

УДК 551.582.55:551.52/.57

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ И ИХ СВЯЗЬ С ТРОПОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

В.Е.Тимофеев

*Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская 15 Одесса 65016
e-mail:tvvlad@mail.ru*

Реферат. Проведен анализ климатических индексов Южного полушария. Исследованы возможности использования Южной кольцевой моды (ЮКМ) для восстановления особенностей тропосферной циркуляции. Отмечается, что полушарная ЮКМ описывает только наиболее общие аспекты тропосферной циркуляции, а для описания ее региональных особенностей необходим расчет местных индексов. В частности, показано, что антициклональные процессы, развивающиеся в Южной полярной области (ЮПО), могут быть недооценены или пропущены при анализе ЮКМ. Изменения характеристик полугодовой волны атмосферного давления по многолетним данным станций Антарктического полуострова связываются с переходом к устойчивому потеплению с 1960-х гг.в этом районе. Влияние явления Эль-Ниньо-Южное Колебание на региональную тропосферную циркуляцию и погодные условия района Антарктического полуострова наилучшим образом проявляется в годы с разными фазами Эль-Ниньо, когда формируются очаги с разнонаправленными аномалиями давления в ЮПО.

Кліматичні індекси Південної півкулі і їх зв'язок з тропосферною циркуляцією. В.Є.Тимофеев

Реферат. Проведено аналіз кліматичних індексів Південної півкулі. Досліджено можливості використання Південної кільцевої моди (ПКМ) для відновлення особливостей тропосферної циркуляції. Відзначено, що ПКМ описує тільки найбільш загальні аспекти тропосферної циркуляції на півкулі, а для описання регіональної циркуляції необхідно розраховувати місцеві індекси. Знайдено, зокрема, що ситуації зі стійким антициклоном в Південній полярній області (ППО), що зумовлюють аномальні похолодання, можуть бути недооцінені або пропущені при аналізові ПКМ. Мінливість характеристик піврічної хвилі атмосферного тиску по багаторічним даним станцій Антарктичного півострова пов'язується з переходом до стійкого потепління з 1960-х рр. Вплив явища Ель-Ніньо-Південне Коливання на регіональну тропосферну циркуляцію і погодні умови району Антарктичного півострова найкращим чином проявляється в роки із різними фазами Ель-Ніньо, коли формуються області різнонаправлених аномалій тиску в ППО.

Climatic indices of the Southern Hemisphere and their relation to tropospheric circulation by V.E. Timofeyev

Abstract. Climatic indices of the Southern Hemisphere are described using data of the World Data Center (Moscow) and Reanalysis data. The potential of the Southern Annular mode (SAM) for simulation of Antarctic climate and tropospheric circulation is discussed. It is concluded that hemispherical SAM describes only common aspects of climate change as well as reflects general properties of tropospheric circulation; calculation of local indices is needed to describe peculiarities of regional circulation. Synoptic analysis of settled anticyclonic process brought in cold winter spells to the Antarctic Peninsula region is made; it is shown that such anticyclones can be omitted or underestimated when analyzing SAM. Important changes in the multi-years' course of parameters of the semi-annual pressure wave are found by the data of Vernadsky base: smoothening of summer pressure peak and displacement of winter minimum. These changes are attributed to regional warming at the Antarctic Peninsula region.

Some impacts of El-Nino phenomenon on regional tropospheric circulation and weather conditions at Antarctic Peninsula region are discussed. Influence of ENSO on weather conditions at Antarctic Peninsula tends to be maximized in years with different ENSO episodes, when pools of alternative anomalies of barometric pressure are formed in extratropical regions of the South Hemisphere. Winter air temperature anomalies at Antarctic Peninsula are caused by more frequent anticyclogenesis in years after cold ENSO episode, with intensive blocking in mid - and polar-latitudes. It was concluded that stabilization of warming at the Antarctic Peninsula during the recent years occurred at the background of prolonged time of individual ENSO events.

