8	40,7	30,0	18,7	33,0	20,0	37,4	29,7	30,8	40,0	40,6	37,8	

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ЮВ+Ю+ЮЗ	40,9	36,0	42,7	44,7	40,3	35,1	32,0	41,3	49,7	33,3	32,7	35,0	36,0
С+СВ+В	34,8	29,0	28,0	34,3	29,0	33,4	40,7	36,3	22,0	44,7	36,0	33,3	30,7

Данные, приведенные в табл. 9, позволяют сделать вывод, что повторяемость «теплых» (ЮВ, Ю, ЮЗ) ветров достигает наиболее высоких значений в годы весенних максимальных значений экстремальных температур воздуха и наиболее низких значений в годы их минимума. Например, в 2002 г. средняя весенняя максимальная

температура воздуха достигла 10,9 °С, что соответствовало высокой повторяемости «теплых» ветров и очередному максимуму экстремальных температур воздуха. В 1997 г. во временном ходе весенних экстремальных температур воздуха наблюдался очередной минимум (7,0 °С), ему соответствовала сравнительно низкая повторяемость «теплых» ветров (37,5 %) и высокая повторяемость «холодных» (40,6 %).

В соответствии с таблицей временного хода средних за весенний сезон значений максимальной температуры воздуха (табл. 7) отобрано несколько максимумов и минимумов, для которых построены гистограммы. На рис. 3 показана гистограмма повторяемости направлений ветра, формирующих максимумы во временном ходе весенних максимальных температур. На ней хорошо видно, что в 1989 г. максимум во временном ходе максимальных температур обеспечили «теплые» юго-восточные, южные и юго-западные ветры, а в 2007 г. — южные, юго-западные и западные ветры.

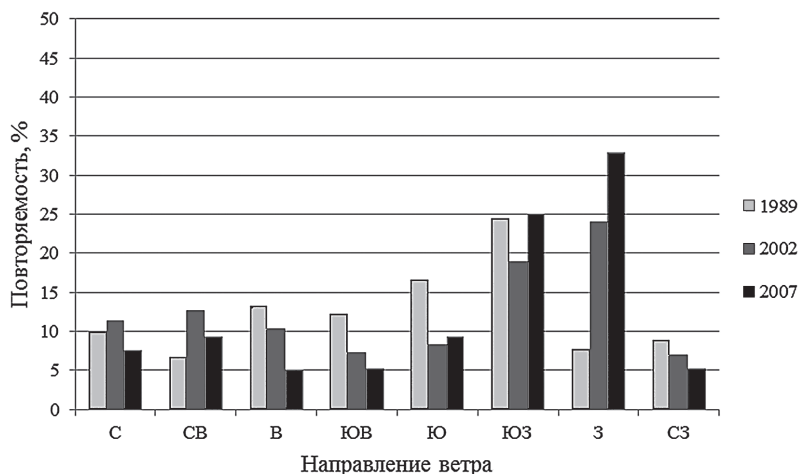


Рис. 3. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции тепла за отдельные годы в весенний период

При адвекции холода, формирующей очередной минимум в начале изучаемого периода, как, например, в 1987 г., наиболее велика повторяемость северных ветров, довольно велика повторяемость дующих с холодного континента южных и юго-западных ветров. В 1997 и, особенно, в 2003 г., возможно с общим потеплением, уменьшилась повторяемость северных ветров.

В итоге можно сделать следующие выводы. Весна в целом вносит положительный вклад в многолетний рост максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. Максимумы и минимумы во временном ходе годовых и весенних экстремальных температур чаще всего совпадают. В некоторых случаях появление весенних максимумов и минимумов на год опережает годовые максимумы и минимумы.

Лето — сезон наиболее высоких среднесезонных значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. В этот сезон, в отличие от весны, остается стабильным

соотношение температур приземного слоя воздуха над Атлантическим океаном и в Санкт-Петербурге. Средняя летняя максимальная температура в Санкт-Петербурге равна 21,4 °С. Средняя минимальная температура равна 13,6 °С. Коэффициенты линейных трендов положительны и равны для максимальной температуры 0,77, а для минимальной температуры 0,43. Следовательно, лето, также как и весна, вносит положительный вклад в многолетний рост, как максимальных, так и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге.

