

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ ПАРАМЕТРОВ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА

О.В. СОКОЛОВ, Л.И. МЕЗЕНЦЕВА

ДВНИГМИ, г. Владивосток

*Средствами трендового анализа выявлены климатические сдвиги временных рядов некоторых индексов общей циркуляции атмосферы во второй половине XX века. Исследованию подвергались средние месячные, средние сезонные и средние годовые значения индексов Блиновой и циклонической активности, рассчитанные для Южного полушария, индексов Каца и индексов блокирования для тихоокеанского сектора Южного полушария.*

*Выявлено, что во второй половине XX века в Южном полушарии происходило усиление зональной циркуляции в средней тропосфере и изменение крупномасштабной турбулентности в нижней: ослабление в субтропических и умеренных широтах и усиление в субантарктической зоне.*

В последнее время накоплено достаточно доказательств, касающихся изменений климата на планете — изменений различной периодичности и амплитуды, различной природы, относящихся к разным аспектам окружающей среды. В настоящей работе сделана попытка проследить изменения параметров общей циркуляции атмосферы (ОЦА) в Южном полушарии во второй половине XX столетия. Точнее, исследовать параметры ОЦА, связанные с процессами в тропосфере в умеренных и высоких широтах Южного полушария в целом и его тихоокеанском секторе в частности.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью мониторинга состояния ОЦА в рамках данной работы были рассчитаны некоторые индексы циркуляции, приведенные ниже. Исходными материалами для их расчета послужили данные объективного анализа гидрометеорологических параметров в кодах GRIB — архив NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction, Washington DC, National Center for Atmospheric Research, Boulder CO). Использовались средние месячные значения геопотенциальных высот на поверхности 500 гПа ( $H_{500}$ ) с 1950 по 2001 г. и ежедневные значения геопотенциальных высот на поверхности 1000 гПа ( $H_{1000}$ ) за срок 00 GMT за период 1954–1999 гг. в узлах регулярной сетки  $2,5 \times 2,5^\circ$  по всему Земному шару.

Рассчитывались индексы Блиновой, исходными массивами послужили средние месячные поля  $H_{500}$ . Данный индекс характеризует среднюю для полушария угловую скорость зональных течений, отнесенную к угловой скорости вращения Земли [2]; расчеты производились для каждого широтного круга, в данном случае с шагом  $2,5^\circ$  с  $40$  по  $65^\circ$  ю.ш. включительно.

На базе этих же средних месячных архивов рассчитывались известные индексы атмосферной циркуляции А.Л.Каца, которые количественно характеризуют отдельные составляющие интегрального переноса воздушных масс: зонального и меридионального ( $J_z$  и  $J_m$  соответственно), над заданным участком земной поверхности [6, 7].

В рамках данной работы в расчетных схемах учитывалось изменение параметра Кориолиса с широтой, зональный и меридиональный градиенты давления

(в размерности дам/град) рассчитывались путем численного дифференцирования и были отнесены к угловой скорости вращения Земли. Расчеты производились по региону, ограниченному 170 и 120° з.д. и 35 и 70° ю.ш. (юго-восточная часть Тихого океана).

Кроме этого, разработано оригинальное программное обеспечение для определения топологических особенностей поверхностей, заданных в узлах регулярной сетки. К таким особенностям в нашем случае относятся замкнутые области пониженного рельефа на изобарической поверхности – аналог циклона. С равным успехом программное обеспечение позволяет определять характеристики замкнутых областей повышенного рельефа на изобарической поверхности (любой другой поверхности тоже). Алгоритм расчета предусматривает учет сферичности Земли и выбор географического региона, в котором производится выделение объектов.

При выделении названных объектов использован ряд экспериментально подобранных критериев, позволяющих произвести отбор объектов из всего множества:

- минимальный объем объекта  $V_{min}$  в размерностях исходного поля, при превышении которого объект считается отобранным;
- максимальный объем объекта  $V_{max}$  в размерностях исходного поля, при превышении которого объект не отбирается;
- реальная максимальная глубина (высота)  $h$ , ниже (выше) которой отбираются все объекты;
- критерий  $(h^*h)/S$ , где  $S$  – площадь основания объекта: данный параметр позволяет отобрать объекты, имеющие небольшую площадь основания, но при этом достаточно глубокие (высокие);
- критерий  $(h^*h^*h)/V$ : данный параметр позволяет исключить объекты, имеющие небольшую глубину (высоту) и значительный объем  $V$ .

Визуальное сравнение объективно выделенных объектов на изобарической поверхности  $H_{1000}$  с барическими объектами на картах погоды за синхронные сроки показало высокую степень совпадения их положения и глубины. По нашему мнению, данные характеристики можно использовать в качестве меры количества и интенсивности циклонических и антициклонических образований. Отметим, что путем подбора указанных выше критериев можно выделять классы объектов, например, можно отобрать «глубокие» циклоны или объекты повышенного рельефа, «выше» или обширнее критических значений.

