

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.5 (571) +582.2+524.31

DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-67-77

**МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ЗИМНЕГО СЕЗОНА
ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****Ольга Сергеевна Литвинова**

SPIN-код: 7334-9006, Author ID: 166451

e-mail: olg.litwino2011@yandex.ru

Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск

Важными элементами крупномасштабной атмосферной циркуляции являются индексы Североатлантического (NAO), Арктического (AO), Восточно-атлантического (EA) и Скандинавского колебаний (SCAND). Формирование аномалий температуры воздуха в структурных единицах зимнего сезона обусловлено особенностями атмосферной циркуляции во взаимодействии с подстилающей поверхностью. При повышении средней месячной температуры воздуха в зимнем сезоне и усилении зонального переноса в ноябре индекса AO, в феврале и марте индекса NAO выявлено до 25% случаев экстремально теплых и холодных фаз зимы ($\Delta t \pm 2,1^\circ\text{C}$) в 1950–2015 гг. Целью данной работы является определение влияния макроциркуляционных условий, характеризующих основные процессы циркуляции Северного полушария, на формирование экстремально теплых и холодных фаз зимнего сезона на юго-востоке Западной Сибири. В процентном отношении установлен возможный вклад индексов в формирование экстремальных структурных единиц зимы. Полученные уравнения множественной регрессии объясняют изменения температуры воздуха в отдельные фазы зимнего сезона. Наиболее тесные связи выявлены между экстремально теплыми фазами зимы и положительными циркуляционными индексами NAO, AO, EA, отрицательным индексом SCAND и экстремально холодными фазами зимы и отрицательными индексами NAO, AO, EA, положительным индексом SCAND.

Ключевые слова: средняя суточная температура воздуха, фазы зимнего сезона, циркуляционные индексы, Западная Сибирь.

**MACROCIRCULATION CONDITIONS OF THE WINTER SEASON
IN THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA****Olga S. Litvinova**

SPIN-code: 7334-9006, Author ID: 166451

e-mail: olg.litwino2011@yandex.ru

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk

The North Atlantic (NAO), Arctic (AO), East Atlantic (EA) and Scandinavian (SCAND) fluctuation indices are important elements of large-scale atmospheric circulation. Formation of the air temperature anomalies in structural units during the winter season is due to the peculiarities of atmospheric circulation interacting with the underlying surface. With the elevation of average monthly air temperature in the winter season and increasing zonal transfer (in November – $AO > 0$, in February and March – $NAO > 0$), up to 25% cases of extremely warm and cold winter phases ($\Delta t \pm 2.1^\circ\text{C}$) were revealed in 1950–2015. The aim of this work is to determine the influence of microcirculation conditions characterizing the main circulation processes in the Northern hemisphere on extremely warm and cold phases of the winter season formed in the South-East of Western Siberia. The possible influence of the indices on the formation of extreme structural units of winter is presented in percentage terms. The final equations of multiple regressions explain the changes in the air temperature during certain phases of the winter season. A close connection has been revealed between extremely warm phases in winter and positive NAO, AO, EA circulation indices, with a negative SCAND index, between extremely cold phases in winter and negative NAO, AO, EA indices, with a positive SCAND index.

Keywords: average daily air temperature, winter season phases, circulation indexes, Western Siberia.

Введение

Исследования, посвященные изучению структуры сезонов года, в отличие от изучения годового цикла в целом, проводились Н.Н. Галаховым [6], Н.В. Рутковской [19], Л.Б. Филандышевой [22]. Н.Н. Галахов под естественными климатическими сезонами понимал «обособленные этапы годового цикла климатического компонента географической среды, характеризующиеся однотипностью, единой общей направленностью климатообразующих факторов и явлений и внешне выражающиеся в определенных взаимосвязанных становлениях других компонентов среды, изменениях аспектов ландшафтов» [6]. Н.В. Рутковская [19] исследовала сезонную структуру годового цикла (количество сезонов, из которых состоит год), структуру сезона – количество фаз (структурных единиц), входящих в него для территории Томской области. Л.Б. Филандышевой и др. [15; 22] выявлена тенденция уменьшения продолжительности зимнего сезона в природных зонах южной тайги и лесостепи на юго-западе Западной Сибирской равнины с семидесятых годов XX столетия за счет смещения дат начала сезона на более поздние сроки и дат конца – на более ранние.

В настоящее время в Северном полушарии, в том числе и на территории России, отмечается изменчивость климата, особенно в течение холодного периода. Начиная с середины 1970-х гг. средняя температура приземного воздуха на территории Российской Федерации повышается со средней скоростью $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет, в Западной Сибири – на $0,33^{\circ}\text{C}/10$ [5].

Изменчивость средних и аномальных величин температуры воздуха в холодный период связана с особенностями атмосферной циркуляции. Синхронные связи температуры приземного воздуха и циркуляции атмосферы над Северной Евразией зимой широко отражены в работах [1; 7; 8; 10–12; 14; 16–18]. В остальных сезонах года связь циркуляционных механизмов с колебаниями приземной температуры воздуха ослаблена из-за влияния радиационного фактора и подстилающей поверхности.

Для количественной оценки интенсивности атмосферной циркуляции вводятся количественные индексы, при определенных значениях которых на больших пространствах наблюдаются определенные типы макропроцессов. Временные ряды таких индексов служат основой для установления статистических связей между циркуляцией и различными метеорологическими величинами.

