

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ  
В УМЕРЕННЫХ ШИРОТАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ**

*М.Ю. Бардин*<sup>1), 2), 3)\*</sup>, *Т.В. Платова*<sup>1), 2)</sup>, *О.Ф. Самохина*<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; \* [mick-bardin@yandex.ru](mailto:mick-bardin@yandex.ru)

<sup>2)</sup> ФГБУН «Институт географии Российской академии наук», Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29

<sup>3)</sup> ФГБУН «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3

**Реферат.** Рассматриваются различные аспекты пространственно-временной изменчивости характеристик антициклонической циркуляции в Северном полушарии. Описаны особенности географического распределения повторяемости и показателей интенсивности приземных антициклонов в зимний и летний сезоны в целом за период 1951-2017 гг. и в противоположные фазы ведущих мод атмосферной циркуляции: Северо-Атлантического колебания, Скандинавской, Восточно-Атлантической мод и моды Восточная Атлантика – Западная Россия. Рассмотрены долгопериодные изменения повторяемости антициклонов в двух «ключевых» областях высокой антициклонической активности: на юго-востоке Северной Атлантики и в северной Монголии, а также в европейской части России. Помимо приземных антициклонов рассматривались также квазистационарные антициклонические циркуляции в средней тропосфере («блокинг»). Для летнего сезона выполнен анализ их повторяемости на территории Северной Евразии в противоположные фазы циркуляционных мод, выявивший яркие особенности, с которыми связана структура некоторых экстремальных сезонных аномалий. Обнаружено изменение географического распределения блокирований в положительной фазе Скандинавской моды зимой: перебрис максимума повторяемости из Сибири в европейскую часть России. Проанализирован возможный вклад этого явления в наблюдавшееся в период с середины 1990-х до 2010 года похолодание зим на территории России.

**Ключевые слова.** Антициклон, изменчивость, мода циркуляции, блокинг.

**Введение**

Статья продолжает цикл работ по изучению вихревой синоптической активности Северного полушария. Эта проблема имеет ряд аспектов различной степени изученности. Во-первых, это исследование среднего географиче-

---

ского распределения повторяемости и (реже) интенсивности циклонов и антициклонов и его сезонной изменчивости, т.е. стандартная климатология. Разумеется, этот вопрос исследовался уже достаточно долго, в основном для циклонов (Whittaker, Horn, 1984; Zishka, Smith, 1980). После создания компьютеризованных методов идентификации по данным о давлении (геопотенциале) типа реанализа (Бардин, 1995; Gulev et al., 2001; Murray, Simmonds, 1991 и др.) и проведенного масштабного сравнения результатов различных групп исследователей (IMILAST: Neu et al., 2013) этот аспект можно считать более или менее достаточно изученным. В то же время, к настоящему времени опубликован ряд работ по изменчивости вихревой активности синоптического масштаба – хотя публикаций по антициклонам явно недостаточно. Сезонные карты для циклонов (повторяемость общая, циклогенеза и циклолиза, площади и интенсивность циклонов) можно найти в работах (Polonskii et al., 2012; Бардин и др., 2015а). В ряде работ исследовалась связь горизонтальной структуры циклонической активности с ведущими модами климатической изменчивости. Видимо, одними из первых таких работ стали статьи (Gulev et al., 2001) для полушария и Североатлантического колебания - САК, (Бардин, Полонский, 2005) для Атлантико-Европейского сектора: циклоны и антициклоны, (Polonskii et al., 2012) для полушария, но лишь для САК и Эль-Ниньо, и (Бардин и др., 2015а) для САК и циркуляционных индексов Барнстона-Ливзи (Barnston, Livezey, 1987) – тех из них, структуры которых сосредоточены в Атлантико-Европейском секторе.

Горизонтальная ковариационная структура синоптических тропосферных вихрей (eddies) изучалась в (Lau, 1988; Бардин, 1999), а циклонов в атлантическом секторе в (Бардин, 2000). Последняя тема, по-видимому, заслуживает большего внимания, поскольку дает другой и, возможно, более прямой подход к исследованию пространственно-временной изменчивости вихревой синоптической активности, по сравнению с анализом условных статистик вихревой активности в противоположные фазы мод среднего потока.

Вопросы, связанные с изменчивостью антициклонической активности, изучены значительно хуже. Некоторые черты региональной изменчивости исследованы в (Воскресенская, Коваленко, 2015а); изменчивость в связи с квазидвухлетним колебанием рассмотрена в (Черенкова и др., 2015) В то же время, эти вопросы представляют особый интерес в связи исследованием климатической изменчивости, в особенности на «хвостах» распределений. Повышенной антициклонической активности соответствуют в летний сезон повышенные, а зимой пониженные температуры воздуха (волны тепла и холода); соответственно, долгопериодные изменения циклонической активности способствуют изменениям температурного режима. В условиях же квазистационарной антициклонической циркуляции (в антициклонических областях блокирующих систем) формируются экстремальные аномалии (Обухов и др., 1984; Бардин, 2007; ФАО, 2011).

В конце статьи рассматривается одно потенциальное приложение анализа изменений антициклонической активности к качественному объяснению значительных вариаций зимней температуры на территории России.

## Данные и методы анализа

Для расчета временных рядов характеристик антициклонов у поверхности и в тропосфере использовались поля геопотенциала H1000 и H500 реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) за 4 срока. Метод идентификации аналогичен использованному в (Бардин и др., 2015а), т.е. выделялись одноцентровые антициклоны с замкнутыми изогипсами. Для трекинга использовался метод «ближайшего соседа» с дополнительным условием перемещения не более 600 км за один срок. Архив траекторий фильтровался: оставлены лишь те антициклоны, которые просуществовали не менее 6 сроков.

Для выделения эпизодов квазистационарной антициклонической циркуляции («блокирования») использовался алгоритм, описанный в (Бардин, 2007). Замкнутая антициклоническая область в средней тропосфере (в поле «вихревой компоненты»  $\mathbf{H}^* = \mathbf{H} - \mathbf{E}^L \mathbf{H}$ , где  $\mathbf{E}^L$  – среднее по кругу широты) считалась «стационарной», если в течение 5 суток или более постоянно накрывала среднее за это время положение ее центра.

Аномалии среднесезонной (месячной) температуры рассчитывались на 3288 станциях сети мониторинга температуры суши Земного шара (Груза и др., 2015) как отклонения от средней базового периода 1961-90.

Среднесуточные температуры выбирались из архива TTTR ВНИИГМИ-МЦД, который содержит минимальную, максимальную и среднюю суточную температуру и суточную сумму осадков на 600 станциях РФ. Из них по критериям полноты данных (Бардин и др., 2014) выбраны 367 станций. Данные проконтролированы и преобразованы в «архив синоптического типа», т.е. 367-мерный временной ряд, снабженный за каждую дату призначной группой (год, месяц, день). Суточные аномалии рассчитывались как отклонения от годового хода, рассчитанного за весь период и сглаженного низкочастотным фильтром с точкой отсечения 90 суток.

Композиты рассчитывались, как условные средние для выборки месяцев соответствующего сезона со значениями выбранного индекса, представляющими противоположные фазы рассматриваемой моды, т.е. из определенной доли по краям ранжированной выборки:  $\mathbf{R} \cdot \mathbf{N}$ , где  $\mathbf{N}$  – объем выборки,  $\mathbf{R} < 0.5$  (значения указываются в каждом случае).

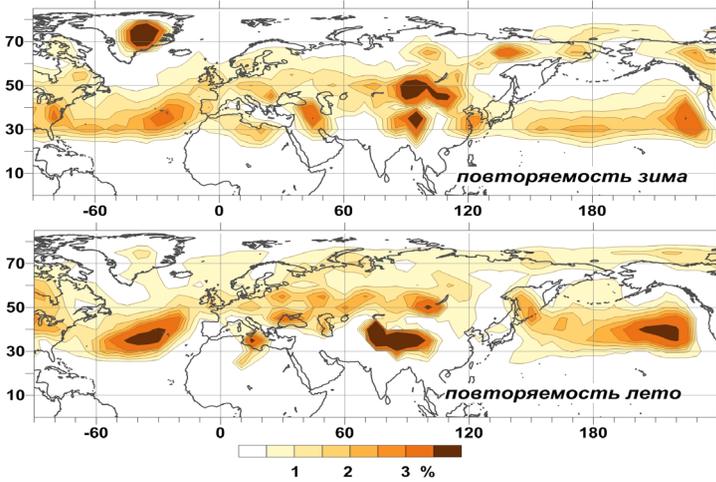
## Результаты

### *Климатология характеристик антициклонической активности у поверхности*

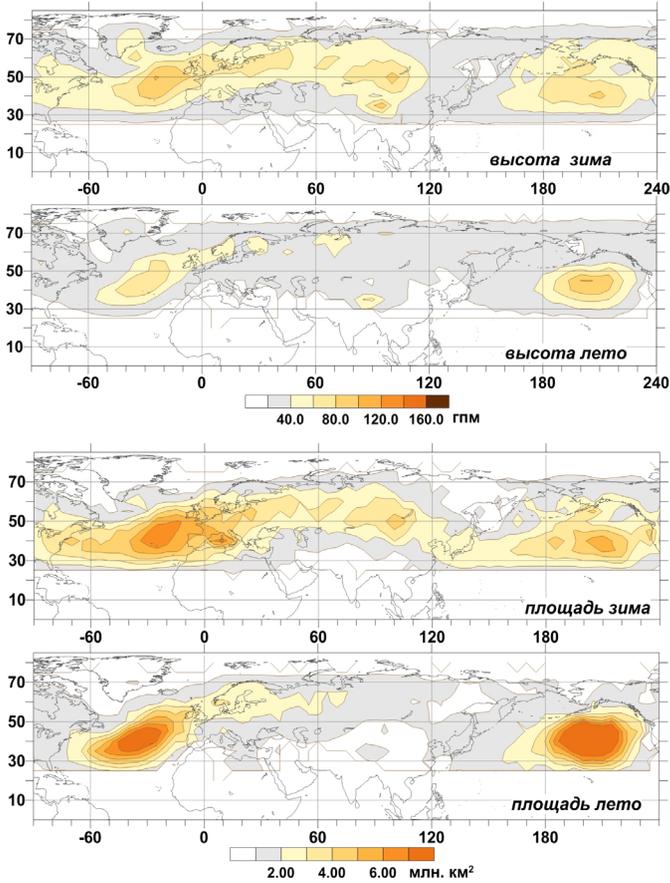
Здесь рассмотрены средние карты характеристик антициклонов на H1000: повторяемости антициклонических центров в боксах сетки  $2.5^\circ$  и характеристик размеров (площадь внутри ограничивающей изогипсы) и характеристика интенсивности, равная разности значений геопотенциала в центре и на ограничивающей антициклон изогипсе, которую по аналогии с «глубиной» циклона будем несколько неаккуратно называть «высотой» (обычно под высо-

---

той понимают уровень, до которого проявляется антициклон: в этом смысле термин здесь не употребляется, так что путаница исключена).