Ниже приводится анализ индексов  $LA$  (lake – «впадины»), которые рассчитывались как сумма количества замкнутых областей пониженного рельефа на определенной широте с шагом 2,5° в зоне 40–80° ю.ш. по ежедневным картам  $H_{1000}$  в срок 00 GMT за период 1954–1999 гг. При этом не учитывалась интенсивность образований. Таким образом, мы получили индекс, характеризующий меру циклонической активности на определенной широте. Заметим, что величина индекса, например 65, не означает, что в рассматриваемом месяце в выбранной широтной зоне было 65 циклонов, так как один и тот же циклон может быть учтен при расчетах неоднократно, если он находился в данном районе более одних суток. Кроме того, этот же циклон может быть учтен и в соседнем районе.

При расчете индексов блокирования за основу был взят метод количественной параметризации, основанный на анализе временных рядов отклонений ежедневных значений  $H_{500}$  в узлах регулярной сетки от среднеширотных значений, предложенный в [4, 5].

Блокирование обычно сопровождается глубоким меридиональным преобразованием термобарического поля, приводящим к междуширотному перераспределению воздушных масс и тепла в тропосфере. Поскольку процессы блокирования устойчивы по времени и имеют определенную географическую локализацию, они

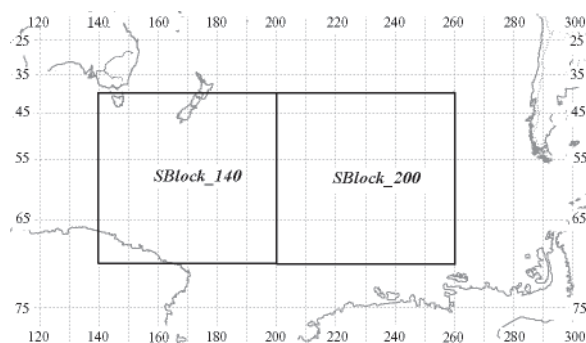


Рис. 1. Районы частого блокирования западно-восточного переноса, где рассчитывались индексы блокирования *SBlok\_140* и *SBlok\_200*

существенно воздействуют на формирование среднего режима атмосферной циркуляции [13].

При расчете данного индекса на первом этапе на основе ежедневных данных анализа  $AT_{500}$  за 00 GMT рассчитывались стандартные отклонения высоты изобарической поверхности в каждой точке поля  $2,5 \times 2,5^\circ$  для каждого месяца по всему Земному шару ( $CKO_{im}$ ,  $i$  – номер точки,  $m$  – месяц). Всего было обработано 10512 точек для 12 месяцев.

Затем определялся период блокирования (дата начала и окончания блока) для каждой точки по величине отклонения значения  $H_{500}$  от среднеширотного значения для данного момента времени для данного узла сетки. При этом, в отличие от методики, приведенной в [4], период времени, в течение которого отклонение в точке должно превышать  $CKO$  на круге широты, считался непрерывным и, в нашем случае, равным 7 суткам (критическое значение наличия блока). Это более жесткое условие для метода определения блокирующих ситуаций.

На последнем этапе были определены климатические значения среднего количества дней с блокирующими ситуациями для каждой точки сетки и месяца ( $BLOCK_{im}$ ). На основе карт пространственного распределения  $BLOCK_{im}$  для Южного полушария были выделены районы с повышенным (относительно окружающего фона) количеством дней с блоками: регионы *SBlok\_140* и *SBlok\_200* (рис. 1). Отметим, что данные регионы отличаются максимальной повторяемостью блоков в Южном полушарии во все месяцы года.

Для всех предложенных индексов: индексов Блиновой, Каца, циклонической активности и блокирования – составлены многолетние ряды значений индексов и их аномалий (нормализованных на стандартное отклонение) месячного, сезонного и годового масштабов осреднения; определены климатические характеристики индексов, временные ряды исследованы на предмет линейных трендов. Все статистические оценки в данной работе произведены согласно положениям, принятым в [1, 3], и получены с доверительной вероятностью 0,95.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления особенностей пространственного и временного распределения индекса Блиновой в Южном полушарии были проведены сравнительные оценки основных климатических характеристик этого параметра с одноименными характеристиками Северного полушария.

