

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ АНТАРКТИКИ ПО ДАННЫМ BADC

Ю.В. Артамонов, Ант.А. Букатов

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: ocean@mhi2.sebastopol.ua

По данным массива BADC HadISST ICE исследована межгодовая изменчивость сплоченности льда за период с 1969 по 2003 гг. Показано, что в периоды интенсивных событий ENSO отмечаются аномальные ледовые условия вокруг всего Антарктического материка, при этом максимальные положительные аномалии сплоченности льда наблюдаются в морях Уэдделла, Содружества и Росса. Установлено, что реакция ледовых условий в Антарктике на события Эль-Ниньо более четко проявляется для льдов 90-100%-ной сплоченности.

Введение. Исследование пространственно-временной изменчивости антарктических морских льдов имеет важное значение для изучения высокоширотной реакции на события Эль-Ниньо. Уже накоплен достаточно обширный объем знаний по этому вопросу, причем отмечается, что существует влияние как событий Эль-Ниньо на лед в Антарктике, так и ледовых условий в высоких широтах на процессы в тропиках. Еще в начале 20-го столетия Walker [1] предположил, что Эль-Ниньо может быть, по крайней мере частично, реакцией на воздействие высоких южных широт. Обнаруженные периодичности в 2 – 4 года в изменении площади морских льдов Антарктики предполагают связь с Эль-Ниньо [2 – 4]. Chiu [5] по данным за 1973 – 1980 гг. обнаружил, что существует связь между индексом атмосферной циркуляции SOI (Southern Oscillation Index) в марте-апреле и площадью льда в последующие июль-декабрь. В работе [6] показано, что наблюдается распространение на восток сигналов, связанных с Эль-Ниньо, в межгодовых аномалиях ледяных полей Антарктики.

Carleton [7] для периода с 1929 – 1962 гг. обнаружил в море Уэдделла более низкую сплоченность льдов с декабря по январь в период события Эль-Ниньо (нулевой год), по сравнению с предыдущим летом (предшествующий год). Hao *et al.* [8] также

показали, что Эль-Ниньо проявляется в море Уэдделла и Росса в поведении морских льдов с отрицательной корреляцией за 1 – 2 года и с положительной корреляцией за 3 – 4 года до появления аномалий температуры поверхности океана (ТПО) в восточной части тропиков Тихого океана. Они предположили, что первоначально на лед в море Росса влияет западная часть тропиков Тихого океана и затем – восточная.

Xie *et al.* [9] рассмотрели прямое и обратное взаимодействие между Эль-Ниньо и морским льдом за период с 1973 по 1989 гг. В море Росса они обнаружили мощное влияние Эль-Ниньо на морской лед. Аналогичная связь с периодом около 5-ти лет была обнаружена в море Уэдделла. Обратное влияние морского льда на аномалии ТПО в тропиках Тихого океана с периодом 5 лет было также значительно.

Simmonds, Jacka [10] получили высокие положительные корреляции между льдом и SOI за период с 1973 по 1992 гг. и показали, что результаты сильно варьируют в зависимости от сектора Антарктики. Они оценили связи между SOI и морскими льдами для четырех секторов Антарктики: юго-западная часть Индийского океана, юго-западная и юго-восточная части Тихого океана и сектор к западу от моря Росса. Было обнаружено, что корреляции для этих акваторий были высокими. Наиболее тесная связь была между распространением льда в юго-восточной части Индийского океана в период с апреля по октябрь и SOI в предшествующие 12 месяцев. Для Австралийского сектора, к западу от моря Росса, было показано, что морской лед в мае-июле связан с SOI предыдущего года.

Yuan, Martinson [11] нашли, что аномалии границы льдов в секторах морей Амундсена, Беллинсгаузена, Уэдделла имеют высокую корреляцию с Эль-Ниньо. При этом связь между климатическими индексами и аномалиями границы льдов распространяется полностью на причинно-следственные связи. Особенно высокие связи между Эль-Ниньо и полями льда в восточно-центральной части Тихого океана и в регионе Циклонического круговорота моря Уэдделла. Самые высокие корреляции, запаздывающие от Эль-Ниньо на 6 месяцев, проявляются в аномалиях распространения льдов между 120 – 132° з.д.