В.В. Попова, А.Б. Шмакин [17; 18] определили, что на территории России основная роль в изменениях зимней температуры воздуха (в январе и феврале) принадлежит Северо-атлантическому (NAO) и Скандинавскому (SCAND) колебаниям, а в период 1951–1971 гг. – колебаниям SCAND в марте. А.Б. Полонский, И.А. Кибальчич [16] выявили, что положительные фазы Скандинавского колебания зимой сопровождаются отрицательными аномалиями приземной температуры воздуха на большей части Восточной Европы. При положительных индексах NAO и АО зональная циркуляция усилена, при отрицательных индексах происходит ослабление зонального переноса и усиление меридиональных процессов [14]. В.Н. Крыжов [10; 11] установил, что аномалии интенсивности зональной циркуляции NAO, АО и аномалии циклонической активности на арктическом фронте в январе и феврале вносят существенный вклад в формирование аномалий средней месячной, сезонной и среднегодовой температур воздуха. При усилении градиента давления над Северной Атлантикой циклоны проходят по северо-западу и северу Европы и Сибири (до бассейна Лены), образуя зону низкого давления, которая не позволяет арктическим вторжениям проникать в низкие широты и подпитывать сибирский антициклон. В южные районы Западной Сибири, при ослаблении сибирского антициклона, проникают циклоны с юга. При отрицательной фазе индекса EA отмечаются усиление зонального переноса и формирование положительных аномалий температуры воздуха в восточной части Северной Атлантики и над территорией Западной Европы [12; 16]. Для юга Западной Сибири характерны отрицательные аномалии температуры воздуха. В случае положительной фазы индекса EA над рассматриваемой территорией отмечаются положительные аномалии температуры воздуха.

Влияние АО и связанного с ним NAO на климатические изменения в Западной Сибири описано в работах [2; 7]. Н.Н. Безуглова и другие [2] установили, что основные периоды колебаний рядов температуры и индекса NAO совпадают и составляют около 3–6, 7–12 и 20–40 лет. По мнению авторов [7], изменчивость температуры в Сибири (50 – 70° с.ш. 60 – 110° в.д.) сильно связана с изменчивостью индексов SCAND и АО и слабо с индексами NAO и SOI, увеличение температуры воздуха в феврале и марте обусловлено усилением циклонической активности и увеличением продолжительности пребывания циклонов.

Целью данной работы является определение влияния макроциркуляционных условий, характеризующих основные процессы циркуляции Северного полушария, на формирование экстремально теплых и холодных фаз зимнего сезона на юго-востоке Западной Сибири. Настоящая

работа является продолжением исследования [13], в котором выявлено, что при развитии атмосферных процессов западной формы циркуляции в ноябре–декабре формируется экстремально теплая фаза «умеренно-морозная зима», в январе–феврале – фаза «значительно-морозная зима»; экстремально холодная фаза «значительно-морозная зима» – при развитии атмосферных процессов восточной формы циркуляции в январе. Наряду с этим анализируется влияние по месяцам циркуляционных индексов, усиливающих зональный перенос, – Североатлантического (NAO), Арктического (АО), Восточно-атлантического (EA) колебаний, и блокирующего его – Скандинавское колебание (SCAND).

Таблица 1

Характеристика многолетней динамики температуры воздуха зимнего сезона на юго-востоке Западно-Сибирской равнины за 1950–2015 гг.

Метеостанция	Месяц	t_{cp}	σ	a	r/σ_r	t_r -критерий Стьюдента
Томск	XI	-9,1	4,2	0,08	0,34/0,11	3,13
	XII	-15,6	4,5	0,03	0,12/0,12	0,99
	I	-17,9	4,6	0,01	0,02/0,12	0,15
	II	-16,1	4,1	0,05	0,25/0,12	2,15
	III	-8,0	3,2	0,08	0,48/0,10	4,99
Барабинск	XI	-8,9	4,2	0,08	0,36/0,11	3,27
	XII	-15,6	4,2	0,02	0,11/0,12	0,86
	I	-18,7	4,5	0,03	0,11/0,12	0,86
	II	-17,4	4,0	0,08	0,28/0,11	2,46
	III	-9,5	3,4	0,09	0,50/0,09	5,30
Омск	XI	-7,8	4,0	0,07	0,31/0,11	2,72
	XII	-14,4	4,2	0,02	0,09/0,12	0,72
	I	-17,5	4,3	0,03	0,12/0,12	0,97
	II	-16,3	4,0	0,06	0,30/0,11	2,61
	III	-8,2	3,3	0,10	0,54/0,09	6,12
Бийск	XI	-7,0	4,1	0,07	0,34/0,11	3,09
	XII	-13,8	4,4	0,03	0,14/0,12	1,17
	I	-16,7	4,4	0,02	0,09/0,12	0,70
	II	-15,3	4,1	0,04	0,18/0,12	1,52
	III	-7,8	3,6	0,07	0,38/0,11	3,55
Камень-на-Оби	XI	-7,9	4,3	0,08	0,36/0,11	3,34
	XII	-14,8	4,4	0,02	0,08/0,12	0,68
	I	-18,1	4,8	0,01	0,05/0,12	0,44
	II	-16,8	4,1	0,04	0,17/0,12	1,41
	III	-9,1	3,4	0,07	0,37/0,11	3,47
Славгород	XI	-7,1	4,4	0,08	0,36/0,11	3,28
	XII	-14,3	4,2	0,02	0,09/0,12	0,75
	I	-17,8	4,6	0,03	0,10/0,12	0,83
	II	-16,7	4,0	0,05	0,25/0,12	2,10
	III	-9,0	3,5	0,08	0,41/0,10	3,99

Примечание: t_{cp} – средняя температура воздуха за период, °С; σ – среднее квадратическое отклонение; a – коэффициент линейного тренда, °/год; r – коэффициент корреляции тренда, σ_r – стандартная ошибка коэффициента корреляции; статистически значимые коэффициенты тренда выделены жирным шрифтом (при уровне значимости $p \leq 0,05$).