Среднее годовое значение индекса в Южном полушарии составляет 63,4, что почти в полтора раза превышает значение индекса в Северном полушарии. Более

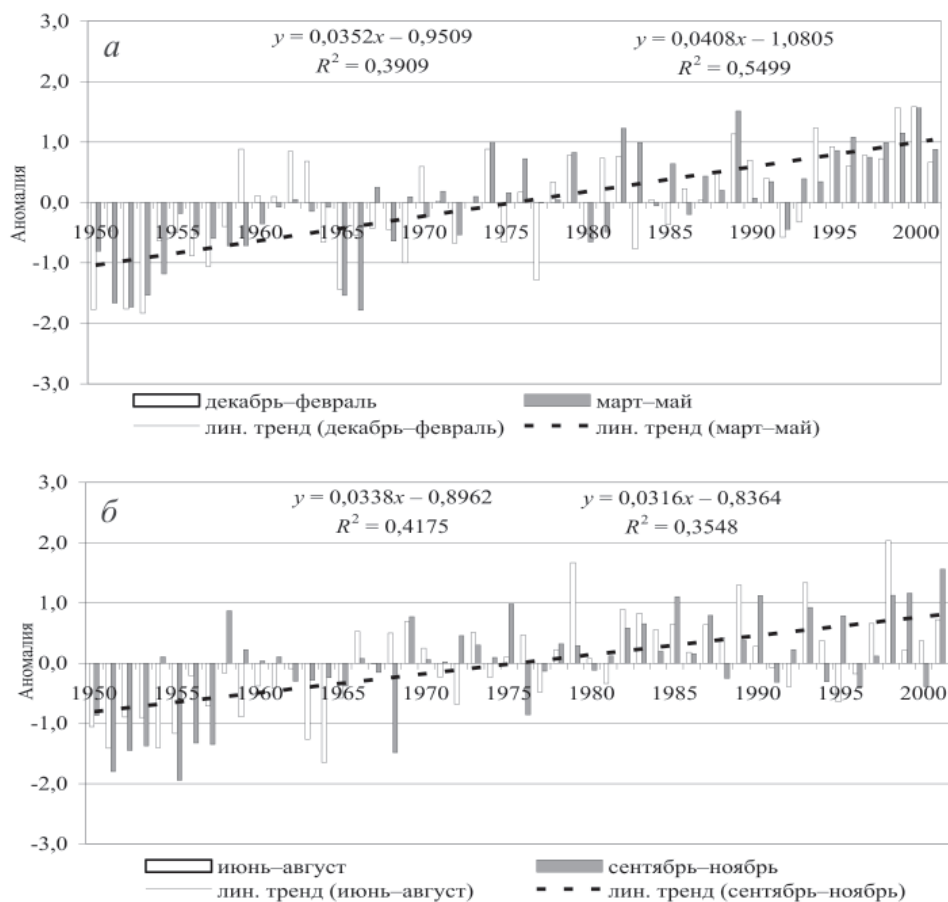


Рис. 2. Временной ход аномалий средних сезонных значений индекса Блиновой для Южного полушария с линейными трендами: *а* – лето, осень Южного полушария; *б* – зима, весна Южного полушария. Приведены уравнения и величины достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) линейных трендов

высокая интенсивность зональных течений в Южном полушарии отмечалась многими исследователями прежде, например в [9, 10, 11].

В годовом ходе индекса Блиновой в Южном полушарии выявлено два максимума, приходящиеся на март (69,7) и октябрь (67,2), и два минимума – в декабре (59,3) и июне (57,4). Двойную волну в годовом ходе интенсивности зональных течений принято объяснять тем [8], что северная и южная стороны пояса западных ветров Южного полушария имеют противоположные фазы изменения давления: на севере этого пояса максимумы давления наступают в дни равноденствия, а на юге – в дни солнцестояния. Это приводит к увеличению горизонтальных градиентов давления и к усилению зональной циркуляции между 40 и 65° ю.ш. в переходные сезоны. В месяцы солнцестояния горизонтальные градиенты в этой широтной зоне уменьшаются, ослабевает и зональное движение воздуха.

Подобно самому индексу годовой ход его среднего квадратического отклонения (СКО) в Южном и Северном полушариях различен. В Северном полушарии годовой ход СКО описывается плавной кривой с максимумом в январе (7,4) и

минимумом в июле (2,2). В Южном полушарии изменчивость средних месячных значений индекса высока во все месяцы года. Наиболее высокие значения СКО характерны для декабря (8,0) и августа (7,4), относительно низкие значения отмечаются в феврале—апреле (5,2).

Приведенные значения СКО свидетельствуют о большей изменчивости индекса в Южном полушарии в сравнении с северным почти во все сезоны года. Летом в Северном полушарии они почти в два раза меньше, чем в Южном. Это происходит вследствие нагревания суши в средних и высоких широтах Северного полушария, где наблюдается максимальное различие в соотношении площадей суши и моря, в результате чего уменьшаются меридиональные температурные контрасты и, таким образом, ослабевает крупномасштабная турбулентность атмосферы, показателем которой в определенной мере может служить изменчивость интенсивности зональной циркуляции. Материки же Южного полушария в летнее время, наоборот, усиливают контрасты температуры в средних широтах, усиливая в свою очередь крупномасштабную турбулентность.

Трендовый анализ временных рядов аномалий индекса Блиновой в Южном полушарии позволяет выявить наличие значимых на выбранном уровне положительных линейных трендов во все без исключения сезоны года. Наиболее значимое усиление зональных течений в исследуемый период (1950–2001 гг.) произошло в осенний и зимний периоды (рис. 2). Абсолютные величины трендов в эти сезоны достигают 2,2 и 2,0 СКО, коэффициенты детерминации 0,55 и 0,42 соответственно.