**Рисунок 1.** Повторяемость (%) антициклонических центров в боксах сетки 2.5°: среднее за зимние (вверху) и летние (внизу) сезоны



**Рисунок 2.** Средние площадь и высота антициклонов

Рисунки 1, 2 показывают, что в целом географическое распределение и величины антициклонической активности подобны для различных характеристик и в разные сезоны, в отличие от циклонической активности (Polonsky et al., 2012), для которой наблюдаются серьезные сезонные различия географического распределения повторяемости, а также величин площади и интенсивности (глубины) циклонов: зимой площади циклонов в области основных штормтреков над океанами больше примерно в полтора, а глубины – в 2 раза по сравнению с летом.

Основные, проявляющиеся как зимой, так и летом области высокой антициклонической активности расположены в восточных частях океанов между 30 и 50° с.ш. и в Монголии. Первые две выделяются в оба сезона как на картах повторяемости, так и на картах характеристик размера (площади) и интенсивности («высоты») антициклонов. Область в Тихом океане определенно усиливается летом: повторяемость возрастает на 25%, а площадь на 90% (табл. 1). В отношении области в Северной Атлантике такой определенности нет: максимальные повторяемости в оба сезона примерно равны, площади больше летом (на 24%), а интенсивности зимой (на 29%) – но площадь области высокой повторяемости >3% летом больше в разы. Монгольская область (которая естественно ассоциируется с Сибирским антициклоном) значительно ослабевает летом, когда она не выделяется на картах площади и интенсивности. Зимой здесь имеются два центра высокой повторяемости: западнее (более сильный) и южнее Байкала – последний не выделяется на картах интенсивности.

**Таблица 1.** Всесезонные максимумы антициклонической активности: географическое положение максимумов и средние значения характеристик в центрах (Z: частота %, площадь млн. кв. км, высота глм)

	Зима			Лето		
	F	L	Z	F	L	Z
<b>Сев. Атл.</b>						
частота	35.1	-28.9	3.7%	35	-35	3.5%
площадь	42.9	-20.1	6.7	40.1	-30.7	8.3
высота	49.7	24.3	101	44.8	-29.9	78.1
<b>Монголия</b>						
частота	50.4	95.0	8.7%	50.2	101.3	5.3%
площадь	50.0	100.7	4.6	46.9	95.0	1.1
высота	50.2	100.0	89.5	47.6	94.5	28.7
<b>Вост. ТО</b>						
частота	33.7	224.8	4.8%	40.1	213.4	6.0%
площадь	39.7	210.8	5.6	40.1	206.0	10.6
высота	40.1	209.4	85.0	44.9	201.4	100.3

Наряду с этими основными областями в разные сезоны проявляются еще некоторые области высокой антициклонической активности. Отметим зимние области над Гренландией и в междуречье Тигра и Евфрата. Летом наблюда-

ется высокая повторяемость антициклонов на западе ЕЧР и в Белоруссии, на востоке ЕЧР, на северо-западе Черноморского региона: эти центры антициклонической активности представляют интерес для исследования изменчивости климата регионов России.

Представляют интерес также области к северу от 30°с.ш., где центры антициклонов наблюдаются редко (частота менее 0.5%). Зимой это прежде всего обширные северные области Атлантики и Тихого океана, заполярные области Евразии и почти весь Северный Ледовитый океан в области анализа южнее 85°с.ш. Последнее означает, что центр полярного антициклона (Арктика является областью повышенного давления у поверхности) редко наблюдается южнее 85°с.ш. Южнее антициклоны зимой редки на севере Средиземного моря. Летом область с малой повторяемостью антициклонических центров значительно меньше.

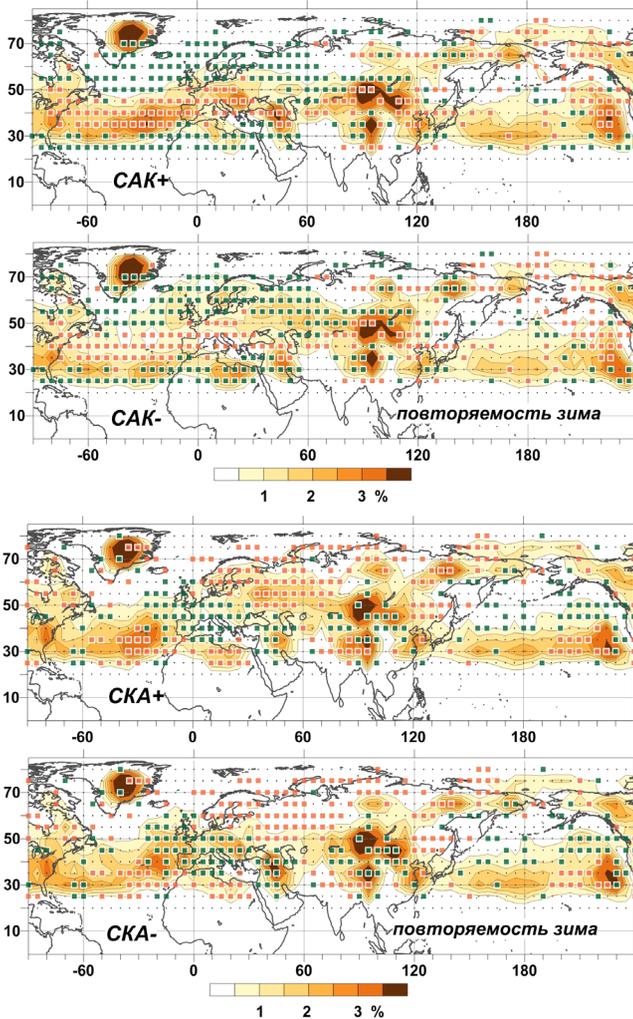
### ***Отклик антициклонической активности на вариации основных циркуляционных мод атлантико-европейского сектора***

Здесь анализируются композитные карты для основных характеристик антициклонической активности в противоположные фазы. Для каждого сезона анализировались карты композитов указанных характеристик для выборок месяцев (за 1951-2017 гг.) со значениями индекса определенной циркуляционной моды из ~15% ( $R = 0.15$ ) на краях распределения (т.е. выше 85-го или ниже 15-го перцентиля – каждая выборка объемом 30 случаев). Северо-Атлантического колебания (САК), Скандинавской моды (СКА), Восточно-Атлантической/Западно-Российской моды (ВА/ЗР). Индекс САК брался по (Hurrell, 1995), два других по (Barnston, Livezey, 1987). Рассматривались повторяемость центров антициклонов, площадь и характеристика интенсивности, здесь условно названная «высотой» по аналогии с глубиной циклона: разность значения геопотенциала в центре и ограничивающей изогипсы.

**Зимний сезон.** Как показывает рис. 1, в зимний сезон наблюдаются выраженные различия географии повторяемости антициклонов между противоположными фазами мод САК и СКА. В отклике на фазу САК наиболее значительные различия, естественно, наблюдаются над Северной Атлантикой (СА). В положительной фазе САК максимум повторяемости расположен между 35 и 45°с.ш.; южнее и севернее антициклоны практически не наблюдаются. Еще два максимума – на севере Балкан и на Кавказе южнее Главного Кавказского хребта. В отрицательной фазе основной максимум в СА значительно ослаблен и расположен южнее (вдоль 30°с.ш.); наблюдаются антициклоны севернее 50°с.ш. Балканского центра нет, кавказский смещен на юг, в междуречье Тигра и Евфрата.

Для моды СКА основные различия в СА наблюдаются на востоке: в положительной фазе основной максимум около 35°с.ш., 30°в.д.; в отрицательной фазе смещен на северо-восток и ослаблен – но появляются два дополнительных максимума над Иберийским полуостровом и на Балканах. Следует отметить увеличение повторяемости в области Сибирского антициклона в отрицательной фазе СКА.

Важные различия для обеих мод наблюдаются на западе Евразии. В положительной фазе САК высока повторяемость антициклонов в Западной и Центральной Европе и мала – в северной половине ЕЧР, на Урале и в Западной Сибири; противоположная картина отмечается в отклике на СКА.



**Рисунок 3.** Композиты повторяемости (доля времени, %, с центром антициклона над квадратом сетки 2.5x2.5°) антициклонов в противоположные фазы мод САК и СКА зимой  
*Окрашенные квадраты соответствуют значимым различиям: оранжевые, если повторяемость выше в положительной фазе, зеленые – если в отрицательной*

Из рис. 4 очевидно, что САК влияет на размеры антициклонов преимущественно в секторе от 30°з.д. до 40°в.д.: в положительной фазе они здесь значительно крупнее. Особенно велики различия на востоке Атлантики и вдоль атлантического побережья Европы, а также к югу от Балтики. В отрицательной фазе более крупные антициклоны наблюдаются на востоке Канады: в районе Гудзонова залива (в северной его части различия не отмечены как значимые, поскольку в выборке САК+ там антициклонов вовсе не было) и Великих озер.