Материалы и методы исследования

Исследование охватывает территорию Томской, Омской, Новосибирской областей и Алтайского края. Для статистических оценок использованы обобщенные материалы многолетних наблюдений ВНИИГМИ-МЦД [4] за среднесуточными значениями температуры воздуха по 6 метеостанциям: Омск, Барабинск, Томск, Камень-на-Оби, Славгород и Бийск и циркуляционные индексы [24] за 1950–2015 гг. Циркуляционные индексы регулярно рассчитываются по данным о геопотенциале H_{700} , H_{500} или приземного давления (на основе базового периода 1981–2010 гг.) в Центре прогнозов климата Национального управления по исследованию океана и атмосферы США (NOAA). Названия их отражают географическое расположение областей связанных колебаний атмосферной циркуляции.

Для выявления влияния макроциркуляционных процессов на формирование экстремально теплых и холодных фаз зимнего сезона применялись корреляционный и регрессионный методы.

Тенденция изменения среднемесячной температуры воздуха за период 1950–2015 гг. в ноябре–марте на всей рассматриваемой территории характеризуется положительным трендом. Статистически значимые тенденции увеличения температуры воздуха ($r=0,25-0,54$, при уровне значимости 0,05 значение коэффициента корреляции равно 0,21) отмечаются в ноябре, феврале и марте (табл. 1), хотя при исследовании более длительного периода 1936–2015 гг. [13] для февраля получены статистически незначимые тенденции.

Наиболее значительное повышение температуры воздуха характерно для марта ($0,7-0,10^{\circ}\text{C}/10$ лет). Данные выводы согласуются с результатами работ, проводимых по территории Западной Сибири, Среднего и Южного Урала [7; 22]. В них авторы за разные периоды осреднения отмечают наиболее значимое повышение температуры воздуха в холодный период именно в марте – в Западной Сибири – $0,77^{\circ}\text{C}/10$ лет [7], на Урале – $3,0-3,9^{\circ}\text{C}/50$ лет [23].

Тенденция изменения циркуляционных индексов за период 1950–2015 гг. в ноябре–марте характеризуется как положительным, так и отрицательным трендом (табл. 2). Статистически значимые тенденции увеличения индексов отмечаются в ноябре – АО ($r=0,31$), январе–марте – НАО ($r=0,34-0,38$) и ноябре–январе – ЕА ($r=0,37-0,45$). В остальных случаях процессы роста и падения макроциркуляционных индексов являются статистически не значимыми.

Таким образом, выявленный рост температуры воздуха в зимнем сезоне за 1950–2015 гг. на исследуемой территории обусловлен увеличением зонального переноса в ноябре – при индексах АО и ЕА, в феврале и марте – при индексе НАО.

Таблица 2

Характеристика многолетней динамики циркуляционных индексов зимнего сезона за период 1950–2015 гг.

Индекс	Месяц	<i>A</i>	r/σ_r	t_r -критерий Стьюдента
NAO	XI	0,01	0,16/0,12	1,28
	XII	0,01	0,16/0,12	1,35
	I	0,02	0,34/0,11	3,03
	II	0,02	0,35/0,11	3,14
	III	0,01	0,38/0,11	3,54
АО	XI	0,01	0,31/0,11	2,75
	XII	0,004	0,06/0,12	0,51
	I	0,02	0,20/0,12	1,62
	II	0,02	0,23/0,12	1,91
	III	0,02	0,23/0,12	1,94
ЕА	XI	0,02	0,37/0,11	3,44
	XII	0,03	0,40/0,10	3,77
	I	0,03	0,45/0,10	4,45
	II	0,01	0,23/0,12	1,99
	III	0,01	0,22/0,12	1,81
SCAND	XI	-0,01	0,14/0,12	1,13
	XII	-0,01	0,14/0,12	1,15
	I	-0,002	0,05/0,12	0,39
	II	-0,001	0,02/0,12	0,19
	III	-0,004	0,09/0,12	0,69

Примечание: *a* – коэффициент линейного тренда; *r* – коэффициент корреляции тренда, σ_r – стандартная ошибка коэффициента корреляции; статистически значимые коэффициенты тренда выделены жирным шрифтом (при уровне значимости $p \leq 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Средняя многолетняя структура зимнего сезона на юго-востоке Западной Сибири трехфазная. Она включает в себя следующие структурные единицы: «умеренно-морозная зима», «значительно-морозная зима» и «предвесенье» [6].

Начало зимы (фаза «умеренно-морозная зима») совпадает со средней датой образования устойчивого снежного покрова, уменьшением месячных сумм осадков и переходом среднесуточной температуры воздуха через -3°C [19], смещением полярного фронта на юг (в пределы Средней Азии

и Ирана), почти полным прекращением южных вторжений, смещением арктического фронта к 70° с.ш. [20]. Понижение температуры происходит в результате увеличения повторяемости незональной циркуляции атмосферы и распространения воздуха с востока в связи с развитием сибирского антициклона. Юго-восточные районы Западной Сибири охлаждаются быстрее, чем юго-западные, находящиеся под влиянием западной циркуляции. Центром холода на рассматриваемой территории на протяжении всей зимы (ноябрь-март) становятся котловины Барабы и Кулунды, средняя месячная температура воздуха ниже, чем в восточных и западных районах. Средние многолетние даты начала и окончания фазы на севере рассматриваемой территории соответствуют 2.11-06.12 и на юге – 10.11–10.12.