В табл. 1 приведены статистические параметры и оценки линейных трендов по критерию Фишера для средних годовых и средних сезонных значений индекса в Северном и Южном полушариях. Значительное превышение статистик  $F$  для временных рядов Южного полушария свидетельствует о большей значимости трендов в этом полушарии.

При исследовании годового хода индексов Каца (индексов зонального  $J_z$  и меридионального  $J_m$  переноса воздуха) по тихоокеанскому сектору Южного полушария с 1950 по 2001 г. выявлен ряд особенностей в распределении данного пара-

Таблица 1

**Статистические параметры и оценки линейных трендов для средних за период значений индексов Блиновой (для Северного и Южного полушарий) и Каца (для тихоокеанского сектора Южного полушария)**

Параметры значимости линейных трендов	Периоды осреднения				
	Год	Декабрь–февраль	Март–май	Июнь–август	Сентябрь–ноябрь
Критическое значение $F$ с дов. вероятностью 0,95	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$F$ для индекса Блиновой Северного полушария	7,0	5,6	0,4	2,5	3,7
Оценка тренда	Значимый	Значимый	Незначимый	Незначимый	Незначимый
$F$ для индекса Блиновой Южного полушария	96,9	32,1	61,1	35,8	27,5
Оценка тренда	Значимый	Значимый	Значимый	Значимый	Значимый
$F$ для $J_z$	55,8	35,0	47,1	19,0	12,8
Оценка тренда	Значимый	Значимый	Значимый	Значимый	Значимый
$F$ для $J_m$	6,4	3,4	2,3	2,0	1,0
Оценка тренда	Значимый	Значимый	Незначимый	Незначимый	Незначимый

метра. Подобно индексу Блиновой, индекс зонального переноса имеет два максимума и два минимума. Смещение в наступлении экстремумов в годовом ходе индекса  $J_3$  (региональный индекс) по отношению к индексу Блиновой (для полушария) отмечается только для летнего минимума. По интенсивности максимумы индекса примерно одинаковы (17235 и 17845 для марта и октября соответственно). Минимальные значения  $J_3$  в январе и июле отличаются более значительно, так главный минимум  $J_3$ , приходящийся на январь, составляет 14899, против 15804 для вторичного минимума в июле.

Средние месячные значения индекса  $J_3$  имеют высокую степень изменчивости в течение всего года. Статистически значимые различия наблюдаются лишь для СКО января (1092), когда отмечается минимальная изменчивость, и месяцев июнь–июль с наибольшей изменчивостью (1813–1816).

Годовой ход средних месячных значений  $J_m$  имеет ярко выраженный минимум в феврале (8774) и максимум в июне (10695). С февраля по июнь климатические значения  $J_m$  практически линейно увеличиваются, что говорит о последовательном увеличении количества меридиональных форм циркуляции при перестройке процессов от теплого сезона к холодному. Ослабление меридиональной циркуляции от августа к декабрю носит не столь линейный характер. СКО индекса меняется в пределах от 1044 в марте до 679 в ноябре.

Представляет интерес динамика значений рассматриваемых индексов. Многолетний ход средних годовых значений  $J_3$  отличается наличием значимого положительного линейного тренда, а временной ход индекса  $J_m$  — наличием отрицательного линейного тренда, не значимого на выбранном уровне. Доля дисперсии, описанная линейными трендами, 0,53 и 0,11 соответственно.

Отдельно были рассчитаны линейные тренды средних сезонных значений индексов. Во все сезоны года для индекса  $J_3$  с вероятностью 95 % выявлены статистически значимые положительные тренды (табл. 1). Наиболее значимый пришелся на осень Южного полушария (коэффициент детерминации 0,49), что свидетельствует об интенсивном увеличении повторяемости зональных форм атмосферной циркуляции в этот сезон в исследуемый период.

Если же рассматривать линейные тренды средних сезонных значений индекса  $J_m$ , то они не являются статистически значимыми с выбранной доверительной вероятностью. Тем не менее можно говорить об ослаблении меридионального переноса в выбранном регионе во все сезоны, при этом основной вклад в формирование отрицательного линейного тренда средних годовых значений  $J_m$  вносят летние (декабрь–февраль) значения индекса.

На основе изложенного выше алгоритма объективного выделения циклонических объектов был создан архив временных рядов аномалий накопленного за месяц количества циклонических объектов на уровне 1000 гПа (индекс  $LA$ ) вдоль широтных кругов с 40 по 80° ю.ш. включительно с шагом 2,5°.