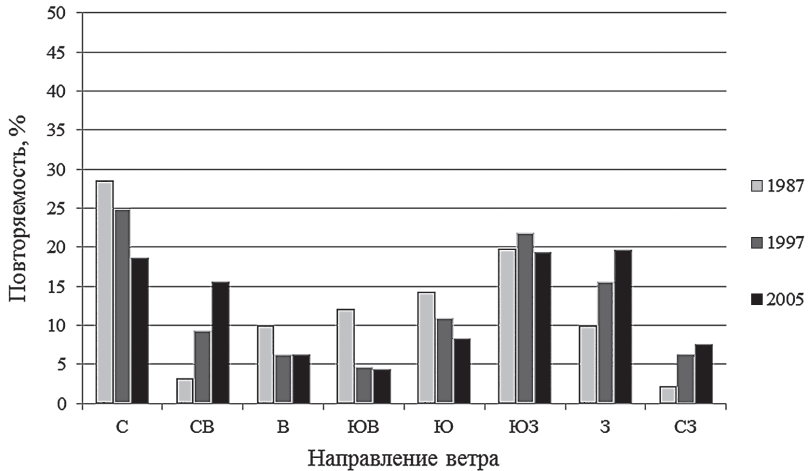


Рис. 4. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции холода за отдельные годы в весенний период

Оценку вклада лета во временной ход средней годовой температуры дадим с помощью данных, приведенных в табл. 10. Интересно, что в изучаемый период попали летние данные, когда в июне 1999 г. была достигнута рекордная за весь период наблюдений среднемесячная температура, на 4,9 °С превышающая многолетнюю норму. Из пяти летних максимумов совпадают с годовыми четыре. Годовым максимумам часто предшествовали годы с резким повышением летней максимальной температурой. Так, например, было в 1989, 1995 и 2000 г.

Теперь вновь обратимся к данным табл. 2. Они показывают, что летом наиболее высокие максимальные и минимальные температуры воздуха будут при преобладании ветров юго-восточного, южного и юго-западного направлений. Поскольку они обеспечивают поступление в район Санкт-Петербурга теплого воздуха, в основном, с поверхности континента, который в это время года существенно теплее, чем Атлантический океан и северные моря. Эти ветры формируют летние максимумы. Наоборот, с ветрами северо-восточного, северо-западного и северного направлений в район Санкт-Петербурга поступают холодные воздушные массы с Баренцева, Карского, Гренландского и Норвежского морей. Ветры этих направлений формируют летние минимумы.

Таблица 10

Средние годовые и средние летние значения максимальной температуры воздуха

Период	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Год	6,5	9,0	10,1	9,0	9,0	8,9	8,2	8,5	9,4	9,0	8,8	8,5	
Лето	16,3	21,8	21,9	19,8	21,1	21,2	18,6	20,8	21,9	20,7	22,9	23,5	
Период	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Год	9,9	10,8	9,9	9,7	8,3	9,4	10,0	9,2	10,1	10,2	9,1	8,9	10,1
Лето	24,0	20,5	22,2	23,3	21,0	21,2	22,1	22,7	22,2	20,3	20,5	24,1	23,5

Данные, содержащиеся в табл. 11, позволяют сделать из них выборку для направлений ветров, формирующих максимумы и минимумы во временном ходе экстремальных температур летом.

Таблица 11

Повторяемость направления ветра в летние сезоны с 1987 по 2011 гг.

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
С	17,8	23,3	21,1	21,6	14,3	4,8	23,3	22,0	13,3	13,2	38,7	20,8	
СВ	5,6	8,9	10,0	8,0	0,0	1,6	4,4	5,5	3,3	3,3	8,1	5,6	
В	8,9	8,9	10,0	5,7	0,0	8,1	7,8	7,7	12,2	8,8	11,3	12,5	
ЮВ	7,8	13,3	6,7	4,5	0,0	9,7	7,8	1,1	1,1	2,2	8,1	1,4	
Ю	11,1	12,2	12,2	12,5	11,4	14,5	12,2	8,8	14,4	14,3	6,5	22,2	
ЮЗ	28,9	22,2	20,0	21,6	41,4	30,6	23,3	28,6	25,6	29,7	16,1	23,6	
З	15,6	8,9	15,6	11,4	22,9	24,2	15,6	19,8	22,2	19,8	6,5	6,9	
СЗ	4,4	2,2	4,4	14,8	10,0	6,5	5,6	6,6	7,8	8,8	4,8	6,9	
Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
С	9,4	11,0	12,0	12,7	27,0	10,3	13,3	13,3	6,3	11,7	12,3	9,7	6,0
СВ	4,7	12,3	10,3	6,3	13,3	8,3	10,7	20,0	11,0	14,3	12,3	15,0	17,0
В	4,7	8,3	6,7	7,7	8,3	14,0	11,7	11,0	12,0	7,7	11,3	14,7	21,7
ЮВ	4,7	8,0	11,0	7,0	7,7	10,0	3,7	3,0	6,7	3,7	6,0	8,0	7,0
Ю	9,4	7,7	10,3	8,7	9,3	10,0	13,3	5,0	8,0	8,3	7,0	8,3	8,7
ЮЗ	28,1	18,0	20,7	21,7	9,3	16,7	19,0	20,0	19,3	26,0	18,0	11,3	19,0
З	29,7	25,3	22,7	28,3	16,0	23,0	21,0	21,7	28,7	21,3	23,0	23,0	16,3
СЗ	9,4	9,3	6,3	7,7	9,0	7,7	7,3	6,0	8,0	7,0	10,0	10,0	4,3