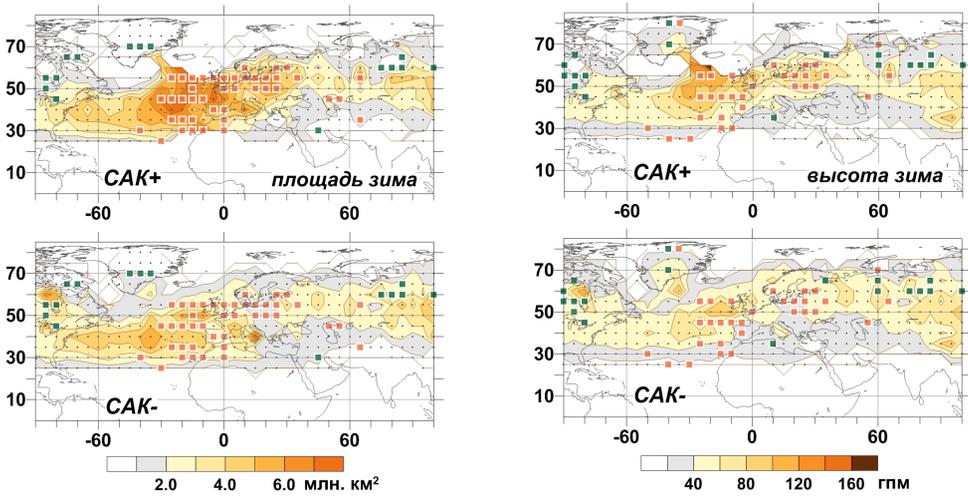


Рисунок 4. Средняя площадь и высота антициклонов в противоположных фазах САК: зима

Площадь и высота антициклонов демонстрируют сходные различия в противоположных фазах САК, поэтому приведены только карты для высоты (рис. 5). В целом в положительной фазе САК размеры антициклонов больше, однако значимых различий не так много. Основное из них – заметно более крупные антициклоны в положительной фазе САК на севере и востоке европейской России. Различия в СА и Западной Европе связаны в основном с изменением конфигурации области, где наблюдаются крупные антициклоны: максимум в СА в отрицательной фазе САК смещается на северо-восток, а в Европе – на юг. Видимо, усиление Сибирского антициклона в отрицательной фазе САК подтверждается более крупными размерами наблюдаемых антициклонов.

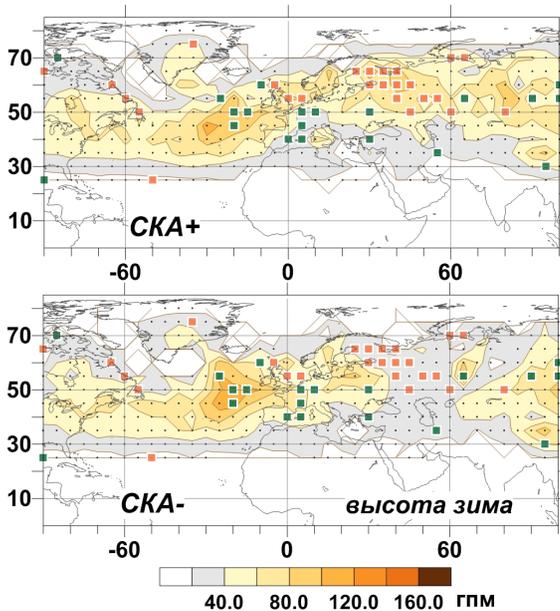
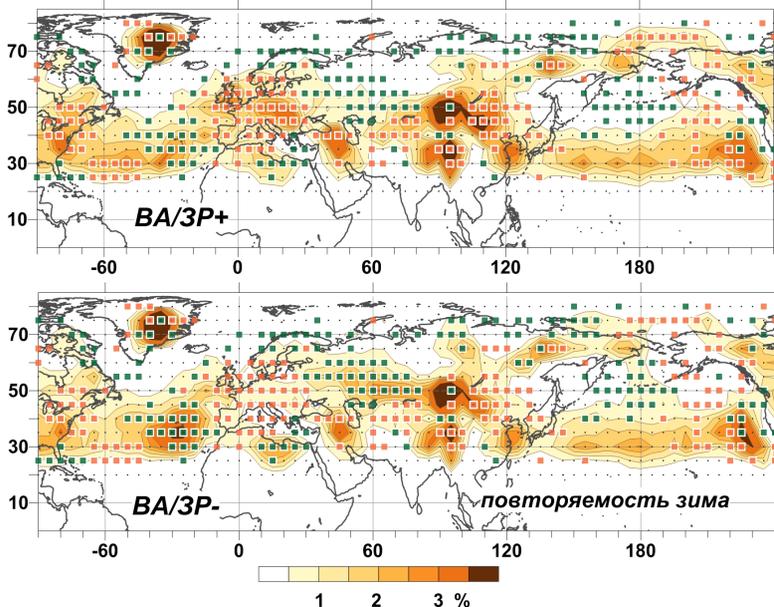


Рисунок 5. Средняя высота антициклонов в противоположных фазах САК: зима

В целом на территории России зимой в положительной фазе САК наблюдается ослабление, а в отрицательной – усиление антициклонической активности, наиболее явно – в центре и на севере ЕЧР, на юге Сибири. Напротив, в положительной фазе СКА антициклоническая активность усиливается, а в отрицательной – ослабляется.

В положительной фазе Восточно-Атлантической/Западно-Российской моды (ВА/ЗР) зимой резко ослабляется основной центр повторяемости антициклонов на западе Северной Атлантики (рис. 6). При этом резко возрастает повторяемость над Британскими островами и в Европе (особенно Восточной: Западная Украина, Молдавия, Румыния), усиливается восточная часть области, связанной с Сибирским антициклоном. В отрицательной фазе растет повторяемость на Урале и юге Западной Сибири. Значимые различия в площади и высоте антициклонов наблюдаются в Атлантико-Европейском регионе: на востоке Атлантики, в Северной Европе, Прибалтике, Белоруссии высоты антициклонов больше в положительной фазе ВА/ЗР, а южнее и юго-западнее в Атлантике – в отрицательной. Следует также отметить значимые различия для высот и площадей на территории России: в отрицательной фазе заметно большие (на 1-2 млн км<sup>2</sup>) и высокие антициклоны отмечаются в Печорской низменности и на востоке Западной Сибири.

В положительной фазе моды ВАМ (рис. 7) основные области высокой повторяемости в секторе СП к западу от 60° в.д. лежат в СА и Северной Африке между 30-40° с.ш и в междуречье Тигра и Евфрата. В отрицательной фазе область в СА смещается на северо-восток, а повторяемость в Африке и Междуречье сильно ослабевает. Для территории России отметим повышенную повторяемость в отрицательной фазе на Урале и в Западной Сибири.



**Рисунок 6.** Композиты повторяемости (доля времени, %, с центром антициклона над квадратом сетки 2.5x2.5°) антициклонов в противоположные фазы моды ВА/ЗР зимой  
Обозначения – см. рис. 3

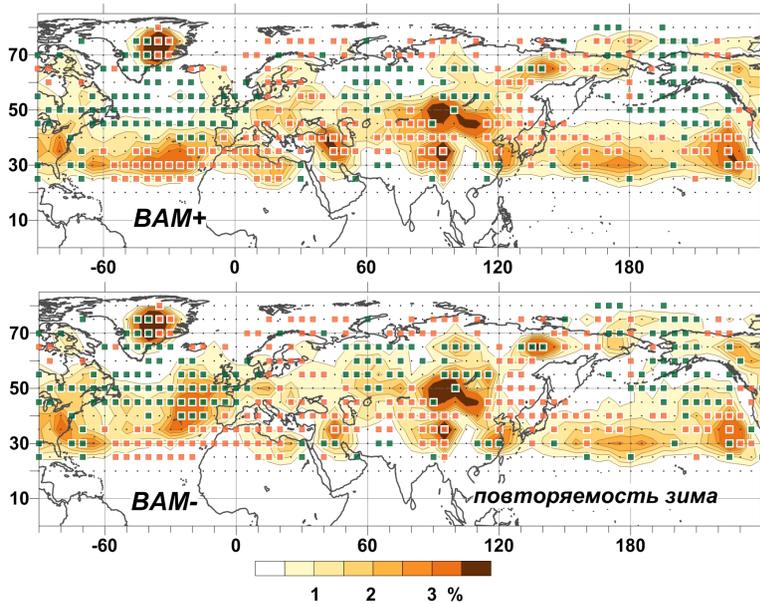


Рисунок 7. То же для моды ВАР

**Летний сезон.** Летом положительный отклик на фазу САК в повторяемости антициклонов (рис. 8) наблюдается на ЕЧР, над Восточно-Сибирским морем, у Новой Земли, в Северной Атлантике в районе Гудзонова залива, Северного моря. В Черноморско-Каспийском регионе антициклоны наблюдаются более часто в отрицательной фазе. Следует отметить смещение к югу области максимума повторяемости в Северной Атлантике в отрицательной фазе. В обе фазы САК максимальные значения средней площади и глубины наблюдаются в центральной части Северной Атлантики в зоне 30-50° с.ш. При этом в положительной фазе САК наблюдаются более мощные антициклоны.

**Скандинавская мода** (рис. 9). В положительную фазу СКА повторяемость антициклонов выше на севере ЕЧР. Средняя площадь антициклонов значимо больше в Северной Атлантике южнее и восточнее о. Ньюфаундленд и на севере Европы (3-4 млн км<sup>2</sup>) в фазе СКА+. На севере Европы антициклоны также имеют и большую высоту.

В отрицательной фазе Скандинавской моды повышенная антициклоническая активность наблюдается в Центральной и Восточной Европе, а также в районе Каспия.

**ВА/ЗР** (рис. 10). В Северной Атлантике основной центр в отрицательной фазе ВА/ЗР смещается на северо-восток; однако еще восточнее, ближе к побережью, антициклоны чаще наблюдаются в положительной фазе: это особенно заметно в районе Британских островов. Также в положительной фазе значительно чаще антициклоны наблюдаются в Норвежском море.