Средствами трендового анализа выявлено, что во второй половине XX столетия изменения циклонической активности во времени в разных широтных зонах Южного полушария не отличаются однородностью. В табл. 2 для индексов циклонической активности приведены оценки линейных трендов для всех сезонов и в целом за год. В данном случае оценки линейных трендов получены как отношение  $F$ -статистик фактических к  $F$ -статистикам критическим для уровня значимости 0,95 [3], присвоенный отношению знак плюс или минус указывает на наклон линейного тренда. Чем больше абсолютная величина полученной оценки, тем больше наклон линии тренда. В таблице указаны лишь значения статистик больше единицы, при незначимых с выбранной вероятностью сдвигах значения статистик не указаны, приведены лишь знаки трендов (+ или –).

Таблица 2

Оценки линейных трендов временных рядов индекса циклонической активности  $LA$  поля  $H_{1000}$ 

Широта	Период				
	Год	Декабрь– февраль	Март– май	Июнь– август	Сентябрь– ноябрь
40° ю.ш.	+	+	+	–	+
45° ю.ш.	–1,0	–	–	–3,0	+
47,5° ю.ш.	–9,2	–	–1,7	–4,0	–2,9
50° ю.ш.	–9,9	–1,7	–2,0	–2,3	–1,0
52,5° ю.ш.	–6,0	–1,7	–2,6	–1,4	–
55° ю.ш.	–11,7	–6,3	–3,4	–2,9	–2,6
57,5° ю.ш.	–8,7	–2,9	–3,7	–2,9	–
60° ю.ш.	–7,2	–2,3	–1,9	–1,2	–3,1
62,5° ю.ш.	+	+	+	–	–
65° ю.ш.	1,3	3,2	+	+	–
67,5° ю.ш.	1,5	1,6	+	+	+
70° ю.ш.	+	+	+	+	+
72,5° ю.ш.	+	–2,4	+	+	+
75° ю.ш.	+	–	2,0	1,7	+
77,5° ю.ш.	–	–	+	–	–
80° ю.ш.	–2,6	–	–	–1,3	–1,7

На 40° ю.ш. временные ряды годовых и сезонных аномалий индекса  $LA$ , за исключением зимнего сезона, имеют положительный наклон линейного тренда, однако тренды не значимы. В зоне от 45 до 60° ю.ш. включительно отмечается отрицательный знак линейных трендов во все сезоны года, т.е. количество циклонов в приземном слое во второй половине века здесь сокращалось. В широтной зоне 62,5 – 75° ю.ш. наблюдается преобладание, за исключением отдельных сезонов на отдельных широтах, положительных линейных трендов, т.е. количество циклонических объектов в этой широтной зоне нарастало. И наконец, в высоких широтах, южнее 75°, в многолетнем ходе индекса  $LA$  вновь отмечаются отрицательные тренды.

Такое поведение объектов  $LA$  на уровне 1000 гПа, по всей видимости, следует связывать с перераспределением термических и барических градиентов в нижней тропосфере Южного полушария и усилением зональных (следовательно, уменьшением меридиональных) форм циркуляции атмосферы.

Рассматривая трендовые составляющие временного хода  $LA$  в Южном полушарии более детально, следует отметить, что наиболее значимое ослабление циклонической деятельности в умеренных широтах наблюдается на 55 параллели. Здесь во все месяцы года отмечаются отрицательные значимые линейные тренды временных рядов  $LA$ . Годовые аномалии накапливают отрицательные трендовые составляющие параметров месячного разрешения, коэффициент детерминации линейного тренда средних годовых значений  $LA$  достигает 0,52.

В широтной зоне 65 – 67,5° ю.ш. отмечается максимум в нарастании циклонической активности, наиболее проявленный в декабре–феврале (положительные значения рассчитанных статистик достигают максимума, см. табл. 2). На рис. 3 представлены графики временного хода средних годовых значений индекса  $LA$  на 65 и 55° ю.ш., сглаженные прямыми.

Расчет количества объектов  $LA$  над тихоокеанским сектором Южного полушария (район ограничен 140° в.д. и 80° з.д.) позволил оценить вклад этого региона в формирование квазиполувековых трендов многолетнего хода индекса, отнесенного ко всему полушарию.