Таблица 12

**Суммарная повторяемость направлений ветра летом в Санкт-Петербурге,
с которыми связаны наиболее значительные адвективные изменения температуры**

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
ЮВ+Ю+ЮЗ	47,8	47,8	38,9	38,6	52,9	54,8	43,3	38,5	41,1	46,2	30,6	47,2	
СВ+С+СЗ	27,8	34,4	35,6	44,3	24,3	12,9	33,3	34,1	24,4	25,3	51,6	33,3	
Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ЮВ+Ю+ЮЗ	42,2	33,7	42,0	47,3	26,3	36,7	36,0	28,0	34,0	38,0	31,0	37,7	34,7
СВ+С+СЗ	23,4	32,7	28,7	26,7	49,3	26,3	31,3	39,3	25,3	33,0	27,7	31,7	27,3

В соответствии с таблицей временного хода средних за летний сезон значений максимальной температуры воздуха (табл. 10) отобрано несколько максимумов и минимумов, для которых построены гистограммы. На рис. 5 показана гистограмма повторяемости направлений ветра, формирующих максимумы во временном ходе летних максимальных температур. На ней хорошо видно, что в 1999 и 2002 г. максимум во временном ходе максимальных температур обеспечили «теплые» юго-восточные, южные и юго-западные ветры, а в 2007 г. — южные, юго-западные и западные ветры. При этом нужно иметь ввиду что западные ветры, хотя и не входят в категорию «теплых», при движении морской воздушной массы по Западной Европе существенно трансформируются и становятся «относительно» теплыми. Поэтому при адвекции тепла (рис. 5) велика повторяемость не только юго-западных, но и западных ветров. При адвекции холода увеличивается повторяемость северных ветров и уменьшается повторяемость ветров западного и северо-западного направлений (рис. 6).

В итоге можно сделать вывод, что лето вносит положительный вклад в формирование многолетнего режима максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. Он поддерживает тенденцию роста среднегодовых экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге с 1987 по 2011 гг.

Осень, также как и весна является переходным сезоном, когда летние очаги тепла и холода будут менять свое географическое положение, постепенно приближаясь к их зимнему состоянию.

Прежде всего дадим общую характеристику этого сезона. Средняя осенняя максимальная температура положительна и равна 8,5 °С, а минимальная 3,8 °С. Коэффициенты линейных трендов положительны и равны для максимальной температуры 0,77 и минимальной температуры 0,63. Следовательно осень, как составная часть года, способствовала повышению экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге.

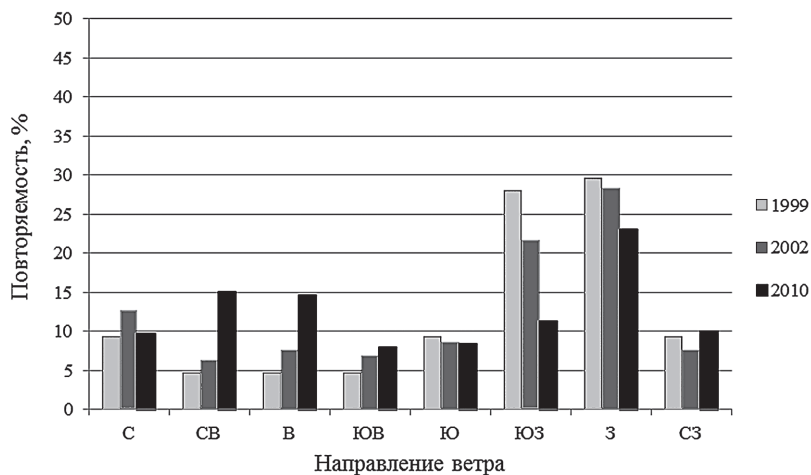


Рис. 5. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции тепла за отдельные годы за летний период