Вторая фаза зимы («значительно-морозная зима») характеризуется устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через -18°C как в начале, так и в конце.

Начало третьей фазы («предвесенье») выделяется по дате перехода средней суточной температуры воздуха через -18°C , ее окончание – по дате перехода через -3°C и момента достижения максимальных запасов воды в снежном покрове, ослабления сибирского антициклона, медленного смещения арктического и полярного фронтов в более северные широты и увеличения южных вторжений. Средние многолетние даты начала и окончания фазы соответствуют 23.02–26.03.

Повышение температуры воздуха в ноябре, феврале и марте оказывает влияние на смещение дат начала и окончания сроков зимы и уменьшение продолжительности зимнего сезона и фазы «значительно-морозная зима» (4 дня/10 лет).

Фазы с отклонениями средней температуры воздуха более чем на $\pm 2,1^{\circ}\text{C}$ ($1,5\sigma$) принимались за экстремально теплые или экстремально холодные. Фазы, когда температура отклонялась от средней многолетней не более чем на $0,9^{\circ}\text{C}$ в зимнем сезоне, наблюдались в 25–45% случаев (табл. 3).

К экстремально теплым и холодным относились в 13–25% случаев фазы «умеренно-морозная зима» и «значительно-морозная зима». Наибольшая повторяемость экстремально холодной фазы «умеренно-морозная зима» характерна для северных и центральных районов исследуемой территории. На большей части рассматриваемой территории отсутствовали фазы: в пяти случаях (1953/54, 1954/55, 1984/85, 1987/88 и 2002/03 гг.) – «умеренно-морозная зима», в 14 случаях – «значительно-морозная зима», из них в 9 случаях (1959/60, 1962/1963, 1980/81, 1989/90, 1990/91, 1992/93, 1994/95, 2001/02 и 2003/04 гг.) фаза «умеренно-морозная зима» была экстремально холодной. По мнению В.А. Брок, З.П. Коженковой [3; 9], экстремально холодные зимы формируются при частых вторжениях арктических масс или стационарировании антициклонов на юго-востоке Западной Сибири, экстремально теплые зимы – при прохождении исландских циклонов по северным или средним траекториям.

Анализ макроциркуляционных процессов. Значимые коэффициенты корреляции между экстремально теплыми и холодными фазами зимнего сезона и циркуляционными индексами выявлены лишь в отдельные фазы, тем не менее их вклад в климатический режим может быть существенным. Наиболее тесные связи получены между положительными циркуляционными индексами NAO, AO, EA, отрицательным индексом SCAND и экстремально теплыми фазами зимы (табл. 4) и отрицательными индексами NAO, AO, EA, положительным индексом SCAND и экстремально холодными фазами зимы (табл. 5).

Наиболее тесные связи между экстремально теплой фазой «умеренно-морозная зима» и циркуляционными индексами получены лишь для юго-востока рассматриваемой территории (Бийск), в остальных случаях выявлены статистически не значимые связи. Существенное влияние на формирование экстремально теплой фазы «умеренно-морозная зима» оказывают индексы $EA > 0$ и $SCAND < 0$ (вклад индексов составил 53 и 47% соответственно).

Экстремально теплая фаза «значительно-морозная зима» формируется при $NAO > 0$ в декабре на большей части территории (Омск, Барабинск, Камень-на-Оби, Славгород), в январе – на севере (Томск) и юге (Славгород). В феврале, в западных (Омск) и центральных (Барабинск) районах, основное влияние на формирование экстремально теплой фазы «значительно-морозная зима» оказывают индексы циркуляции $NAO > 0$ и $SCAND < 0$ (их вклад составил 27–21% и 73–79 % соответственно). Коэффициент множественной корреляции составляет 0,95–0,93. При уровне значимости 0,05 значение коэффициента корреляции равно 0,67. В южных районах (Славгород) значительную роль играют индексы $AO > 0$ и $SCAND < 0$ ($R=0,75$, вклад 52 и 48 %).

Таблица 3

Повторяемость типов фаз зимнего сезона по характеру изменчивости температуры воздуха за период 1950–2015 гг., %

Фаза	Повторяемость типов фаз, %				
	I	II	III	IV	V
<i>Томск</i>					
«Умеренно-морозная зима»	25	15	25	10	25
«Значительно-морозная зима»	20	16	35	11	18
«Предвесенье»	15	18	36	11	20
<i>Барабинск</i>					
«Умеренно-морозная зима»	25	9	25	21	20
«Значительно-морозная зима»	17	17	38	13	15
«Предвесенье»	12	15	45	11	17
<i>Омск</i>					
«Умеренно-морозная зима»	21	14	31	14	20
«Значительно-морозная зима»	18	15	37	13	17
«Предвесенье»	8	22	38	20	12
<i>Бийск</i>					
«Умеренно-морозная зима»	18	11	42	14	15
«Значительно-морозная зима»	19	23	31	8	19
«Предвесенье»	11	18	39	20	12
<i>Камень-на Оби</i>					
«Умеренно-морозная зима»	22	6	40	15	17
«Значительно-морозная зима»	17	21	32	17	13
«Предвесенье»	14	12	45	14	15
<i>Славгород</i>					
«Умеренно-морозная зима»	23	8	35	19	15
«Значительно-морозная зима»	20	12	36	16	16
«Предвесенье»	15	14	37	22	12