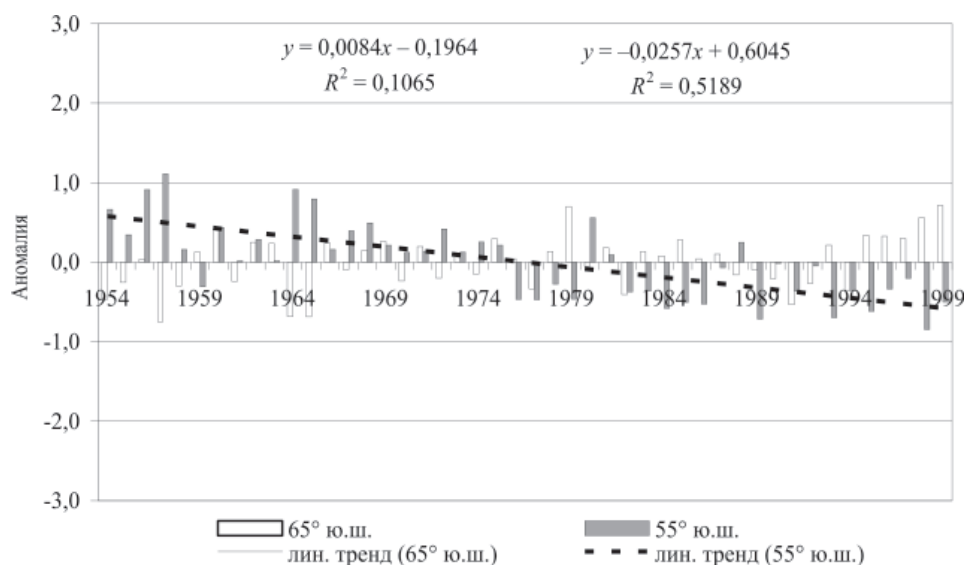


Рис. 3. Временной ход аномалий средних годовых значений индекса *LA* вдоль 65 и 55° ю.ш. с линейными трендами, уравнениями и величиной достоверности аппроксимации ( $R^2$ )

В частности, в умеренной климатической зоне Тихого океана, как и в целом по полушарию, отмечалось уменьшение циклонических объектов в исследуемый период, наиболее значимое также приходится на 55 параллель. Однако зона с отрицательными трендами в умеренных широтах Тихого океана смещена к полюсу на  $2,5^\circ$  по отношению к подобной зоне, рассчитанной для всего полушария, и, таким образом, сужается зона с положительными трендами в субполярных и полярных областях Тихого океана. Кроме этого положительные тренды в субантарктической зоне не достигают выбранного уровня значимости, а в отдельные месяцы и сезоны имеют обратный знак.

В качестве индексов, характеризующих блокирование западно-восточного переноса в тропосфере Южного полушария, были использованы величины накопленных за месяц случаев блокирования в каждой точке поверхности  $H_{500}$  выделенных регионов *SBlock\_140* и *SBlock\_200* (рис. 1). Далее приведены некоторые климатические характеристики одноименных индексов блокирования *SBlock\_140* и *SBlock\_200* и анализ временных рядов стандартизованных аномалий этих индексов.

В годовом ходе индекса *SBlock\_140* отмечается два максимума, приходящие на август и декабрь, и один ярко выраженный минимум в октябре. С января по июнь повторяемость блокирующих ситуаций незначительно изменяется от месяца к месяцу и не имеет значимых экстремумов. Изменчивость индекса велика во все сезоны, годовой ход стандартного отклонения также не имеет значимых максимумов и минимумов.

Трендовый анализ временных рядов *SBlock\_140* показал, что в последние десятилетия в районе  $140^\circ$  в.д.– $160^\circ$  з.д.,  $40$ – $70^\circ$  ю.ш. осенью и зимой отмечается уменьшение ситуаций блокирования западно-восточного переноса, летом – увеличение, а весной значимых изменений нет.

Индекс *SBlock\_200* имеет хорошо выраженный годовой ход с максимумами в июне–августе и декабре и минимумами в переходные сезоны: феврале–апреле и ноябре. Стандартное отклонение повторяет поведение самого индекса: наименьшей



изменчивостью индекс характеризуется в феврале, апреле и ноябре, наибольшей – в декабре–январе и с мая по октябрь.

Для данного индекса во все сезоны года выявлены отрицательные линейные тренды разной значимости, т.е. в данном районе последние десятилетия характеризуются систематическим ослаблением меридионального переноса в средней тропосфере. Коэффициент детерминации линейного тренда для сезона лета Южного полушария составляет 0,15, для других сезонов 0,05–0,09, для временного ряда средних годовых значений индекса – 0,20, что указывает на ослабление меридионального переноса в выбранном районе Тихого океана и в тихоокеанском регионе южного полушария в целом.

Одним из относительно простых способов выявления многолетней цикличности является метод накопленных аномалий. Интегрирование периодических колебаний увеличивает их амплитуды пропорционально длине соответствующего периода, облегчает выделение низкочастотных колебаний и, таким образом, представляет собой фильтр, позволяющий гасить короткопериодные колебания. Подобный метод был применен к аномалиям исследуемых индексов.

Кривая накопленных аномалий средних годовых значений индекса Блиновой для южного полушария представляет собой параболу с нисходящей осью с середины века до конца 60-х и восходящей – с середины 70-х гг. до конца века, т.е. первая половина исследуемого периода отличается ослаблением зонального переноса на полушарии, а вторая – его усилением (рис. 4). Следует отметить выраженную синхронность в ходе интегральных кривых обоих полушарий, что служит указанием на общую природу зональности воздушных течений на Земле.

Существует множество исследований, подтверждающих наличие сдвигов гидрометеорологических параметров и элементов циркуляции в середине 70-х гг. Например, с середины 70-х гг. началась эпоха преобладания теплых эпизодов ЭНЮК. В этот же период наблюдались изменения элементов циркуляции в северо-тихоокеанском секторе [15, 14]. Известно и о длиннопериодных колебаниях параметров зональных течений.