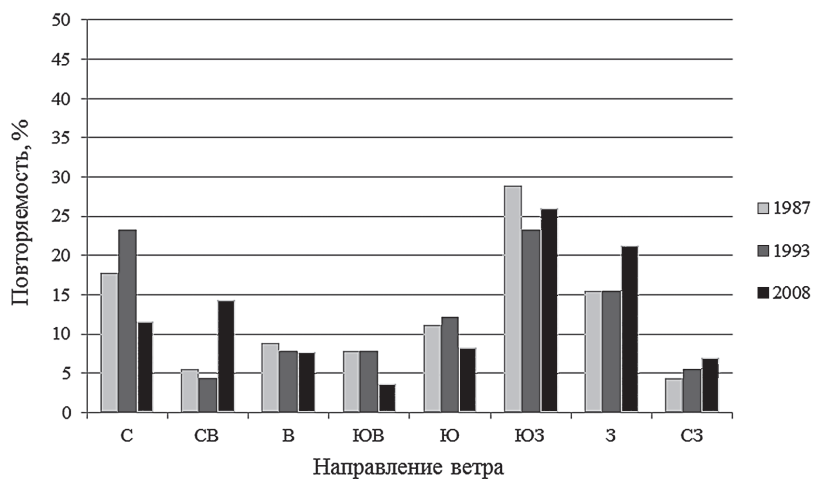


Рис. 6. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции холода за отдельные годы за летний период

В табл. 13 приведены данные, которые позволяют оценить вклад осени во временной ход среднегодовой максимальной температуры.

Таблица 13

Средние годовые и средние осенние значения максимальной температуры воздуха

Период	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Год	6,5	9,0	10,1	9,0	9,0	8,9	8,2	8,5	9,4	9,0	8,8	8,5	
Осень	7,1	7,5	8,0	8,3	9,7	8,3	8,6	8,0	8,3	9,3	7,1	7,3	
Период	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Год	9,9	10,8	9,9	9,7	8,3	9,4	10,0	9,2	10,1	10,2	9,1	8,9	10,1
Осень	9,7	10,6	9,3	6,2	9,0	9,0	11,0	10,3	8,8	9,6	9,1	8,6	10,6

Сравнение средних годовых и осенних средних максимальных температур показывает, что последние чаще всего (в 17 годах из 24) ниже среднегодовых. Положительные разности, как правило, не превышают 1 °С. Только в 2005 и 2006 гг. они составили 1,0 и 1,1 °С. В первую половину изучаемого периода максимуму среднегодовых максимальных температур 1989 г. не соответствовал осенний, он наступил два года спустя. Годовое запаздывание можно отметить и для максимума весенних максимальных температур 1996 г. Годы наступления остальных осенних и годовых максимумов совпадают. Годы минимумов годовых и осенних максимальных температур чаще всего не совпадают.

Теперь обратимся к выяснению причин образования осенних максимумов и минимумов во временном ходе максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге осенью. Сначала вернемся к табл. 2. Из приведенных в ней данных следует, что при осеннем расположении очагов тепла и холода относительно Санкт-Петербурга «теплыми» ветрами будут южные, юго-западные и западные, а «холодными» — северо-западные, северные и северо-восточные. Для сумм направлений «теплых» и «холодных» ветров, используя данные, приведенные в табл. 14, построена табл. 15. В ней для каждого года приведена повторяемость «теплых» и «холодных» ветров.

Данные, содержащиеся в табл. 15, показывают, что осенью в Санкт-Петербурге явно преобладают «теплые» ветры (22 года из 25). Их повторяемость достигает наиболее высоких значений в годы максимальных значений максимальных и минимальных температур и наиболее низких в годы их минимума. Так, например, в 2000 г. осенью наступил очередной максимум осенней максимальной температуры воздуха, равный 10,6 °С. Его появлению сопутствовала высокая повторяемость «теплых» ветров, равная 57,0 % и низкая повторяемость «холодных» ветров (25,0 %). В 1992 г. была низкая средняя осенняя максимальная температура, равная 8,3 °С. При этом повторяемость «холодных» ветров была одной из самых высоких (34,9 %).

Таблица 14

Повторяемость направления ветра в осенние сезоны с 1987 по 2011 гг.