Keywords. Climatic indices, south annular mode, pressure wave, El Nino - Southern Oscillation

1. Введение

В целях диагноза и прогноза климатических изменений используется ряд индексов, рассчитываемых обычно в поле давления в районах функционирования наиболее значимых планетарных циркуляционных систем. Климатические индексы имеют смысл индексов

циркуляции, и будучи осредненными в течение достаточно большого периода времени, они показывают тенденции климата данного района. Многие индексы и пространственные связи между ними используются в схемах долгосрочных прогнозов погоды. В Северном полушарии, с его более плотной и более длительно существующей сетью метеорологических измерений, рассчитывается целый ряд индексов. К наиболее известным относятся: Северо-атлантическое колебание, с которым связывают погодные условия в Западной Европе, Североамериканско-тихоокеанское колебание, Арктическое колебание и др. (Panagiotopoulos et al., 2002; Fyfe et al., 1999).

Другим общеизвестным показателем состояния планетарной климатической системы является индекс Южного Колебания, отражающего степень и фазу развития явления Эль-Ниньо в экваториальной области Тихого океана. Его влияние на климат и формирование аномалий погоды в разных районах планеты общепризнано, но степень обусловленности им климата полярных районов еще далеко не полностью исследована.

Наиболее часто применяемым климатическим индексом во внетропических широтах Южного полушария является южная кольцевая мода (ЮКМ, английская аббревиатура SAM), рассчитываемая как нормированная разность средних значений атмосферного давления между 40° и 65° ю.ш. и представляющая таким образом собой аналог индекса полушарной зональной циркуляции внетропических широт. По-другому называясь антарктическим колебанием, ЮКМ отражает также степень развития зональных и меридиональных процессов в прибрежной области Антарктики, которые ответственны за степень похолоданий и потеплений. В литературе последних лет отмечается, что рост приземных температур на станциях в районе Антарктического полуострова происходит синфазно с многолетним ростом величины ЮКМ (Marshall, King, 1998), что также связывается с усилением зонального переноса в атмосфере и океане (Kidson, 1994; Hughes et al., 2003).

Целью работы было охарактеризовать возможности использования климатических индексов Южного полушария для интерпретации современных изменений климата и оценки региональных особенностей циркуляции в нижней тропосфере, в первую очередь в связи с потеплением в районе Антарктического полуострова. Использовались данные стандартных метеорологических измерений станций Антарктического полуострова (базовой была ст. Вернадский), данные атмосферного давления в узлах регулярной сетки ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск, Россия), 1972-1991 гг., частично дополненные по 2000 г. данными реанализа NCEP-NCAR, США. Кроме того, данные ВНИИГМИ-МЦД при необходимости дополнялись данными приземного анализа (ААНИИ, С.-Петербург), а также данными станции Вернадский, поскольку ее широта близка к южной границе расчета ЮКМ. Индекс Южного колебания рассчитан по данным Центра прогнозов климата (США, [http: www.cpc.noaa.gov](http://www.cpc.noaa.gov)).

2. Результаты работы

Южная кольцевая мода, отражающая интенсивность зональной циркуляции в ЮПО, рассчитывается как разность: $P_{40}^* - P_{65}^*$, где P_{40}^* , P_{65}^* – нормированные значения атмосферного давления на 40° и 65° ю.ш., соответственно (Marshall, 2003). Аналогично полушарному значению ЮКМ, был рассчитан индекс региональной зональной циркуляции в районе Антарктического полуострова (ИРЦ), в секторе $40 - 65^{\circ}$ ю.ш. и $0 - 90^{\circ}$ з.д.