На западе России пара центров в Пред- и Зауралье в отрицательной фазе ВА/ЗР значительно усиливается и смещается на север (где в положительной фазе антициклоны почти не наблюдаются).

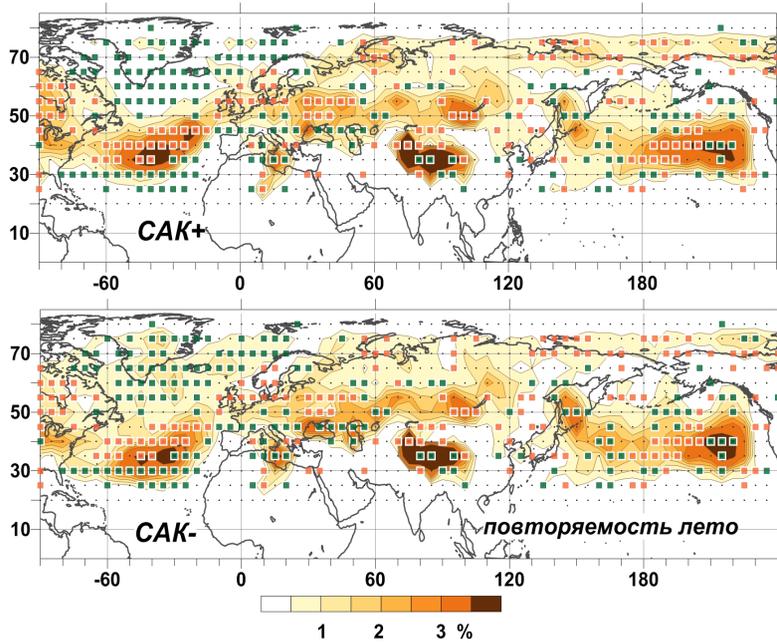


Рисунок 8. Повторяемость антициклонов (%) летом в положительной и отрицательной фазах САК

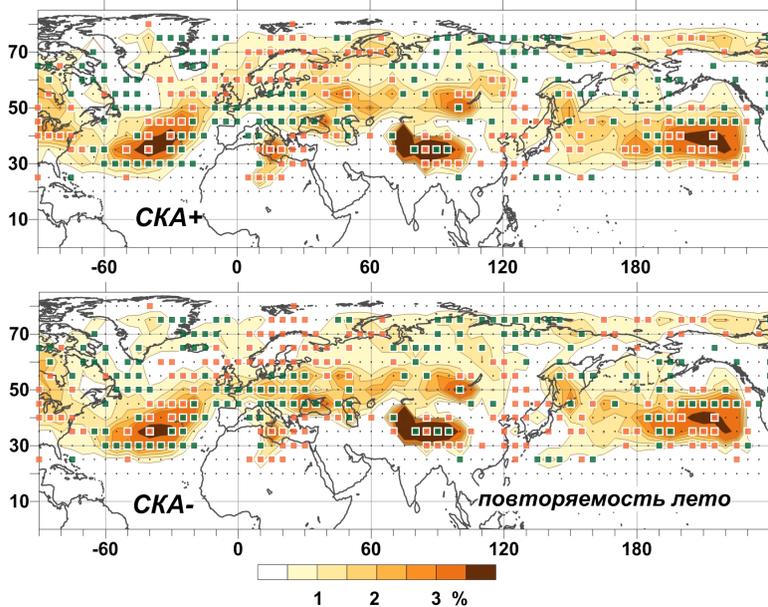
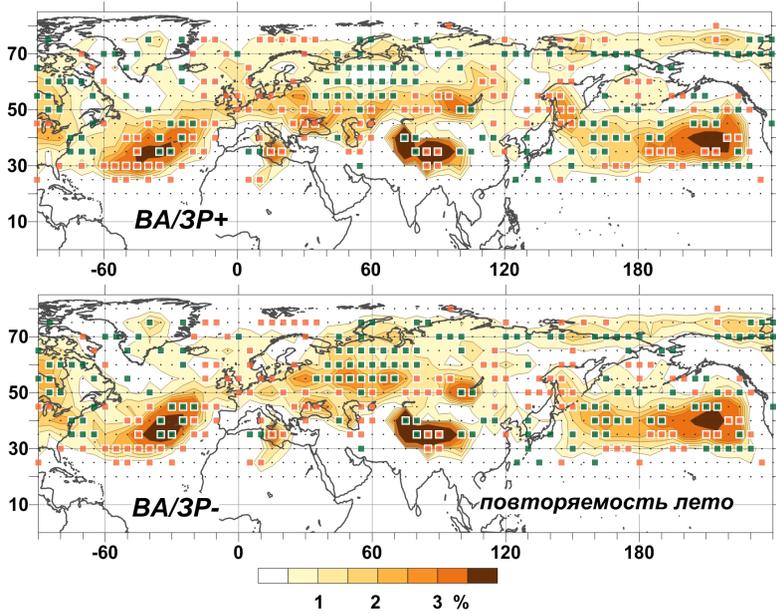
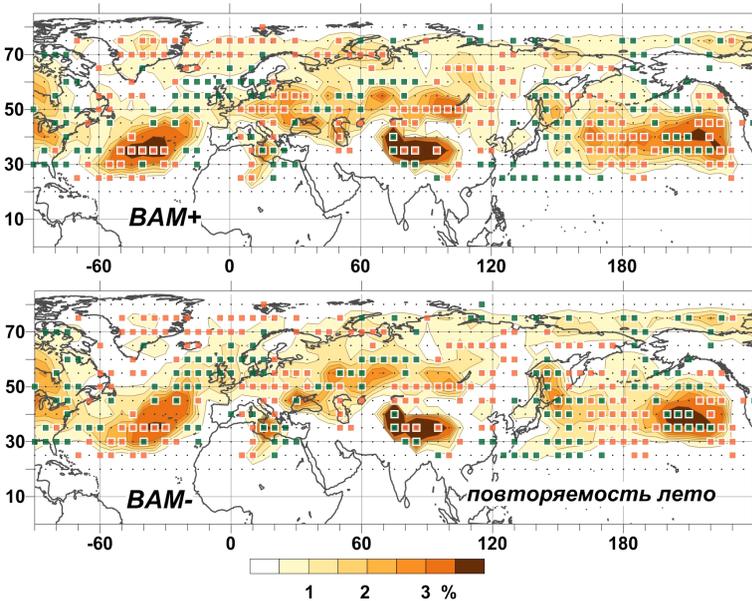


Рисунок 9. Повторяемость антициклонов (%) летом в положительной и отрицательной фазах СКА



**Рисунок 10.** Повторяемость антициклонов (%) летом в положительной и отрицательной фазах ВА/ЗР



**Рисунок 11.** Повторяемость антициклонов (%) летом в положительной и отрицательной фазах ВАМ

Восточно-Атлантическая мода. (рис. 11). Североатлантическая область антициклонической активности в целом более интенсивна в положительной фазе ВАМ, но в отрицательной фазе она значительно протяженнее на северо-восток, достигая Британских островов.

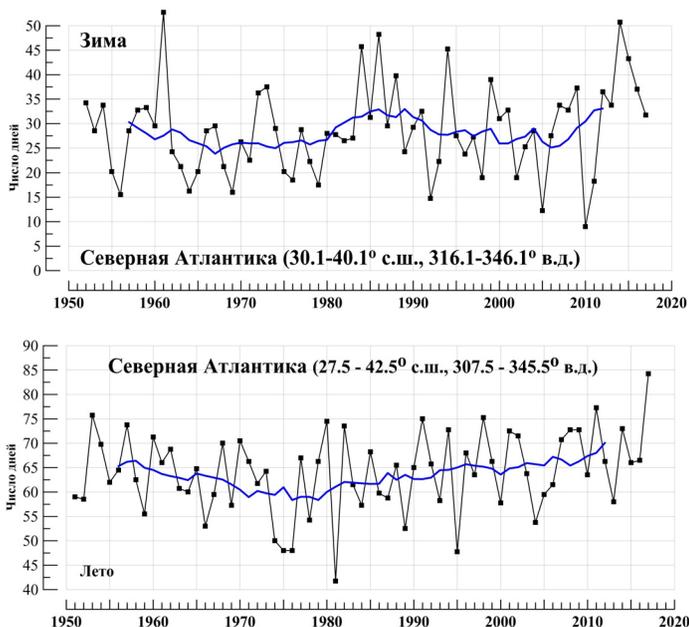
В Центральной и Восточной Европе значительно больше повторяемость антициклонов в положительную фазу, в особенности в северной половине, и над Каспием.

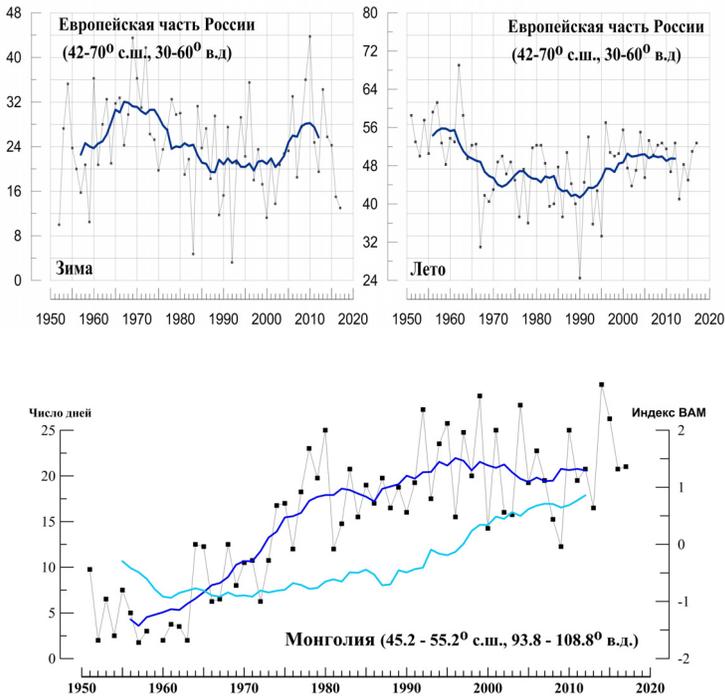
Влияние ВАМ распространяется далеко на восток, в область Сибирского антициклона, где антициклоническая активность резко усиливается в положительной фазе. Оно проявляется и в акватории Тихого океана. Здесь в положительную фазу усиливается активность в центральной части и вблизи побережья Северной Америки, а в отрицательную – в районе Охотского моря и Курильских о-вов.