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
С	8,9	15,5	20,2	16,3	8,2	16,3	16,9	10,2	19,3	15,6	18,6	16,4	
СВ	0,0	0,0	1,2	12,8	1,4	7,0	6,7	4,5	6,8	7,8	8,5	6,0	
В	8,9	0,0	4,8	14,0	0,0	16,3	10,1	9,1	3,4	8,9	16,9	14,9	
ЮВ	24,1	0,0	6,0	7,0	1,4	14,0	14,6	6,8	10,2	12,2	10,2	16,4	
Ю	21,5	19,7	22,6	9,3	34,2	11,6	18,0	23,9	10,2	23,3	10,2	20,9	
ЮЗ	16,5	38,0	21,4	10,5	23,3	12,8	14,6	23,9	29,5	17,8	18,6	22,4	
З	5,1	14,1	10,7	20,9	20,5	10,5	12,4	12,5	11,4	7,8	3,4	0,0	
СЗ	15,2	12,7	13,1	9,3	11,0	11,6	6,7	9,1	9,1	6,7	13,6	3,0	

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
С	21,9	11,0	12,0	24,0	11,3	10,7	7,3	8,3	10,7	6,0	10,7	9,3	13,0
СВ	5,5	5,7	4,0	8,0	4,3	7,3	1,7	6,7	7,3	8,7	9,0	11,3	3,3
В	11,0	6,0	15,0	14,7	6,7	4,7	5,0	9,3	8,0	10,3	11,7	11,0	4,0
ЮВ	9,6	12,0	18,7	7,3	10,7	5,7	1,7	7,0	6,7	7,0	7,7	6,3	7,7
Ю	23,3	26,3	10,7	6,3	17,0	25,3	23,0	16,3	22,7	19,0	15,0	15,7	9,7
ЮЗ	12,3	19,7	18,7	12,0	20,7	21,3	45,0	21,0	23,3	28,0	24,0	23,3	25,7
З	9,6	11,0	11,0	12,7	21,0	13,7	10,0	20,7	10,0	16,7	13,7	13,7	23,7
СЗ	6,8	8,3	10,0	15,0	8,3	11,3	6,3	10,7	11,3	4,3	8,3	9,3	13,0

Таблица 15

Суммарная повторяемость направлений ветра осенью в Санкт-Петербурге, с которыми связаны наиболее значительные адвективные изменения температуры

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Ю+ЮЗ+З	43,0	71,8	54,8	40,7	78,1	34,9	44,9	60,2	51,1	48,9	32,2	43,3	
СЗ+С+СВ	24,1	28,2	34,5	38,4	20,5	34,9	30,3	23,9	35,2	30,0	40,7	25,4	

Напр. ветра	Повторяемость, %												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ю+ЮЗ+З	45,2	57,0	40,3	31,0	58,7	60,3	78,0	58,0	56,0	63,7	52,7	52,7	59,0
СЗ+С+СВ	34,2	25,0	26,0	47,0	24,0	29,3	15,3	25,7	29,3	19,0	28,0	30,0	29,3

Для нескольких максимумов и минимумов осенних максимальных температур построены гистограммы. На рис. 7 показана повторяемость направлений ветра при трех максимумах во временном ходе осенних максимальных температур. Максимум 1991 г. образовался за счет высокой повторяемости южных, юго-западных и западных ветров. Максимум 2000 г. своим возникновением обязан высокой повторяемости

южных, юго-западных и юго-восточных ветров. Максимум 2005 г. образовался при очень высокой повторяемости юго-западных и южных ветров

На рис. 8 приводится гистограмма повторяемости направлений ветра, формирующих три минимума во временном ходе осенних максимальных температур. По сравнению с гистограммой, построенной для лет с максимальными значениями максимальной температуры воздуха (рис. 7), формирование минимумов (рис. 8) происходит при существенном увеличении повторяемости северо-западных и, особенно северных ветров. Увеличивается также повторяемость ветров восточных и северо-западных направлений.