Из рис. 1 видно, что многолетние колебания двух индексов во многом аналогичны (коэффициент корреляции 87%), с переходом к положительным значениям с конца 1970-х гг., т.е. давление на 40° ю.ш. становится в среднем по всем долготам выше, чем на 65° ю.ш. Немаловажно, что в течение последнего десятилетия значительные тренды отсутствуют, в отличие от данных (Marshall, 2003), где ЮКМ растет и в 1990-х гг. В целом, временной ход средних температур воздуха зимних месяцев по данным ст. Вернадский, соответствует колебаниям ЮКМ – в годы с теплыми зимами ее величина растет, а в годы с холодными зимами снижается. Однако зимы с аномальными похолоданиями на Антарктическом полуострове не отображены в изменениях ЮКМ и ИРЦ (например, 1987 г.).

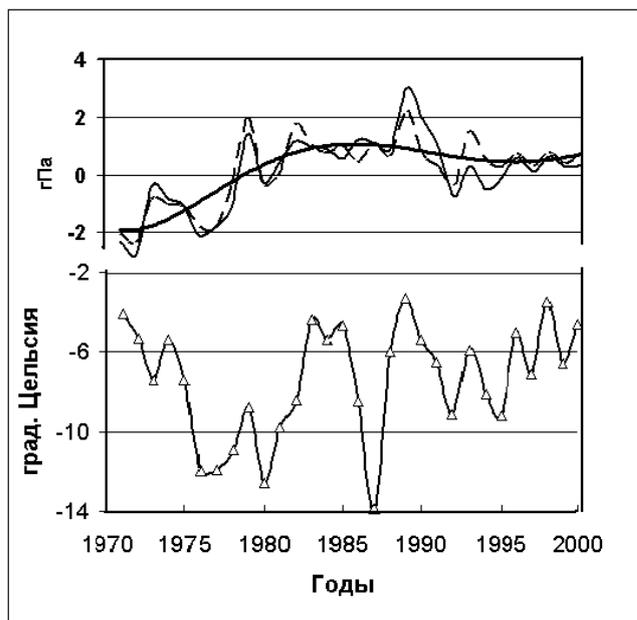


Рис. 1. Многолетний ход Южной кольцевой моды (сплошная кривая с линией тренда) и регионального индекса зональной циркуляции (пунктир), верхний график, и температуры зимних месяцев (июнь-сентябрь), нижний график, ст. Вернадский, 1972- 2000 гг.

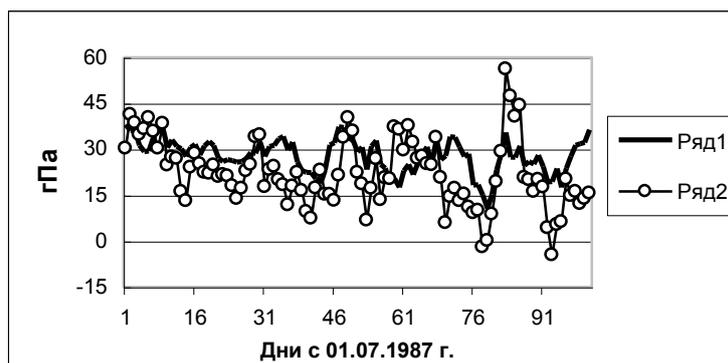


Рис. 2. Временной ход ненормированных ЮКМ (ряд 1) и регионального индекса зональной циркуляции (ряд 2), с 01.07 по 05.10.1987 г.

Из рис. 2 следует, что в течение anomalно холодной зимы 1987 г., региональный градиент, будучи в целом меньше полушарной ЮКМ по величине, испытывает большие колебания, с понижением в отдельные дни ниже 0 (то есть, давление в Южной полярной области (ЮПО) становится в среднем выше, чем в умеренных широтах). Отдельный пик более 50 гПа (83-ый день на рис. 2, или 23.09) связан с прохождением циклона, на время прервавшего антициклогенез в юго-восточной части Тихого океана.