Примечание: I – экстремально теплая фаза ($>+2,1^{\circ}\text{C}$), II – теплая ($+1,0\dots+2,0^{\circ}\text{C}$), III – нормальная ($0,0\pm 0,9^{\circ}\text{C}$), IV – холодная ($-1,0\dots-2,0^{\circ}\text{C}$), V – экстремально холодная ($<-2,1^{\circ}\text{C}$)

При усилении градиента давления над Северной Атлантикой циклоны проходят по северо-западу и северу Европы и Сибири (до бассейна Лены), образуя зону низкого давления, которая не позволяет арктическим вторжениям проникать в низкие широты и подпитывать сибирский антициклон [10]. В период 1976–2006 гг., в феврале, рассматриваемая территория находилась под влиянием циклонов (22 случая), смещающихся с северных районов Западной Сибири к югу, и северных циклонов (35 случаев), смещающихся из районов Кольского полуострова, севера ЕТР и Северного Урала (на долю которых приходится 30% общего числа в феврале и марте) [21]. Уменьшение давления и повышение температуры воздуха происходят в феврале и марте происходит в основном за счёт увеличения числа циклонов, вторгающихся на исследуемую территорию из районов Кольского полуострова. В годы с экстремально теплой фазой «значительно-морозная зима» продолжительность влияния данных циклонов была выше средних многолетних значений.

Наибольший вклад в формирование экстремально теплой фазы «предвесенье» вносит в феврале индекс $EA>0$ ($R=0,65-0,87$, t_r – значения равны 2,36...3,94). При уровне значимости 0,05 значение коэффициента корреляции равно 0,63. В юго-восточных районах (Бийск) значительная роль принадлежит отрицательной фазе индекса EA. Для западных (Омск), южных (Славгород) и юго-восточных районов (Камень-на-Оби) значимые связи между экстремально теплой фазой «предвесенье» и циркуляционными индексами не выявлены.

Экстремально холодная фаза «умеренно морозная зима» отмечается при ослаблении зонального переноса в ноябре-январе на севере исследуемой территории (Томск). Значительную роль в формировании экстремально холодной фазы в ноябре и декабре играют индексы $AO<0$ и $SCAND>0$ (их вклад в ноябре – 56 и 44%, в декабре – 38 и 62% соответственно), в январе – $NAO<0$ (табл. 5). В годы, когда отсутствовала фаза «значительно-морозная зима», как уже было сказано ранее, в январе и феврале отмечались отрицательные значения индексов NAO и AO на большей части исследуемого региона, за исключением западных районов (Омск), в которых основной вклад вносит индекс $EA>0$ ($R=0,77$).

Таблица 4
Значимые коэффициенты множественной корреляции между экстремально теплыми фазами ($\Delta t > +2,1^\circ\text{C}$) зимнего сезона и циркуляционными индексами

Фаза*	Вид зависимости	R/σ_r	t-критерий Стьюдента	Детерминированный вклад
Томск				
2	$t = a_1 NAO_I > 0 + b$	0,67/0,17	2,69	–
3	$t = a_1 NAO_{II} > 0 + a_2 SCAND_{II} < 0 + b$ $t = a_1 EA_{II} > 0 + b$	0,78/0,13 0,65/0,20	-2,26; -3,06 2,36	27; 73 –
Барабинск				
2	$t = a_1 NAO_{XII} > 0 + b$ $t = a_1 AO_{XII} > 0 + b$ $t = a_1 NAO_{II} > 0 + a_2 SCAND_{II} < 0 + b$	0,72/0,17 0,67/0,20 0,93/0,05	2,71 2,36 2,66; -5,45	– – 21; 79
3	$t = a_1 NAO_{II} > 0 + a_2 SCAND_{II} < 0 + b$ $t = a_1 EA_{II} > 0 + b$ $t = a_1 AO_{III} > 0 + b$	0,88/0,04 0,83/0,11 0,77/0,16	3,36; -2,54 3,59 2,94	59; 41 – –
Омск				
2	$t = a_1 AO_{XII} > 0 + b$ $t = a_1 NAO_{II} > 0 + a_2 SCAND_{II} < 0 + b$	0,64/0,20 0,95/0,03	2,36 3,22; -6,15	– 27; 73
Бийск				
1	$t = a_1 EA_{XI} > 0 + a_2 SCAND_{XI} < 0 + b$	0,68/0,16	2,28; -2,17	53; 47
3	$t = a_1 EA_{II} < 0 + b$ $t = a_1 SCAND_{II} > 0 + b$	0,84/0,12 0,87/0,10	-3,52 3,94	– –
Камень-на-Оби				
2	$t = a_1 NAO_{XII} > 0 + a_2 SCAND_{XII} < 0 + b$ $t = a_1 SCAND_{II} < 0 + b$	0,95/0,04 0,84/0,10	6,73; 3,21 -4,15	83; 17 –
Славгород				
2	$t = a_1 NAO_{XII} > 0 + b$ $t = a_1 NAO_I > 0 + b$ $t = a_1 AO_I > 0 + b$ $t = a_1 AO_{II} > 0 + a_2 SCAND_{II} < 0 + b$	0,63/0,20 0,76/0,14 0,70/0,17 0,75/0,14	2,32 3,28 2,79 2,21; -2,10	– – – 52; 48

Примечание: фазы: 1 – «умеренно-морозная зима», 2 – «значительно-морозная зима», 3 – «предвесенье»; R – коэффициент множественной корреляции, σ_r – стандартная ошибка коэффициента корреляции; статистически значимые коэффициенты выделены жирным шрифтом (при уровне значимости $p \leq 0,05$).