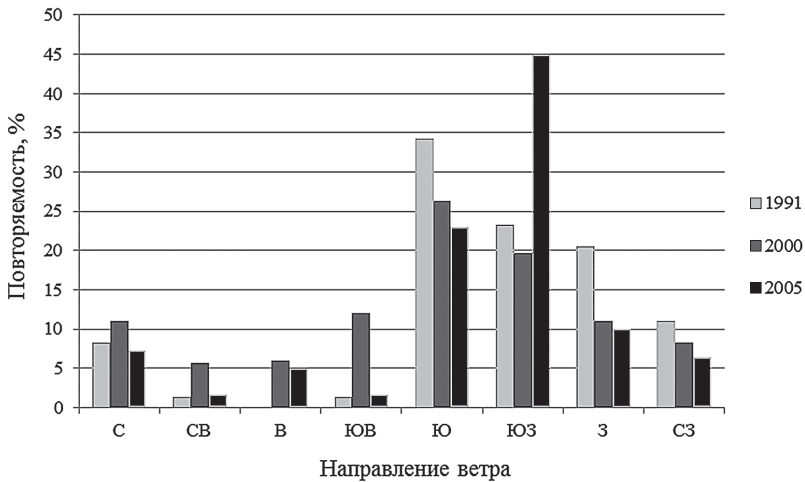


Рис. 7. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции тепла за отдельные годы за осенний период

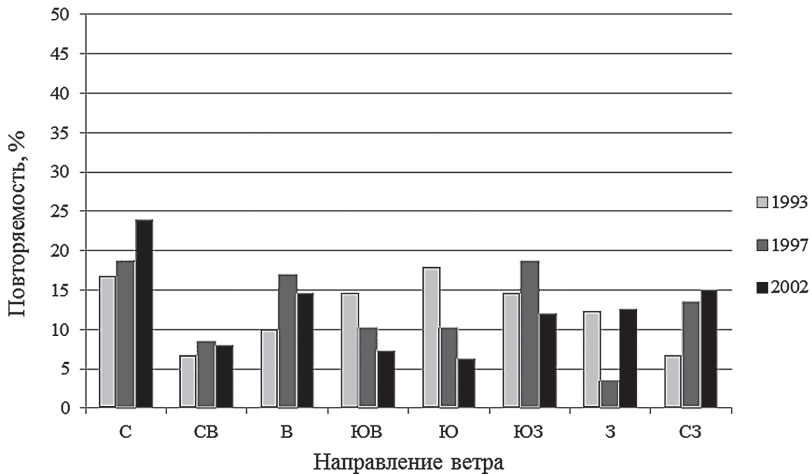


Рис. 8. Повторяемость направлений ветра (в %) при адвекции холода за отдельные годы за осенний период

В итоге можно сделать следующие выводы, касающиеся осеннего сезона. Осень вносит положительный вклад в многолетний рост максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. Максимумы и минимумы во временном ходе годовых и осенних экстремальных температур чаще всего совпадают. В первой половине изучаемого периода появление осенних максимумов и минимумов на один-два года опережал годовые максимумы.

Подводя итоги изучения сезонных особенностей многолетнего режима ежедневных значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге можно сделать несколько выводов.

1. Все сезоны, за исключением зимы, вносят положительный вклад в рост среднегодовых экстремальных температур от начала к концу изучаемого периода.
2. Согласованность положения сезонных максимумов и минимумов экстремальных температур со среднегодовыми в основные сезоны более высокая по сравнению с переходными сезонами.
3. Изменение многолетнего режима максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге тесно связано с изменениями сезонной повторяемости «теплых» и «холодных» ветров, что в свою очередь определяется изменением типов и интенсивности атмосферной циркуляции. С этими процессами связана адвективная (основная) часть изменений режима максимальных и минимальных температур.

Исследования финансировались Министерством образования и науки РФ в рамках государственного контракта: «Исследования и разработка научно-технических основ реагирования на разномасштабные климатические изменения при рациональном природопользовании в Арктике» № 14.515.11.0002.

Литература

1. Воробьев В.И., Расторгуева А.А. Некоторые особенности многолетнего режима ежедневных значений максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге на рубеже эпох. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 25, с. 59–67.
2. Климат Санкт-Петербурга и его изменения. / Под ред. В.П. Мелешко, А.В. Мещерской, Е.И. Хлебниковой. – Изд. ГГО им. А.И. Воейкова. – 256 с.
3. Климат Ленинграда под ред. Ц.А. Швер, Е.В. Алтыкиса, Л.С. Евтеевой. – Л.: 1982ю – 251 с.
4. Покровская Т.В., Бычкова А.Т. Климат Ленинграда и его окрестностей. – Гидрометеиздат, 1967. – 200 с.
5. Руководящий документ РД.52.88.629. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – М.: 2002. – 42 с.
6. Сохрина Р.Ф., Челпанова О.М., Шаров В.Я. Давление воздуха, температура воздуха и атмосферные осадки Северного полушария. // Атлас карт, Изд. ГГО, 1950. – 36 с.