### ***Региональные изменения антициклонической активности во второй половине 20 – первые десятилетия 21 века***

На рис. 12 представлены временные ряды повторяемости антициклонов в ключевых регионах высокой повторяемости (Северная Атлантика, Монголия) и в ЕЧР. Для этих рядов характерна долгопериодная изменчивость с масштабами от 40 лет.

Летняя повторяемость антициклонов на юге Северной Атлантики (27.5-42.5°с.ш., 14.5-52.5°з.д.) значительно превосходит зимнюю (что согласуется с рис. 1); амплитуда долгопериодных колебаний также существенно больше. То же самое верно относительно ЕЧР. В долгопериодных изменениях повторяемости антициклонов в Северной Атлантике зимой наблюдается очевидное сходство с поведением индекса САК: убывание до середины 1960-х, рост до второй половины 1980-х (для САК – до первой половины 1990-х), затем убывание до 2010 и новый рост. Сходные черты можно отметить и для ЕЧР (но в противофазе: ср. рис. 3). Летние же долгопериодные вариации затруднительно отнести к изменениям САК, для которого летом они довольно слабо выражены.





**Рисунок 12.** Регионально осредненная повторяемость антициклонов для зимнего и летнего сезонов

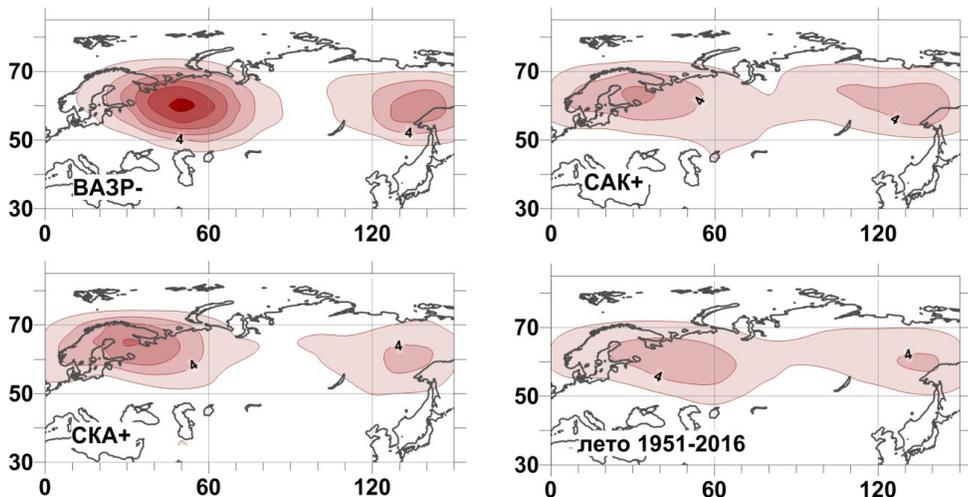
*Синяя кривая – 11-летнее скользящее среднее, голубая кривая – 11-летнее скользящее среднее индекса ВАМ*

Кроме того, форма отклика летом значительно отличается от зимней: если зимой в области Азорского антициклона (следует иметь в виду, что область осреднения несколько отличается: 30.1-40.1°с.ш., 14-43°з.д.) отклик на фазу САК одного знака, то летом в область осреднения попадают узлы, где знак отклика противоположен. Аналогичная ситуация имеет место и для ЕЧР.

Наиболее выраженные изменения в этот период происходят в области Сибирского антициклона: рост повторяемости между 1950-ми и 2000-ми годами составляет около 4 раз; основная его часть происходит до начала 1980-х, а после середины 1990-х рост прекращается. Рис. 10 демонстрирует высокую зависимость антициклонической активности в этой области от моды ВАМ. Сопоставление рядов повторяемости антициклонов и индекса ВАМ демонстрирует определенное их сходство: однако основной рост циркуляционного индекса происходит с середины 1980-х (хотя менее значительный рост наблюдается с 1960-х). Это показывает, что ВАМ – не единственная причина такого поведения антициклонической активности в регионе; одним из кандидатов может быть Скандинавская мода, которая быстро растет между серединой 1960-х и концом 1970-х. Возможно, дело также в изменении локальных условий взаимодействия атмосферы с деятельным слоем суши при потеплении (напомним, что антициклоны летом здесь невысокие).

### Антициклоническая квазистационарная циркуляция

Повторяемость квазистационарных антициклонических циркуляций, определяемая здесь в узле сетки как число дней в месяц, в течение которых узел был накрыт замкнутой малоподвижной антициклонической областью в поле  $H^* = H - E^L H$  (см. раздел «Данные и методы»), существенно зависит от фаз ведущих циркуляционных мод. На рис. 13 приведены композиты повторяемости в летний сезон для всех (кроме ВАМ) рассмотренных мод. Для фазы, противоположной приведенной, для всех мод композит практически не отличается от среднего за все летние месяцы 1951-2016 гг.



**Рисунок 13.** Повторяемость эпизодов квазистационарной антициклонической циркуляции (блокирования) в разные фазы ведущих климатических мод и в среднем за летние месяцы 1951-2016 гг.

*Показано среднее число дней за месяц, когда узел сетки находился внутри области антициклонической квазистационарной циркуляции*

Наиболее сильный отклик наблюдается в отрицательной фазе ВА/ЗР: максимум повторяемости блокирований расположен в восточной части ЕЧР и по величине втрое превосходит среднюю повторяемость. В (Бардин, 2007) показано, что с блокированиями в этой области (в той статье они не ассоциируются с ВА/ЗР) связана основная доля летних температурных экстремумов на большей части территории ЕЧР; более того, на многих станциях температуры во время эпизодов блокирования формируют дополнительную моду функции плотности распределения летних суточных температур в области высоких значений.

В положительных фазах САК и Скандинавской моды центр высокой повторяемости расположен на северо-западе, между Белым и Балтийским морями. Этот центр также рассматривался в указанной работе безотносительно к циркуляционным модам; с ним также связана существенная доля экстремальных суточных температур в области (меньшей по площади, чем в случае ВА/ЗР) на северо-западе ЕЧР.

Указанные особенности распределения блокирований в летний сезон при определенных фазах ведущих мод могут быть очевидным образом связаны с продолжительными периодами аномальной жары («волны тепла»), которые сопровождаются дефицитом осадков и в результате – засухой (Обухов и др., 1984). Как видно из предыдущего анализа, такие условия могут вызываться для ЕЧР отрицательной фазой ВА/ЗР (для восточной части региона), положительной фазой Скандинавской моды и, в меньшей степени, САК – для запада и северо-запада. Так, сильнейшая засуха 2010 года происходила на фоне трех последовательных эпизодов блокирования в конце июня – июле – первой половине августа при больших по величине отрицательных значениях ВА/ЗР; а в августе 1951 г. эпизод блокирования на востоке ЕЧР, продлившийся с 5 по 21 августа, наблюдался при значении индекса ВАЗР – 3.26, а с 18 по 30 августа на фоне высокого СКА (1.53) длился эпизод блокирования на северо-западе. Жаркому лету 1972 года (Кац, 1973) сопутствовали высокие значения индекса СКА во все летние месяцы (1.75, 2.13, 1.32), а также САК в июне и августе (1.19 и 1.57); в результате наблюдались несколько длительных эпизодов блокирования на северо-западе: 20 июня – 3 июля, 3-15 июля, 15-28 июля, и более короткий в августе. Но в августе 1972, при значении ВА/ЗР -1.63 наблюдался эпизод блокирования на востоке ЕЧР с 17 по 31 число.

### ***Антициклоническая активность и изменения зимней температуры на территории России***

Наиболее важной в контексте изменений климата на территории России особенностью влияния вариаций САК и СКА на антициклоническую активность является противофазный отклик на большей её части в зимний сезон: положительной фазе САК соответствует ослабление, а положительной фазе СКА – усиление антициклонической активности. Соответственно, следует ожидать понижения (роста) температуры воздуха в России при усилении (ослаблении) Скандинавской моды и ослаблении (усилении) САК. Это согласуется с наблюдаемыми долгопериодными изменениями температуры, осредненной по территории РФ (рис. 14), и индексов САК и СКА (Бардин и др. 2015б). Связь колебаний зимней температуры в Северной Евразии и интенсивности САК и СКА была установлена ранее на основании корреляционного анализа (Hurrell 1995; см. также карты корреляций на сайте NOAA CPC: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc>). Более подробный анализ выполнен с использованием регрессионных моделей для температуры, включающих в качестве регрессоров моды САК и СКА (Попова, Шмакин, 2010; Попова, 2018). Другой подход состоял в совместном оценивании для модели, включающей неизвестный линейный тренд, а также САК и СКА (Бардин, 2011; Бардин и др., 2015б; Vardin, Platova, 2018). В последней работе модель включала дополнительный регрессор  $I_{gl}$ , грубо описывающий ‘эффект «глобального потепления»»: это кусочно-линейная функция времени (года:  $y$ ), равная 0 до 1975 г. и  $y-1975$  после, для регионально-осредненной температуры:

$$T_{reg} = b_{NAO} \cdot I_{NAO} + b_{Sca} \cdot I_{Sca} + b^* \cdot I_{gl} + e.$$

Таким образом, коэффициент регрессии  $b^*$  при этой переменной есть просто линейный тренд за период с 1976 г. Полученная модель оказалась адекватной (объясняющей 80% дисперсии колебаний с периодами более 15 лет и со значимыми на 1%-м уровне коэффициентами – в том числе, трендом  $b^*$ ). Оценка тренда около  $0.34^\circ\text{C}/10$  лет (заметим, что «прямая» оценка тренда по модели  $Treg = a + b \cdot y + e$  для РФ, например, за период 1976-2012 г. равна  $0.18^\circ\text{C}/10$  лет).