Экстремально холодная фаза «значительно-морозная зима» выявлена при отрицательных индексах NAO, AO и положительном индексе SCAND в декабре–феврале. В западных районах (Омск) основной вклад принадлежит $NAO < 0$ (76 %) и $AO < 0$ (24 %). Экстремально низкие аномалии температуры на большей части Восточной Европы чаще всего отмечаются при совпадении отрицательной фазы Восточно-атлантического колебания и положительной фазы Скандинавского колебания [16]. Подобная зависимость получена для южных районов исследуемой территории (Славгород) в январе – $EA < 0$ и $SCAND > 0$ (вклад индексов составил 53 и 47% соответственно). Экстремально холодная фаза «значительно-морозная зима» выявлена в 1966/67, 1968/69, 1976/77 и 2007/2008 гг. (отклонение температуры воздуха от среднесезонных значений превышало $3,0^\circ\text{C}$). Для северных районов (Томск) получены статистически не значимые связи между экстремально холодной фазой «значительно-морозная зима» и циркуляционными индексами.

Ослабление зонального переноса приводит к увеличению повторяемости арктических вторжений и отрицательным аномалиям температуры [10]. В период с 1976 по 2006 г. рассматриваемая территория в феврале чаще всего находилась под влиянием антициклонов с центром над Тывой, Алтаем, Монголией (31 случай) [21]. В годы с экстремально холодными фазами «умеренно-морозная» и «значительно-морозная зима» продолжительность влияния данных антициклонов была выше средних многолетних значений.

Наиболее тесные связи между экстремально теплой фазой «предвесенье» и циркуляционными индексами получены в марте лишь для юго-востока (Камень-на-Оби, Бийск) при положительном индексе EA, на остальной территории получены статистически не значимые связи.

Таблица 5

Значимые коэффициенты парной корреляции между экстремально холодными фазами ($\Delta t < -2,1^\circ\text{C}$) зимнего сезона и циркуляционными индексами

Фаза*	Вид зависимости	Коэффициент множественной корреляции (R)	t-критерий Стьюдента	Детерминированный вклад
Томск				
1	$t = a_1 AO_{XI} < 0 + a_2 SCAND_{XI} > 0 + b$	0,73/0,12	2,57; -2,23	56; 44
	$t = a_1 AO_{XII} < 0 + a_2 SCAND_{XII} < 0 + b$	0,69/0,14	2,55; 2,99	38; 62
	$t = a_1 NAO_I < 0 + b$	0,91/0,08	4,41	–
	$t = a_1 AO_I < 0 + b$	0,87/0,11	3,53	–
Барабинск				
1	$t = a_1 NAO_I < 0 + b$	0,73/0,18	2,59	–
	$t = a_1 AO_I < 0 + b$	0,88/0,08	4,60	–
2	$t = a_1 NAO_{XII} < 0 + b$	0,75/0,16	2,78	–
	$t = a_1 AO_I < 0 + b$	0,89/0,08	4,72	–
	$t = a_1 NAO_{II} < 0 + b$	0,72/0,18	2,52	–
Омск				
1	$t = a_1 EA_{II} > 0 + b$	0,77/0,17	2,68	–
2	$t = a_1 NAO_{XII} < 0 + a_2 AO_{XII} < 0 + b$	0,77/0,14	2,88; -2,37	76; 24
Бийск				
1	$t = a_1 NAO_I < 0 + b$	0,88/0,10	-3,71	–
2	$t = a_1 NAO_{II} < 0 + b$	0,71/0,16	2,88	–
	$t = a_1 SCAND_{II} > 0 + b$	0,80/0,12	-3,77	–
3	$t = a_1 EA_{III} > 0 + b$	0,75/0,16	-2,77	–
Камень-н-Оби				
1	$t = a_1 SCAND_I < 0 + b$	0,78/0,15	3,07	–
2	$t = a_1 AO_{XII} < 0 + a_2 SCAND_{XII} < 0 + b$	0,82/0,14	-2,12; -2,78	14; 86
	$t = a_1 NAO_I < 0 + a_2 AO_I < 0 + b$	0,89/0,08	-3,05; 3,69	50; 50
	$t = a_1 NAO_{II} < 0 + b$	0,83/0,12	3,35	–
	$t = a_1 AO_{II} < 0 + b$	0,82/0,13	3,21	–
3	$t = a_1 EA_{III} > 0 + b$	0,88/0,08	-5,18	–
Славгород				
1	$t = a_1 NAO_{II} < 0 + b$	0,74/0,18	-2,45	–
	$t = a_1 AO_{II} < 0 + b$	0,90/0,08	-4,49	–
2	$t = a_1 EA_I < 0 + a_2 SCAND_I > 0 + b$	0,83/0,12	2,56; -2,69	53; 47
	$t = a_1 NAO_{II} < 0 + b$	0,72/0,18	2,51	–

Выводы

1. Макроциркуляционные условия, характеризующие основные процессы циркуляции Северного полушария, оказывают существенное влияние не только на изменение средней месячной температуры воздуха зимнего сезона, но и формирование экстремально теплых и холодных фаз зимы.

2. Рост температуры воздуха в зимнем сезоне за 1950–2015 гг. на юго-востоке Западной Сибири обусловлен увеличением зонального переноса при индексах – в ноябре АО и ЕА, в феврале и марте – NAO.

3. Значимые коэффициенты корреляции между экстремально теплыми и холодными фазами зимнего сезона и циркуляционными индексами выявлены лишь в отдельные фазы, тем не менее их вклад в климатический режим может быть существенным.