Для оценки циркуляционного фона anomalной зимы 1987 г. был проанализирован естественный синоптический период 24.09 - 02.10. 1987 г. Он был представлен мало подвижным антициклоном с центром к северу от Земли Грейама (рис. 3), причем антициклогенез характеризовался блокированием перемещения циклонов в умеренных широтах Тихого и

Атлантического океанов. Значения ИРЦ были ниже ЮКМ и меньше 0 в отдельные дни (дни 85-94 на рис. 2). В течение рассматриваемого периода установилась холодная погода в районе Антарктического полуострова со средней температура воздуха -22.5°C , минимумом -39.6°C (26.09.1987 г.) и максимумом -6.3°C (29.09.1987 г.).

Кроме того, из рис. 3 следует, что центр исследуемого антициклона лежит у $50-55^{\circ}$ ю.ш., и таким образом пик давления оказывается сглаженным или вообще пропущенным при расчете ЮКМ между 40 и 65° ю.ш. Южная кольцевая мода реально отражает циркуляцию только в случае наличия барических центров в районе 40 и 65° ю.ш., как например, в западной части Тихого океана (антициклон у Новой Зеландии и циклон в море Росса, рис. 3).

В ситуациях преобладающего циклогенеза в ЮПО, без признаков блокирования в прибрежной зоне Антарктики (здесь не показаны в целях экономии места), разность величин давления между 40 и 65° ю.ш. увеличивается, что отражается в росте как величины ЮКМ, так и регионального индекса. Поскольку циклоны в ЮПО обычно перемещаются вдоль $60-65^{\circ}$ ю.ш., то характер циклонической циркуляции лучше восстанавливаются по значениям индекса ЮКМ.

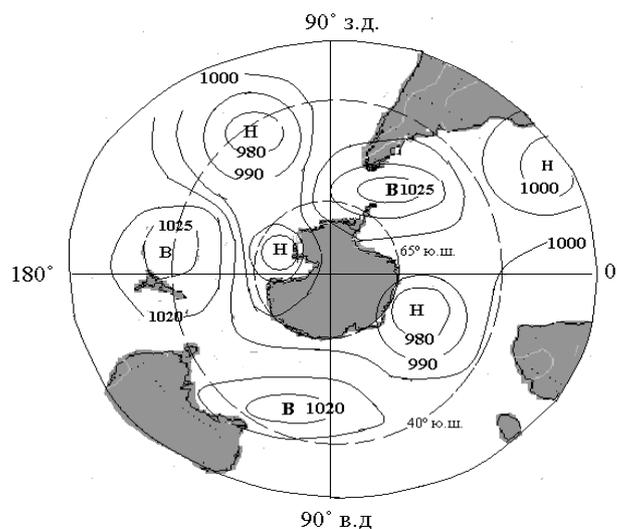


Рис. 3. Поле давления, осредненное в течение периода 24 – 30.09. 1987 г. Изобары нанесены схематически, в циклонах (Н) через 10 гПа, в антициклонах (В) через 5 гПа.

Другой важной особенностью временного распределения атмосферного давления в ЮПО является его полугодовое колебание (ПКД), с минимумами в переходные сезоны (обычно в марте и ноябре), и максимумами в начале зимы и летом (май или июнь, декабрь). Вид колебаний атмосферного давления по данным измерений на станции Академик Вернадский в разные десятилетия показан на рис. 4, причем заметно ослабление зимнего пика давления, по сравнению с первыми десятилетиями измерений: одномодальная волна в июле в 1957-1975 гг. сменилась двумя более ранними пиками меньшей амплитуды в последующие пятнадцать лет. Также, зафиксировано некоторое смещение мартовского минимума пика на 1 месяц вперед. Возможно, это связано с некоторыми изменениями тропосферной циркуляции, а именно с ослаблением антициклогенеза в зимний период в последние десятилетия на фоне общего снижения давления в ЮПО, с чем связана меньшая частота устойчивых похолоданий и в районе Антарктического полуострова.

Расположение Антарктического полуострова в юго-восточном секторе Тихого океана предполагает немалую обусловленность региональной погоды и климата явлением Эль-Ниньо-

Южное Колебание (ЭНЮК). Индекс Южного Колебания представляет собой нормированную разность значений атмосферного давления между о. Таити и п. Дарвин, Австралия; но чаще всего представляется его средним квадратическим отклонением, как на рис. 5.