Таким образом, основные особенности наблюдаемых в последние десятилетия изменений зимней температуры воздуха на территории России характеризуются в основном трендом, примерно вдвое превосходящим тренд «глобального потепления», и наложенным на него естественным колебанием с периодом около 40 лет и амплитудой несколько менее градуса, связанным с вариациями ведущих мод крупномасштабной атмосферной циркуляции в атлантико-европейском секторе – САК и СКА. В свою очередь, мы можем отметить, что эти естественные колебания температуры согласуются с вызванными вариациями САК и СКА изменениями антициклонической активности, которые вносят определенный вклад в наблюдаемые изменения температуры. Однако численно оценить этот вклад не так просто: нужно одновременно учесть другие факторы, в основном – перенос средним потоком и подвижными циклонами. Здесь мы ограничимся качественным указанием на возможную роль долгопериодных изменений антициклонической активности под влиянием крупномасштабной циркуляции в изменениях региональных температур.

Отметим, что похолодание зим, начавшееся в середине 1990-х гг., по всей видимости, прекратилось после очень холодной зимы 2010 – в основном, благодаря изменению тенденции САК.

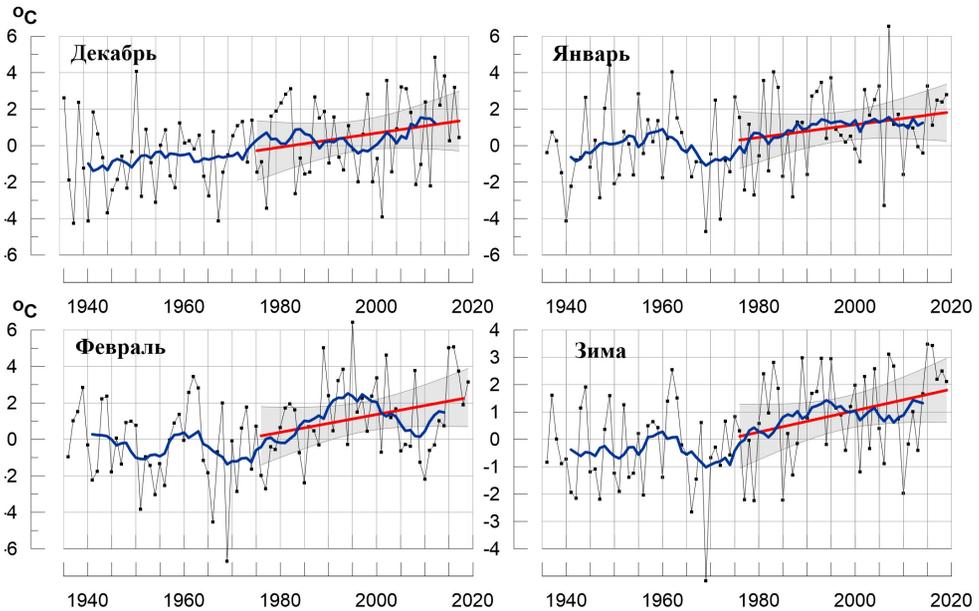
Рассмотрим также возможный вклад в зимние изменения температуры, связанный с изменениями в частоте эпизодов антициклонической квазистационарной циркуляции – АКЦ (или блокингов), определенных как в (Бардин, 2007).

Заметим, что ход средней зимней температуры на территории России в основном определяется изменениями температуры февраля (рис. 14): в январе не наблюдается убывания температуры после 1995 г., а декабрьские температуры вообще ведут себя противоположным образом, убывая с начала 1980-х до середины 1990-х, а затем возрастая; амплитуда междесятилетних колебаний в феврале примерно вдвое больше, чем в декабре и январе. Кроме того, как видно, похолодание после середины 1990-х определяется в основном поведением наиболее холодных (относительно этой кривой) февралей.

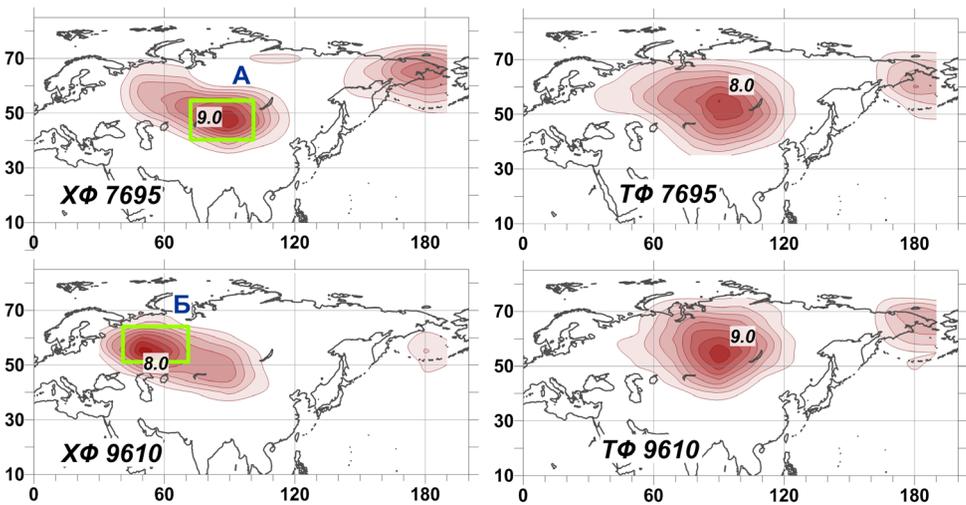
На рис. 15 показаны частоты эпизодов АКЦ отдельно для холодных и теплых февралей периодов 1976-1995 и 1996-2010. Если локализация АКЦ в теплые февралья постоянна, то для холодных февралей она полностью изменяется. Максимум повторяемости смещается из района восточнее оз. Балхаш (хр. Тарбагатай – Монгольский Алтай: область А на рисунке) на северо-восток в Заволжье примерно на широте нижнего течения Камы до Урала (область Б). Анализ композитов повторяемости АКЦ февраля в противоположные

---

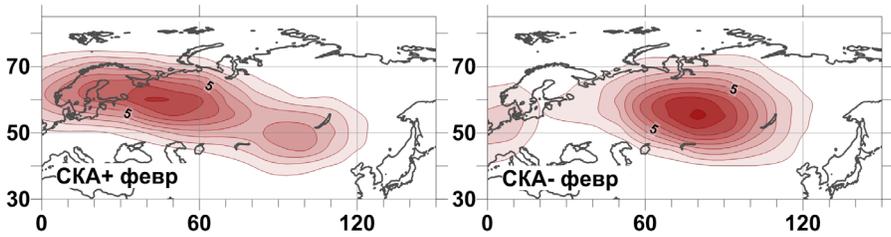
фазы циркуляционных мод показал, что такое смещение на запад наблюдается в положительной фазе Скандинавской моды (рис. 16): в отрицательной фазе СКА максимум повторяемости АКЦ расположен на востоке Западной Сибири – непосредственно перед Среднесибирским плоскогорьем. В остальных случаях максимум остается на востоке Казахстана – юге Средней Сибири.



**Рисунок 14.** Временные ряды аномалии температуры воздуха для месяцев зимнего сезона, осредненной по территории РФ  
Показаны также 11-летнее скользящее среднее и линейный тренд за 1976-2019 гг. с 5%-й доверительной областью

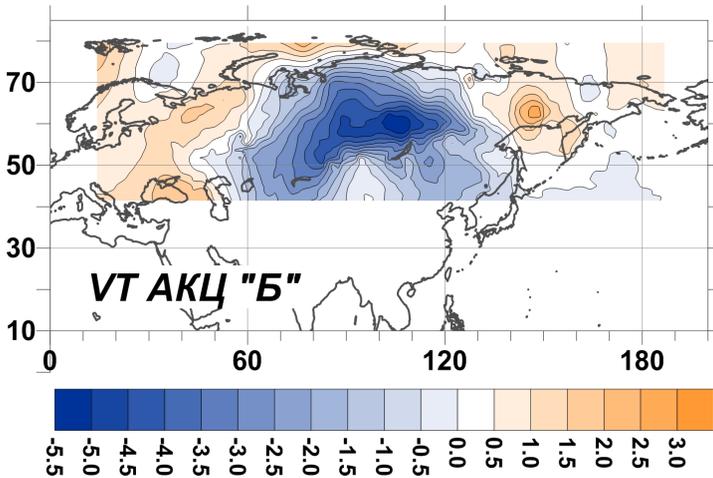


**Рисунок 15.** Повторяемость (дней/месяц) антициклонической квазистационарной циркуляции в холодные (ХФ) и теплые (ТФ) февраль периодах 1976-1995 и 1996-2010 гг.



**Рисунок 16.** Повторяемость (дней/месяц) антициклонической квазистационарной циркуляции в феврале при противоположных фазах Скандинавской моды (15% максимальных по модулю положительных и отрицательных значений СКА за период 1951-2017 гг.)

На рис. 17 показан композит аномалии температуры в феврале во время эпизодов АКЦ с центрами в области Б (рассчитанный по суточным данным за период 1951-2016), т.е., средние среднесуточные температуры за те дни, когда в соответствующей области наблюдался центр АКЦ. Аномалии холода, связанные с АКЦ в Заволжье – Предуралье охватывают почти всю АЧР (кроме дальнего Северо-Востока) и значительно превосходят по площади и величине положительные аномалии (ЕЧР и Магаданская область). На большей части АЧР отрицательные аномалии по абсолютной величине больше 2 и достигают 5 градусов, а положительные лишь на очень небольшой территории превосходят 1.5 градуса.



**Рисунок 17.** Аномалия суточной температуры воздуха (рассчитанная относительно годового хода, полученного за период 1951-2016) в феврале, осредненная за все дни того же периода, когда в прямоугольнике «Б» наблюдался центр АКЦ  
*Границы прямоугольника см. рис. 15*

Таким образом, учитывая наблюдаемый рост положительной фазы СКА в период после середины 1990-х, блокирования на востоке ЕЧР вносят, по-видимому, заметный вклад в похолодание февралей (и, вместе с тем, зим) в этот период.