Для индекса  $J_3$  первая половина исследуемого периода до 1968 г. включительно характеризуется накоплением отрицательных аномалий. С 1969 г. до конца столетия преобладают положительные аномалии средних годовых значений ин-

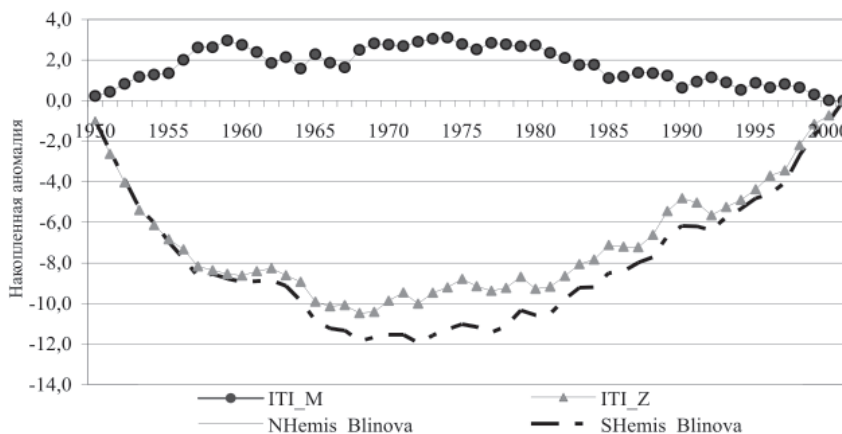


Рис. 4. Накопленные аномалии средних годовых значений индексов  $J_3$  и  $J_M$  для тихоокеанского сектора Южного полушария, индексов Блиновой в Северном и Южном полушариях

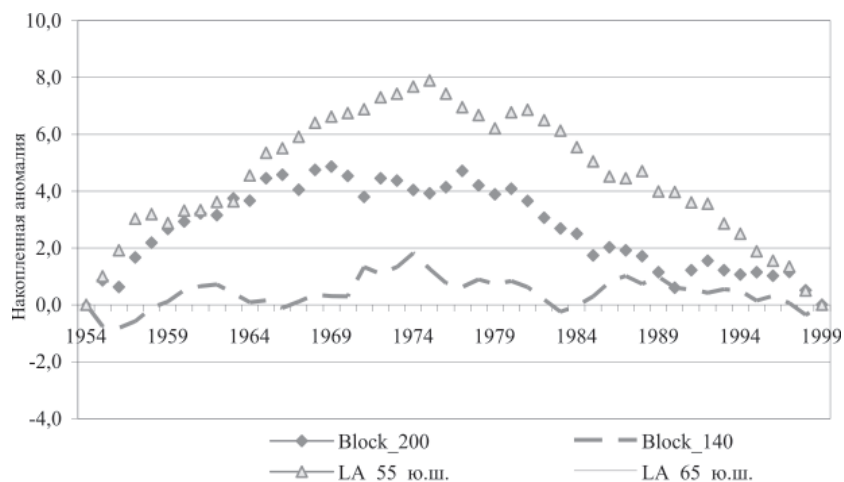


Рис. 5. Накопленные аномалии средних годовых значений индексов  $SBlock_{200}$  и  $SBlock_{140}$ ,  $LA_{55^\circ}$  и  $LA_{65^\circ}$

декса. Следует отметить хорошее совпадение хода интегральной кривой аномалий  $J_3$  (региональный индекс) и интегральной кривой аномалий индекса Блиновой (полушарный индекс, рис. 4).

Рассматривая интегральную кривую аномалий средних годовых значений индекса  $J_m$ , можно отметить несколько периодов накопления положительных и отрицательных аномалий. Периоды накопления положительных аномалий: 1950–1959 гг. и 1967–1974 гг.; периоды накопления отрицательных аномалий: 1960–1964 гг. и 1980–2000 гг.

Кривая накопленных аномалий средних годовых значений индекса  $SBlock_{140}$  имеет квазипериодический характер (циклы около 12–13 лет). Иначе проявляет себя индекс  $SBlock_{200}$ , для него характерны низкочастотные колебания: с начала временного ряда (1954 г.) до середины 60-х гг. наблюдается накопление положительных аномалий, затем следует период без видимого преобладания аномалий одного знака, и наконец, с конца 70-х гг. до 1990 г. — период с подавляющим большинством отрицательных аномалий (рис. 5). Таким образом, именно два последние десятилетия изучаемого периода формируют климатическую неоднородность полувековых рядов индекса  $SBlock_{200}$ .