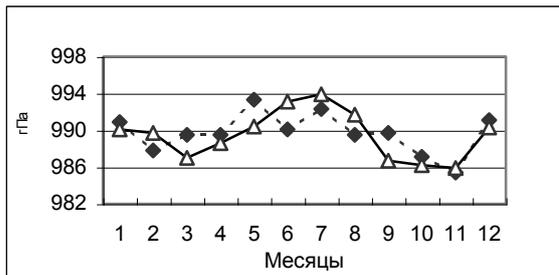


Рис. 4. Средние месячные значения атмосферного давления на ст. Вернадский. 1957-1975 гг. (сплошная кривая), 2 - 1985-2000 гг. (пунктир).

Существование определенной зависимости между явлением Эль-Ниньо и циркуляционными условиями в ЮПО наилучшим образом подтверждается в годы с его разными фазами, когда формируются альтернативные аномалии в поле давления во внетропических

широтах (Turner, 2004; Marshall, King, 1998; Xie et al., 2001). Так, циркуляционные процессы аномально холодной зимы 1987 г. в районе Антарктического полуострова являются типичными для теплой фазы ЭНЮК, с ослаблением тропических центров действия атмосферы и усилением антициклонеза в умеренных и приантарктических широтах. Во время Ла-Нинья, (холодной фазы) наоборот, климатические циклоны в ЮПО усиливаются, формируются положительные аномалии температуры воздуха, растет количество осадков, как, например, в теплое 1998 г.

Однако не во все годы теплой фазы развивались похолодания в районе Антарктического полуострова и не всегда годы с положительной аномалией температуры соответствуют холодному эпизоду ЭНЮК. Так, во время теплого эпизода 1982-83 гг. не отмечена холодная зима на Антарктическом полуострове. Многое зависит также и от времени оформления и сохранения одной и той же фазы ЭНЮК: так, при анализе холодного 1987 и теплого 1998 гг. необходимо учитывать, что 1987 г. был годом оформления теплой фазы ЭНЮК, а 1998 - годом ее завершения (рис. 5).

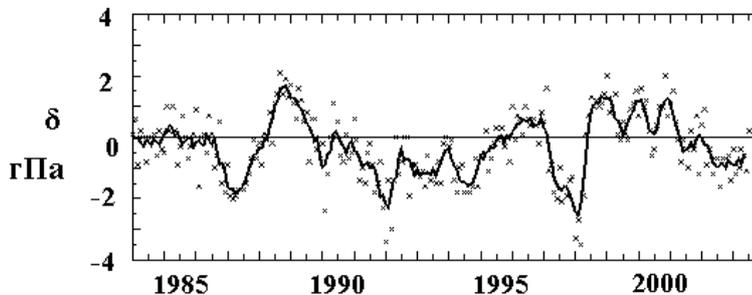


Рис. 5. Временной ход среднего квадратического отклонения (δ) индекса Южного колебания 1983-2003 гг.

Дополнительно можно отметить, что снижение межгодовых колебаний средних температур зимних месяцев в течение последних десятилетий происходит на фоне роста продолжительности преобладающей фазы Эль-Ниньо в 1990-1995 (Trenberth et al., 1996) и Ла-Нинья в 2000-2003 гг.

Таким образом, на данном этапе исследований трудно утверждать об однонаправленном влиянии Южного Колебания на погоду исследуемого района и тем более составлять какие-то прогностические признаки.

3. Обсуждение

Согласно выводам английских исследователей (Marshall, 2003), потепление в районе Антарктического полуострова началось за некоторое время до того, как в многолетнем ходе ЮКМ наметился рост с последующим переходом в область положительных значений. Однако такой вывод был сделан по анализу полушарного индекса, без учета региональных особенностей.