## Заключение

Антициклоническая активность характеризуется выраженной пространственно-временной изменчивостью. Основные географические особенности повторяемости и интенсивности антициклонов проявляются как в зимний, так и в летний сезон, причем, в отличие от циклонической активности, которая летом заметно ниже (как в смысле повторяемости, так и интенсивности циклонов), антициклоническая активность в целом сравнима в оба сезона и даже в некоторых регионах выше летом (например, на севере Тихого океана – для всех характеристик).

Показатели антициклонической активности (как для приземных антициклонов, так и для квазистационарных антициклонических циркуляций – «блокингов» – значимо связаны с фазами ведущих климатических мод атлантико-европейского сектора. В том числе, проявляются очень дальние связи: с антициклонической активностью в области Сибирского антициклона и в северной части тихоого океана. Имеются важные для климата России связи для европейской ее части, Урала и Западной Сибири.

В региональной повторяемости антициклонов наблюдаются долгопериодные изменения с масштабом десятилетий, связанные с такого же масштаба колебаниями циркуляционных мод. Аналогичные по временным масштабам и еще более выраженные в отношении локализации центров изменения происходят в повторяемости блокирований на территории России. Эти изменения антициклонической активности позволяют, в частности, дать качественное объяснение наблюдаемым изменениям температуры в Северной Евразии в зимний сезон во второй половине 20-го – начале 21 века. Возможно, региональная циклоническая и антициклоническая активность является более устойчивым и прямым предиктором для прогноза естественной составляющей изменений регионального климата на 10-15 лет, чем циркуляционные моды; сами долгопериодные колебания вихревой активности, вероятно, удастся аппроксимировать подходящей авторегрессией (Бардин, 2011), либо популярным в настоящее время методом сингулярного разложения по времени: «caterpillar - гусеница».

Таким образом, весьма полезно включить характеристики вихревой активности в регулярный мониторинг климата, как для детализированной диагностики экстремальных сезонных аномалий, так и, возможно, адаптивного прогноза колебаний климата регионов РФ на период около десятилетия.

## Благодарности

*Авторы признательны за поддержку следующим научным программам и проектам, в рамках которых выполнялись разные разделы данной работы:*

– РНФ: проект 19-17-00242 "Опасные погодно-климатические явления на территории России в условиях глобальных изменений климата";

– Темы 1.3.1.1. «Мониторинг климата Российской Федерации, ее регионов и федеральных округов (субъектов РФ)» и 1.3.1.3 «Создание совокупности

*специализированных баз климатических данных о состоянии основных компонентов климатической системы для исследования климата и его изменений, для обслуживания всех групп пользователей. Создание комплексных методов контроля, улучшения качества и однородности климатических данных» Целевой научно-технической программы (ЦНТП) «Научно-исследовательские, технологические и другие работы для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» на 2017-2019 годы, утвержденной приказом Росгидромета от 28.12.2016 № 615.*

*– по теме ГЗ № 0148-2019-0009 "Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России".*

*– по проекту № 0148-2018-0036 Программы Президиума РАН № 51.*

### **Список литературы**

Бардин М.Ю. 1995. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария. – Метеорология и гидрология, № 11, с. 24-37.

Бардин М.Ю. 1999. Региональные квазистационарные режимы зимней циркуляции умеренных широт Северного полушария. II. Пространственное распределение и горизонтальная структура флуктуаций. – Метеорология и гидрология, № 2, с. 12-24

Бардин М.Ю. 2000. Основные моды изменчивости повторяемости циклонов зимой в атлантическом секторе. – Метеорология и гидрология, № 1, с. 42-52.

Бардин М.Ю., Полонский А.Б. 2005. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период. – Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, том 41, № 2, с. 3-13.

Бардин М.Ю. 2007. Антициклоническая квазистационарная циркуляция и ее влияние на аномалии и экстремумы температуры воздуха в западных областях России. – Метеорология и гидрология, № 2, с. 5-18.

Бардин М.Ю. 2011. Сценарные прогнозы изменения температуры воздуха для регионов РФ до 2030 г. с использованием эмпирических стохастических моделей климата. – Метеорология и гидрология, № 4, с. 5-20.

Бардин М.Ю., Булыгина О.Н., Платова Т.В. 2014. Экстремальность климата. – Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Глава 1.7. – Москва, с. 171-202.

Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. 2015а. Особенности изменчивости циклонической активности умеренных широт Северного полушария, связанные с ведущими модами атмосферной циркуляции в Атлантике – Европейском секторе. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 2, с. 14-40.

Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. 2015б. Особенности наблюдаемых изменений климата на территории Северной Евразии по данным регу-

---

лярного мониторинга и возможные их факторы. – Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, № 358, с. 13-35.

Воскресенская Е.Н., Коваленко О.Ю. 2015. Межгодовая изменчивость антициклонической активности Черноморско-Средиземноморского региона, обусловленная глобальными процессами в системе океан-атмосфера. – Системы контроля окружающей среды, № 1 (21), с. 73-76.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. 2015. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 2, с. 41-62.

Кац А.Л. 1973. Необычное лето 1972 года. – Л., Гидрометеоиздат, 60 с.

Обухов А.М., Курганский М.В., Татарская М.С. 1984. Динамические условия возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий. – Метеорология и гидрология, № 10, с. 5-14.

Попова В.В., Шмакин А.Б. 2010. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 46, № 2, с. 161-175.

Попова В.В. 2018. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 84-112.

ФАО 2011. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. т. 47, № 6 (специальный выпуск, посвященный экстремальному лету 2010 г.).

Черенкова Е.А., Бардин М.Ю., Золотокрылин А.Н. 2015. Статистика осадков и засух в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов и ее связь с урожайностью на Европейской территории России. – Метеорология и гидрология, № 3, с. 23-35.

Bardin M.Yu., Platova T.V. 2018. Effect of large-scale atmospheric circulation in the North Atlantic sector on statistics of synoptic-scale vortices and surface temperature over North Eurasia in Practical Geography and XXI Century Challenges. – International Geographical Union Thematic Conference dedicated to the Centennial of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 4–6 June 2018, Moscow. Conference Book. Part 1. – Moscow, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, p. 132. ISBN 978-5-94101-341-8 ISBN 978-5-94101-342-5 (Book 1). Doi: 10.15356/IGRAS100CONF\_V1.

Barnston A.G., Livezey R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. – Mon. Wea. Rev., vol. 115, pp. 1083-1126.

Gulev S.K., Zolina O., Grigoriev S. 2001. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR Reanalysis data. – Clim. Dynamics, vol. 17, pp. 795-809.

Hurrell J.W. 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. – *Science*, vol. 269, pp. 676-679.

Kalnay et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. – *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 77, pp. 437-470.

Lau N.C. 1988. Variability of the observed midlatitude storm tracks in relation to low-frequency changes in the circulation pattern. – *J. Atmos. Sci.*, vol. 45, pp. 2718-2743.

Murray R., Simmonds I. 1991. A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. part i: development and operation of the scheme. – *Australian Meteorological Magazine*, vol. 39, pp. 155-166.

Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Coccozza A., Dacre H.F., Feng Y., Fraedrich K., Grieger J., Gulev S., Hanley J., Hewson T., Inatsu M., Keay K., Kew S.F., Kindem I., Leckebusch G.C., Liberato M.L.R., Lionello P., Mokhov I.I., Pinto J.G., Raible C.C., Reale M., Rudeva I., Schuster M., Simmonds I., Sinclair M., Sprenger M., Tilinina N.D., Trigo I.F., Ulbrich S., Ulbrich U., Wang X. L., Wernli H. 2013. IMILAST – a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms: assessing method-related uncertainties. – *Bull. Am. Meteor. Soc.*, vol. 93, pp. 529-547. Doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00154.1>.

Polonsky A., Voskresenskaya E., Bardin M. 2014. Variability of Extratropical Cyclonic Activity in The Northern Hemisphere Associated With Global Processes in The Ocean-Atmosphere System. – In book: *Cyclones: Formation, Triggers and Control* /eds. Kazuyoshi Oouchi and Hironori Fudeyasu. – Nova Science Publisher, pp. 161-196. ISBN: 978-1-63117-097-3

Polonsky A., Bardin M., Voskresenskaya E. 2012. Variability of extratropical cyclonic activity in the Northern Hemisphere associated with global processes in the ocean-atmosphere system. - In book: *Cyclones: Formation, Triggers and Control* /Editors: Kazuyoshi Oouchi and Hironori Fudeyasu. – Nova Science Publishers, Inc., USA-Canada, Chapter 8, pp. 161-196.

Whittaker L., Horn L. 1984. Northern Hemisphere extratropical cyclone activity for four mid-season months. – *J. Climatol.*, vol. 4, pp. 297-310.

Zishka K.M., Smith P.J. 1980. The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July, 1950-77. – *Mon. Wea. Rev.*, vol. 108, pp. 387-401.

*Статья поступила в редакцию: 06.09.2019 г.*

*После переработки: 16.10.2019 г.*

---

## VARIABILITY OF ANTI-CYCLONIC ACTIVITY IN THE NORTHERN EXTRATROPICS

*M.Yu. Bardin* <sup>1), 2), 3)\*</sup>, *T.V. Platova* <sup>1), 2)</sup>, *O.F. Samokhina* <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation; \**mick-bardin@yandex.ru*

<sup>2)</sup>Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,  
29, Staromonetny lane, 109017, Moscow, Russian Federation

<sup>3)</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences,  
3, Pyzhevovskiy pereulok, 119017, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Different aspects of spatial and temporal variability of the anti-cyclonic variability in the Northern Hemisphere are considered. Patterns of geographic distribution of anti-cyclone frequency and indices of intensity are described for the whole 1951-2017 period and for opposite phases of principal atmospheric circulation modes: the North Atlantic Oscillation, Scandinavian and East Atlantic modes and the East Atlantic – Western Russia mode. The long-period changes of the anti-cyclone frequency are considered for the two key regions of high anti-cyclonic activity, namely, in the south-eastern North Atlantic and in Mongolia, and also over European Russia. Besides near-surface cyclones, quasi-stationary anti-cyclone circulations in the middle troposphere (“blocking”) were considered. For the summer season, an analysis of blocking frequency over North Eurasia in opposite phases of circulation modes was performed and revealed pronounced features that determine a structure of some extreme seasonal anomalies. An alteration of the geographical pattern of the blocking frequency is found during the positive phase of the Scandinavian mode in winter, namely, a strong shift of the frequency maximum from Siberia to European Russia. A possible contribution of this phenomenon in the cooling of winters, observed over the territory of Russia from the mid-1990-s to 2010, is considered.