4. Наиболее тесные связи получены между положительными циркуляционными индексами NAO, АО, ЕА, отрицательным индексом SCAND и экстремально теплыми фазами зимы и отрицательными индексами NAO, АО, ЕА, положительным индексом SCAND и экстремально холодными фазами зимы.

Библиографический список

1. Бардин М.Ю., Платонова Т.В., Самохина О.Ф. Особенности изменчивости циклонической активности в умеренных широтах северного полушария, связанные с ведущими модами атмосферной циркуляции в Атлантико-Евразийском секторе // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 2. С. 14–40.

2. Безуглова Н.Н., Зинченко Г.С., Суковатов Ю.А. Периодичность многолетних рядов приземных температур и некоторых индексов циркуляции атмосферы на юге Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. №1. С. 22–24.
3. Брок В.А. Климатическая характеристика аномалий температуры юго-восточной части Западной Сибири // Труды ТГУ. 1957. Т.147. С. 136–144.
4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения: 25.04.2016).
5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. С. 8–10.
6. Галахов Н.Н. Изучение структуры климатических сезонов года. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 183 с.
7. Горбатенко В.П., Инполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Поднебесных Н.В., Харюткина Е.В. Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. №1. С. 15–21.
8. Гурьянов Д.А. Роль атмосферной циркуляции в изменчивости температуры в зимний период в Санкт-Петербурге // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2014. №168. С. 43–49.
9. Коженкова З.П. Температурный режим и режим осадков Томской области // Труды ТГУ. 1957. С. 145–166.
10. Крыжов В.Н. Связь среднемесячной, сезонной и годовой температуры воздуха на севере России с индексом зональной циркуляции зимой // Метеорология и гидрология. 2003. №2. С. 15–27.
11. Крыжов В.Н., Горелиц О.В. Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XX в. // Метеорология и гидрология. 2015. №11. С. 5–19.
12. Куликова И.А., Круглова Е.Н., Киктев Д.Б. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости. Ч. II. Их влияние на пространственное распределение температуры и осадков на территории Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2015. №4. С. 5–15.
13. Литвинова О.С. Климатическая структура зимнего сезона на юго-востоке западной Сибири // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. №4(11). URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/4/00474.pdf> (дата обращения: 25.04.2016).
14. Нестеров Е.С. Особенности циркуляции атмосферы в Северной Атлантике в последние десятилетия // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. 2010. С. 269–280.
15. Окишева Л.Н., Филандышева Л.Б. Временная динамика и функционирование ландшафтов Западной Сибири. Томск: Издательский Дом ТГУ, 2015. С. 262–271.
16. Полонский А.Б., Кибальчич И.А. Циркуляционные индексы и температурный режим Восточной Европы в зимний период // Метеорология и гидрология. 2015. №1. С. 5–17.
17. Попова В.В., Шмакин А.Б. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX– начале XXI веков // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т.46. №2. С. 161–175.
18. Попова В.В., Шмакин А.Б. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. 2006. №12. С. 15–25.
19. Рутковская Н.В. Климатическая характеристика сезонов года Томской области. Томск: Изд-во ТГУ, 1979. 116 с.
20. Сляднев А.П. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины // География Западной Сибири. Новосибирск, 1965. С. 51–53.
21. Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П., Поднебесных Н.В. Особенности циклогенеза над территорией Западной Сибири за период 1976–2015 гг. // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. №364. С. 81–92.
22. Филандышева Л.Б. Анализ динамических вариантов структуры зимнего сезона года и их климатических характеристик на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Вестник Томского государственного университета. 2012. Вып. 364. С. 196–202.
23. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Оценка изменений температуры воздуха и осадков Среднего и Южного Урала в XX веке // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. Вып. 5. №5(220). С. 61–69.

24. *Climate Prediction Center*. URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (дата обращения: 25.04.2016).