Очевидно, в этом плане большую информативность имеют междесятилетние изменения амплитуды зимнего пика полугодовой волны давления, которая изменяется синфазно с многолетним ростом температуры воздуха. Существование ПКД было обнаружено еще в первые годы регулярных измерений в ЮПО во время МГГ 1957-59 гг. (Атлас Антарктики, 1969). Тогда же было высказано предположение, что на ход давления оказывает определенное влияние положение кромки льда, которая в течение года перемещается с севера на юг и обратно более чем на 1000 км. Подробнее о динамике морских льдов см. в другую статью автора в этом номере УАЖ (Грищенко и др., 2005).

В современных работах по детализации взаимосвязей в системе океан-лед-атмосфера был сделан вывод (van den Broeke, 2000), что в периоды минимумов в годовом ходе давления, особенно в марте-апреле, происходит перестройка тропосферной циркуляции на зимний режим. Согласно нашим исследованиям, в третьей декаде марта практически каждого года выделено наличие существования сезонного оптимума погодных условий в районе Земли Грейама и станции Вернадский, что может быть использовано при планировании навигации. Его наступление связано с сезонным продвижением гребня субтропического антициклона к Антарктическому полуострову; средняя продолжительность оптимума 4.5 дня, с максимумом 9 дней в 1999 г., и 4 дня в 2002 г. Более детальные сведения о ходе осенней перестройки циркуляции могут быть использованы в целях долгосрочного прогноза на предстоящий сезон.

Очевидно, при рассмотрении региональных циркуляционных процессов, кроме зонального индекса, необходимо рассчитывать и меридиональный индекс циркуляции, как это делается в классических работах по синоптической метеорологии (Багров, 1978). Можно исходить из таких особенностей регионального поля давления, как наличие барического гребня или седловины, разделяющих циркуляцию между двумя климатическими циклонами в морях Беллинсгаузена и Уэдделла (Атлас Антарктики, 1969). Значит, с одной стороны, в районе Антарктического полуострова зональные градиенты давления должны быть меньше, чем в других областях, например, в секторе моря Росса, где преобладает циклоничность, а с другой стороны, можно рассчитывать меридиональный индекс вдоль долгот, между которыми вытянут полуостров, например, в секторе 50 - 70° ю.ш.

Что касается индекса Южного колебания, то поскольку характер циркуляции в экваториальной зоне Тихого океана отличен от той, что преобладает в умеренных широтах, то и информативность индекса другая. В первую очередь, этот индекс учитывает различную степень развития субтропических максимумов, площадь которых значительно больше, чем антициклонов внетропических и полярных широт Южного полушария, а площадь циклонов здесь, наоборот, меньше. То есть, в тропической области, с одной стороны, существует меньшая вероятность ошибиться в оценке характера циркуляции, а с другой стороны, информативность индекса Южного колебания для оценки климатических особенностей района Антарктического полуострова невелика. Однако крупномасштабные аномалии в полях давления в ЮПО формируются под значительным влиянием Эль-Ниньо.

Суммируя сведения о протекании различных процессов в региональной климатической системе, можно отметить, что изменение циркуляции нижней атмосферы в 1970-80-х гг., отражаемое ростом индекса ЮКМ, привело не только к росту температуры в нижних слоях

тропосферы в районе Антарктического полуострова, но и к усилению озоновой дыры вплоть до середины 1990-х. Текущее состояние характеризуется практически одновременным прекращением тенденции к потеплению в ЮПО и стабилизацией озоновой дыры, в том числе и по данным ст. Вернадский.

4. Выводы

1. Южная кольцевая мода - индекс полушарной зональной циркуляции, - в целом верно отображая многолетние тенденции климата Южной полярной области, отражает только самые общие особенности тропосферной циркуляции (зонально осредненные). Конкретные региональные процессы при этом могут быть неверно отражены или вообще просеяны. К таким процессам относится антициклональное блокирование в зоне 40-65° ю.ш., при котором формируются устойчивые похолодания в районе Антарктического полуострова. Однако, циклонические процессы адекватно восстанавливаются по данным ЮКМ. Причины изменчивости климата на масштабах десятилетий наиболее достоверным образом могут быть показаны путем исследования изменения атмосферной циркуляции.