**Keywords.** Anti-cyclone, variability, circulation mode, blocking.

### References

Bardin M.Yu. 1995. *Izmenchivost kharakteristik tsiklonichnosti v sredney troposphere umerennykh shirot Severnogo polushariya* [Variability of cyclonicity parameters in the middle troposphere of the Northern Hemisphere extratropics]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 11, pp. 24-37.

Bardin M.Yu. 1999. *Regionalnye kvazistatsionarnye rezhimy zimney tsirkulyatsii umerennykh shirot Severnogo polushariya. II. Prostranstvennoe raspredelenie I gorizontalnaya struktura fluktuatsiy* [Regional quasi-stationary winter circulation regimes in the midlatitude Northern Hemisphere. Part II. Spatial distribution and horizontal structure of fluctuations]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 2, pp. 12-24.

---

Bardin M.Yu. 2000. Osnovnyye mody izmenchivosti povtoryaemosti tsiklonov zimoy v atlanticheskom sektore [Principal modes of variability of winter cyclone frequency in the Atlantic sector]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 1, pp. 42-52.

Bardin M.Yu., Polonsky A.B. 2005. Severoatlanticheskoe kolebanie I sinopticheskaya izmenchivost v Evropeysko-Atlanticheskom regione v zimniy period [North Atlantic oscillation and synoptic variability in the European-Atlantic region in winter]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery I okeana – Proceedings of the RAS. Physics of the atmosphere and ocean*, vol. 41, pp. 3-13.

Bardin M.Yu. 2007. Antitsiklonicheskaya kvazistatsionarnaya tsirkulyatsiya I ee vliyaniye na anomalii I ekstremumy temperatury vozdukha v zapadnykh oblastiakh Rossii [Anticyclonic quasi-stationary circulation and its effect on air temperature anomalies and extremes over western Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 2, pp. 5-18.

Bardin M.Yu. 2011. Stsenarnyye prognozy izmeneniya temperatury vozdukha dlya regionov RF do 2030 g. s ispolzovaniem empiricheskikh stokhasticheskikh modeley klimata [Scenario forecasts of air temperature variations for the regions of the Russian federation up to 2030 using the empirical stochastic climate models]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 4, pp. 5-20.

Bardin M.Yu., Bulygina O.N., Platova T.V. 2014. Ekstremalnost klimata [Climate Extremality-Chapter 1.7.] V kn. *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [In the book: Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences in the Russian Federation]. Moscow, pp. 171-202

Bardin M.Yu., Platova T.V., Samokhina O.F. 2015a. Osobennosti izmenchivosti tsiklonicheskoy aktivnosti umerennykh shirot Severnogo polushariya, svyazannyye s vedushchimi modami atmosfery tsirkulyatsii v Atlantiko-Evropeyskom sektore [Specific features of variability of cyclone activity in northern extratropics associated with leading atmospheric circulation modes in Atlantic-European sector]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, no. 2, pp. 14-40.

Bardin M.Yu., Platova T.V., Samokhina O.F. 2015b. *Osobennosti nablyudaemykh izmeneniy klimata na territorii Severnoy Evrazii po dannym regul'yarnogo monitoringa i vozmozhnye ikh faktory* [Climate change characteristic features on the territory of Northern Eurasia based on the routine climate monitoring and possible factors]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii* [In the book: Proceedings of Hydrometcentre of Russia], no. 358, pp. 13-35.

Voskresenskaya E.N., Kovalenko O.Yu. 2015. Mezhhodovaya izmenchivost' antitsiklonicheskoy aktivnosti Chernomorsko-Sredizemnomorskogo regiona? Obuslovlennaya global'nymi protsessami v sisteme okean-atmosfera [Interannual variability of anticyclone activity in the Black sea – Mediterranean region]

---

associated with global processes in ocean – atmosphere system ]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy – Environmental control systems*, no. 1 (21), pp. 73-76.

Gruza G.V., Rankova E.Ya., Rocheva E.V., Smirnov V.D. 2015. Geograficheskie i sezonnye osobennosti sovremennogo global'nogo potepeniya [Current global warming: geographical and seasonal features]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, vol. 2, pp. 41-62.

Katz A. L. 1973. *Neobychnoe leto 1972 goda* [The unusual summer of 1972]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 60 p.

Obukhov A.M., Kurgansky M.V., Tatarskaya M.S. 1984. Dinamicheskie usloviya vozniknoveniya zasukh i grugikh krupnomasshtabnykh pogodnykh anomalii [Dynamic patterns associated with formation of droughts and other large-scale weather anomalies]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 10, pp. 5-14.

Popova V.V., Shmakin A.B. 2010. Regional'naya struktura kolebaniy temperatury prizemnogo vozdukh v Severnoy Evrazii vo vtoroy polovine XX – nachale XXI vekov [Regional structure of surface-air temperature fluctuations in northern Eurasia in the latter half of the 20th and early 21st centuries]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery I okeana – Proceedings of the RAS. Physics of the atmosphere and ocean*, vol. 46, no. 2, pp. 161-175.

Popova V.V. 2018. Sovremennye izmeneniya klimata na severe Evrazii kak proyavlenie variatsiy krupnomasshtabnoy atmosfernoy tsirkulyatsii [Present-day changes in climate in the north of Eurasia as a manifestation of variation of the large-scale atmospheric circulation]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, no. 1, pp. 84-112.

FAO 2011: *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery I okeana – Proceedings of the RAS. Physics of the atmosphere and ocean*, vol. 47, no. 6 (*Spetsial'nyy vypusk, posvyashchennyy ekstremal'nomu letu 2010 goda* [Special issue dedicated to the extreme summer of 2010]).

Cherenkova E.A., Bardin M.Y., Zolotokrylin A.N. 2015. Statistika osadkov i zasykh v protivopolozhnye fazy kvazidvukhletney tsiklichnosti atmosfernykh protsessov i ee svyaz' s urozhaynost'yu na Evropeyskoy territorii Rossii [The statistics of precipitation and droughts during opposite phases of the quasi-biennial oscillation of atmospheric processes and its relation to the yield in the European part of Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 3, pp. 23-35.

Bardin M.Yu., Platova T.V. 2018. Effect of large-scale atmospheric circulation in the North Atlantic sector on statistics of synoptic-scale vortices and surface temperature over North Eurasia in Practical Geography and XXI Century Challenges. – International Geographical Union Thematic Conference dedicated to the Centennial of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 4–6 June 2018, Moscow. Conference Book. Part 1. – Moscow, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, p. 132. ISBN 978-5-94101-341-8 ISBN 978-5-94101-342-5 (Book 1). Doi: 10.15356/IGRAS100CONF\_V1.

Barnston A.G., Livezey R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. – *Mon. Wea. Rev.*, vol. 115, pp. 1083-1126.

Gulev S.K., Zolina O., Grigoriev S. 2001. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR Reanalysis data. – *Clim. Dynamics*, vol. 17, pp. 795-809.

Hurrell J.W. 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. – *Science*, vol. 269, pp. 676-679.

Kalnay et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. – *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 77, pp. 437-470.

Lau N.C. 1988. Variability of the observed midlatitude storm tracks in relation to low-frequency changes in the circulation pattern. – *J. Atmos. Sci.*, vol. 45, pp. 2718-2743.

Murray R., Simmonds I. 1991. A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. part i: development and operation of the scheme. – *Australian Meteorological Magazine*, vol. 39, pp. 155-166.

Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Coccozza A., Dacre H.F., Feng Y., Fraedrich K., Grieger J., Gulev S., Hanley J., Hewson T., Inatsu M., Keay K., Kew S.F., Kindem I., Leckebusch G.C., Liberato M.L.R., Lionello P., Mokhov I.I., Pinto J.G., Raible C.C., Reale M., Rudeva I., Schuster M., Simmonds I., Sinclair M., Sprenger M., Tilinina N.D., Trigo I.F., Ulbrich S., Ulbrich U., Wang X. L., Wernli H. 2013. IMILAST – a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms: assessing method-related uncertainties. – *Bull. Am. Meteor. Soc.*, vol. 93, pp. 529-547. Doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00154.1>.

Polonsky A., Voskresenskaya E., Bardin M. 2014. Variability of Extratropical Cyclonic Activity in The Northern Hemisphere Associated With Global Processes in The Ocean-Atmosphere System. – In book: *Cyclones: Formation, Triggers and Control* /eds. Kazuyoshi Oouchi and Hironori Fudeyasu. – Nova Science Publisher, pp. 161-196. ISBN: 978-1-63117-097-3

Polonsky A., Bardin M., Voskresenskaya E. 2012. Variability of extratropical cyclonic activity in the Northern Hemisphere associated with global processes in the ocean-atmosphere system. - In book: *Cyclones: Formation, Triggers and Control* /Editors: Kazuyoshi Oouchi and Hironori Fudeyasu. – Nova Science Publishers, Inc., USA-Canada, Chapter 8, pp. 161-196.

Whittaker L., Horn L. 1984. Northern Hemisphere extratropical cyclone activity for four mid-season months. – *J. Climatol.*, vol. 4, pp. 297-310.

Zishka K.M., Smith P.J. 1980. The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July, 1950-77. – *Mon. Wea. Rev.*, vol. 108, pp. 387-401.

---