References

1. Bardin M.Yu., Platonova T.V., Samokhina O.F. (2015). "Features of variability of cyclonic activity in the temperate latitudes of the Northern hemisphere associated with the leading modes of atmospheric circulation in the Atlantic-Eurasian sector", *Fundamental and Applied Climatology*, Vol.2, pp. 14-40.
2. Bezuglova N.N., Zinchenko G.S., Sukovatov Yu. A. (2009), "Periodicity of long-term series of surface temperatures and some indexes of atmospheric circulation in the South of the Western Siberia", *Optics of the Atmosphere and Ocean*, Vol. 22, no. 1, pp. 22-24.
3. Brock V.A. (1957), "Climatic characteristics of temperature anomalies in the South-Eastern part of the Western Siberia", *Proceedings of TSU*, Vol.147, pp.136-144.
4. The official site of All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, [*Vserossijskij Nauchno-Issledovatel'skij Institut Gidrometeorologicheskoy Informacii - Mirovoj Centr Danykh*], available at <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (Accessed 25 April 2016).
5. The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation (2014), [*Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federacii*], Moscow, Russia, pp.8-10.
6. Galakhov N. N. (1959), Study of the climatic season structure, [*Izuchenie struktury klimaticheskikh sezonov goda*], the USSR Academy of Sciences, Moscow, Russia.
7. Gorbatenko V.P., Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Loginov S.V., Podnebesnykh N.V., Kharyutkina E.V. (2011), "Influence of atmospheric circulation on the temperature regime of Siberia", *Optics of the atmosphere and the ocean*, Vol. 24, no. 1, pp. 15-21.
8. Guryanov D.A. (2014), "The role of atmospheric circulation in temperature variability in winter in St. Petersburg", *Izvestiya of the A.I. Herzen State Pedagogical University of Russia.*, no.168, pp.43-49.
9. Kozhenkova Z.P. (1957), "Temperature regime and precipitation regime of the Tomsk region", [*Temperaturnyj rezhim i rezhim osadkov Tomskoj oblasti*], *Proceedings of the TSU*, pp. 145-166.
10. Kryzhov V.N. (2003), "Relationship between the average monthly, seasonal and annual air temperature in the North of Russia with the zonal circulation index in winter", *Meteorology and Hydrology*, no.2, pp.15-27.
11. Kryzhov V.N. and Gorelits O.V. (2015), "Arctic oscillation and its influence on temperature and precipitation in Northern Eurasia in the 20th century", *Meteorology and hydrology*, no.11, pp. 5-19.
12. Kulikova I.A., Kruglova E.N. and Kiktev, D.B. (2015), "Large-scale fashion atmospheric variability. Part II. Their influence on spatial distribution of temperature and precipitation in Northern Eurasia", *Meteorology and Hydrology*, no.4, pp. 5-15.
13. Litvinova O.S. (2017), "The climatic structure of the winter season in the South-East of the Western Siberia", *Electronic scientific-methodical journal of Omsk State University*, no.4(11). URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/4/00474.pdf> (Accessed 25 April 2016).
14. Nesterov E.S. "Features of circulation of the atmosphere in the North Atlantic in recent decades" / Modern problems of the dynamics of the ocean and the atmosphere, [*Osobennosti cirkulyacii atmosfery v Severnoj Atlantike v poslednie desyatiletija*], (2010), pp. 269-280.
15. Okisheva L.N. and Filandysheva L.B. (2015), "Temporal dynamics and functioning of landscapes of Western Siberia", [*Vremennaya dinamika i funkcionirovanie landshaftov Zapadnoj Sibiri*], TSU Publishing House, Tomsk, Russia.
16. Polonsky A.B. and Kibalchich I.A. (2015), "Circulation indices and temperature regime of Eastern Europe in winter", *Meteorology and hydrology*, no.1, pp. 5-17.
17. Popova V.V. and Shmakin A.B. (2010), "Regional structure of surface air temperature fluctuations in Northern Eurasia in the second half of XX - beginning of XXI centuries", *Izvestiya RAN. Physics of the atmosphere and ocean*, Vol.46, no.2, pp.161-175.
18. Popova V.V. and Shmakin A.B. (2006), "Circulation mechanisms of large-scale air temperature anomalies in winter in Northern Eurasia at the end of the 20th century", *Meteorology and Hydrology*, no.12, pp.15-25.
19. Rutkovskaya N. V. (1979), Climatic characteristics of the seasons in Tomsk region. [*Klimaticheskaya kharakteristika sezonov goda Tomskoy oblasti*], Tomsk State University, Tomsk, Russia.
20. Slyadnev A.P. (1965), "Geographical basis of climatic zoning and the experience of their application in the southeast of the West Siberian Plain", // *Geography of Western Siberia*, Novosibirsk, Russia.

21. Tunaev E.L., Gorbatenko V.P., Podnebesnykh N.V. (2017), "Features of cyclogenesis over the territory of Western Siberia for the period 1976-2015", *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, no. 364. pp. 81-92.

22. Filandysheva, L.B. (2012), "Analysis of the dynamic variants of structure of the winter season of the year and their climatic characteristics in the South-West of the West Siberian Plain", *Bulletin of Tomsk State University*, Issue. 364, pp. 196-202.

23. Shklyayev V.A. and Shklyayeva L.S. (2011), "Estimation of changes in air temperature and precipitation in the Middle and Southern Urals in the 20th century", *Bulletin of the Chelyabinsk State University*, Issue. 5, no. 5 (220). pp. 61-69.

24. Climate Prediction Center. Access mode: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (Accessed 25 April 2016).

Поступила в редакцию: 28.04.2018

Сведения об авторе

Литвинова Ольга Сергеевна

кандидат географических наук,
доцент кафедры географии, регионоведения и
туризма, Новосибирский государственный
педагогический университет;
Россия, 630126, Новосибирск,
ул. Вилуйская, 28

About the author

Olga S. Litvinova

Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Novosibirsk State Pedagogical
University;
28, Viluyskaya st., Novosibirsk, 630126, Russia

e-mail: olg.litwino2011@yandex.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Литвинова О.С. Макроциркуляционные условия зимнего сезона юго-востока Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 67–77. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-67-77

Please cite this article in English as:

Litvinova O.S. Macrocirculation conditions of the winter season in the south-east of Western Siberia// Geographical bulletin. 2018. №4(47). P. 67–77. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-67-77

УДК 551.582

DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-77-90

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Юлия Александровна Мишенина

e-mail jaselezneva29@gmail.com

Томский государственный университет, Томск

Владимир Вениаминович Севастьянов

SPIN-код: 6232-2079, Author ID: 154809

e-mail: vvsl87@mail.ru

Томский государственный университет, Томск

Рассматривается пространственная и временная изменчивость показателей продолжительности солнечного сияния в лесной зоне Западно-Сибирской равнины. Лесная зона в Западной Сибири располагается между 56 и 66 °с.ш. Эта территория интенсивно осваивается. В работе использованы результаты многолетних наблюдений за продолжительностью солнечного сияния на 33 метеорологических станциях, расположенных в различных частях лесной зоны. В южной части лесной зоны наблюдается до 2000 ч солнечного сияния за год. На севере эта величина составляет