2. Потепление в районе Антарктического полуострова сопровождается изменением характеристик полугодовой волны атмосферного давления, а именно сглаживанием ее амплитуды в зимние месяцы. Это является отражением определенных изменений в тропосферной циркуляции, а именно ослабления интенсивности антициклогенеза в зимние месяцы на фоне общего понижения давления в ЮПО в последние десятилетия. Годовой ход давления в этом районе связывается также с многолетней изменчивостью ледовитости моря.

3. Выявлены определенные закономерности обусловленности погоды на Антарктическом полуострове явлением Эль-Ниньо-Южное Колебание. Вслед за оформлением различных фаз явления формируются разнознаковые аномалии в поле атмосферного давления в умеренных и полярных широтах Юго-восточного сектора Тихого океана. В большинстве случаев, усиление антициклогенеза следует за теплой фазой Эль-Ниньо, а интенсификация циклоничности – за холодной фазой (Ла-Нинья). Последнее десятилетие отличается снижением межгодовых колебаний температуры воздуха на станциях Антарктического полуострова, на фоне увеличения продолжительности одной фазы явления. Для использования выявленных зависимостей в прогностической практике, необходимы дальнейшие исследования.

Литература

- Атлас Антарктики**, т.2. Л., Гидрометеиздат, 1969. - 600 с.
- Багров Н.А.** Об использовании типов циркуляции E, W, C для долгосрочных прогнозов // Труды Гидрометцентра СССР. - 1978. - 195. - С. 39-45.
- Грищенко В.Ф., Тимофеев В.Е., Клок С.** Реакции компонентов гляциосферы на изменения климата в районе Антарктического полуострова // Укр. антарк. журн. – 2005. - № 3. – С.
- Fyfe J.C., Boer G.I., Flato G.M.** The Arctic and Antarctic Oscillations and their projected changes under global warming // Geophys. Res. Letter. - 1999. - 26, N 11. - P. 1601-1604.
- van den Broeke M.** On the interpretation of Antarctic Temperature trends // J. of Climate. - 2000. - V. 13. - P. 3885 – 3891.
- Hughes C., Woodworth P., Meredith M., Stepanov V., Whitworth T., Pyne A.** Coherence of Antarctic sea levels, South Hemisphere annular mode and flow through Drake Passage // Geoph. Res. Letters. - 2003. - N 30(9), 17. - P. 1-4.
- Kidson J.W.** Indices of the Southern Hemisphere zonal wind // J. Climate. - 1994. - N 1. - P. 183-194.
- Marshall G.J.** Trends in the Southern Annular Mode from Observations and Reanalysis // J. of Climate. - 2003. - V. 16. - P. 4134 - 4143.

Marshall G.J., King J.C. Southern Hemisphere circulation anomalies associated with extreme Antarctic Peninsula winter temperatures // Geoph. Res. Letters. - 1998. - V. 25, N 13. - P. 2437-2440.

Panagiotopoulos F., Shahgedanova M., Stephenson D. B. A review of Northern Hemisphere teleconnection patterns // J. Phys. IV France. - 2002. - 12. - P. 27 -48.

Trenberth K.E., Hoar T. The 1990-1995 El-Nino -Southern Oscillation events: Longest on Record // Geoph. Res. Letter. - 1996. - N 23. - P. 57-60.

Turner J. The El-Nino and Antarctica // Int. J. of Climatol. - 2004. - V. 24. - P. 1-32.

Xie S., Bao C., Xue Z., Zhang L., Hao C. Interaction between Antarctic sea ice and ENSO events // In: Proc. NIPR Sympos. On Polar Meteorology and Glaciology. - 2001. - P. 95-100.