На рис. 5 представлены также интегральные кривые средних годовых значений индекса циклонической активности  $LA$  для  $65^\circ$  и  $55^\circ$  ю.ш. за период 1954–1999 гг. Очевидна согласованность циклонической деятельности с индексами общей циркуляции атмосферы. При усилении интенсивности зонального переноса происходит концентрация циклонов в субполярных областях и уменьшение их числа в субтропических и умеренных широтах. К таким заключениям почти 40 лет назад пришел Г.М.Таубер [12].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместный анализ объективно рассчитанных индексов на однородном исходном материале позволяет сделать ряд выводов об изменении общей циркуляции атмосферы во второй половине XX века:

— интенсивность западно-восточного переноса в средней тропосфере в обоих полушариях возросла, следовательно, произошло увеличение крупномасштабного барического градиента (по крайней мере, между  $40^\circ$  и  $65^\circ$  параллелями);

– наибольший вклад в усиление интенсивности зональной циркуляции в Южном полушарии внесен зимним и осенним сезонами (в Северном полушарии – зимним);

– в нижней тропосфере Южного полушария в зоне 45 – 60° ю.ш. наблюдается ослабление циклонической деятельности, в широтной зоне 62,5 – 72,5° ю.ш. – усиление, и, наконец, в высоких широтах, 77,5 – 80° ю.ш., вновь отмечается ослабление циклонической деятельности;

– в зоне, ограниченной 170 и 120° з.д. и 35 и 70° ю.ш. (юго-восточная часть Тихого океана), зональный поток воздушных масс в средней тропосфере усилился во все сезоны года; меридиональный поток имеет тенденцию к ослаблению (сдвиги временных рядов годового и сезонного масштаба осреднения не достигают выбранного, 95 %, уровня значимости);

– блокирование западно-восточного переноса в тихоокеанском секторе Южного полушария ослабевает.

Таким образом, в середине 70-х гг. прошлого столетия в обоих полушариях, на наш взгляд, произошла смена циркуляционных эпох, которая заключалась в смещении циркуляционных систем к полюсам, в том числе концентрации циклонических образований в субполярных зонах, уменьшении межширотного обмена и «запиранию» антарктических (арктических) воздушных масс в полярных областях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 472 с.
2. Блинова Е.Н. Общая циркуляция атмосферы и гидродинамический долгосрочный прогноз погоды // Тр. ГМЦ. 1967. Вып. 15. С. 3–26.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 416 с.
4. Груза Г.В., Коровкина Л.В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. № 8. С. 11–17.
5. Груза Г.В., Коровкина Л.В. Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. № 3. С. 108–110.
6. Кац А.Л. Об изучении и оценке общей циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. 1954. № 6. С. 13–18.
7. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 270 с.
8. Лон Г. ван., Тальярд Д., Сасамори Т. и др. Метеорология Южного полушария: Пер. с англ. / Под ред. Ч. У. Ньютона. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 259 с.
9. Савицкий Г.Б. Синоптические процессы Южного полушария и погодные условия над Антарктидой в январе-ноябре 1967 г. // Тр. ААНИИ. Двенадцатая континентальная экспедиция. Л.: Гидрометеиздат, 1971. Т. 47. С. 123–137.
10. Стехновский Д.И. Некоторые вопросы взаимосвязи циркуляции атмосферы Северного и Южного полушарий // Тр. ЦИП. 1964. Вып. 137. С. 54–67.
11. Таубер Г.М. Взаимосвязи зональной и меридиональной циркуляции и их аномалий в Северном и Южном полушариях // Тр. ГМЦ. 1967. Вып 5. С. 78–103.
12. Таубер Г.М. Некоторые черты атмосферной циркуляции Южного и Северного полушарий // Труды ГОИН. 1962. Вып. 67. С. 33–59.
13. Таубер Г.М. О планетарном развитии блокирующих процессов // Метеорология и гидрология. 1969. № 3. С. 22–29.
14. Тунеголовец В.П. Сопряженность тропического и внетропического циклогенеза в северо-западной части Тихого океана в конце XX века // Тез. докл. V Научная юбилейная конф. «40 лет геофизическому факультету ИОС ДВГУ». Владивосток, 2004. С. 8–9.

15. Suga T., Kato A., Hanawa K. North Pacific Tropical Water: its climatology and temporal changes associated with the climate regime shift in the 1970s // Progress in Oceanography. 2000. Vol. 47. № 2–4. P. 223–256.

*O.W.COKOLOV, L.I.MEZENCEVA*

CLIMATIC TRENDS OF GENERAL ATMOSPHERIC CIRCULATION  
PARAMETERS IN SOUTHERN HEMISPHERE IN SECOND HALF  
OF THE 20<sup>TH</sup> CENTURY

*By means of trend analysis, the shifts of time series of some indexes of general atmospheric circulation in the second half of the 20th century were found. Average monthly, seasonal and annual data of Blinova's index and cyclonic activity index were investigated, which were calculated for southern hemisphere, and Katz's index and block index for Pacific area of the southern hemisphere.*

*It was found that in the second half of the 20th century zonal circulation was increasing in the middle troposphere, and large scale turbulence was changing in the lower troposphere: decreasing in subtropical and middle latitudes and increasing in sub Antarctic zone.*