Проведенный краткий обзор показал

сложную природу связей между антарктическим морским льдом и Эль-Ниньо. Установлено, что они являются функцией сезона и сектора Антарктики. Представленные исследования в большинстве случаев носят региональный характер, а используемые данные рассматривают короткий временной интервал, при этом анализируется общая сплоченность льдов. Вместе с тем, ряды наблюдений становятся более длительными, что делает возможным установить более реальную картину межгодовой изменчивости морских льдов, чем рассмотренные выше.

Цель настоящей работы – исследовать особенности проявления межгодовых вариаций для разных сплоченностей морских льдов на масштабах нескольких десятилетий в целом для Антарктики.

Материалы и методика. В работе были использованы данные British Atmospheric Data Centre (BADC) *HadISST ICE* о сплоченности морского льда в одноградусной сетке с декабря 1969 года по сентябрь 2003 года.

Для антарктического сектора Южного океана рассчитаны площади, занимаемые льдом с различной балльностью от 10 до 100%. Для каждого месяца каждого года (417 месяцев) для каждой балльности льда вычислены аномалии сплоченности льда. Получены также среднегодовые аномалии (за 35 лет).

Для каждой балльности льда рассчитаны межгодовые среднеквадратические отклонения ($\text{СКО}_{\text{меж}}$) за временной промежуток 1969 – 2003 гг.

Анализ результатов. Изменение по месяцам среднеквадратического отклонения аномалий межгодовых вариаций морских льдов разной балльности показывает, что наибольшие внутригодовые изменения наблюдаются при балльности льда 90 – 100% (рис. 1). Минимальная межгодовая изменчивость отмечается в конце лета, в период максимального прогрева океана и минимального количества льда вокруг Антарктиды. В марте-апреле, в период интенсивного образования льда, происходит резкий рост $\text{СКО}_{\text{меж}}$, которые достигают максимума в июне для балльности 100% и в сентябре для балльности 80 – 90%. В октябре, когда лед начинает таять, межгодовая изменчивость снова уменьшается.

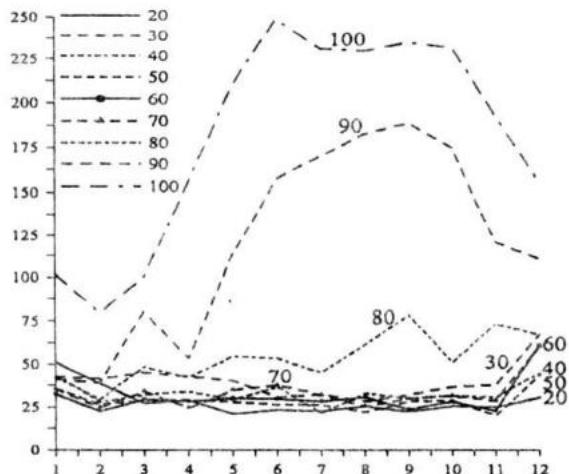


Рисунок 1 – Изменение по месяцам среднеквадратических отклонений аномалий межгодовых вариаций морских льдов разной балльности (ед. $6.2 \times 10^3 \text{ км}^2$)

Анализ межгодовых изменений среднемесячных аномалий морского льда 90%-ной балльности показывает, что все известные интенсивные Эль-Ниньо находят свое отражение в поведении сплоченности льдов в целом для всей площади Антарктики. При этом для различных событий Эль-Ниньо это проявление происходит по-разному. Согласно [12], в течение 1969 – 1999 гг. было восемь интенсивных событий Эль-Ниньо. Периоды Эль-Ниньо (Э-1, ...) и Ла-Нинья (Л-1, ...) указаны на рисунке 2. Видно, что в межгодовой изменчивости ледовых условий для Антарктики в целом обнаруживаются признаки влияния каждого из этих Эль-Ниньо. Они проявляются в изменении амплитуды колебаний, продолжительности сезонов ледообразования и ледотаяния, форме сезонного сигнала, соотношения положительных и отрицательных аномалий в сезонном цикле. Отмечается следующая закономерность – в период Эль-Ниньо наблюдаются два пика положительных аномалий во вторую половину года. В первое полугодие для отрицательных аномалий, вне зависимости от событий Эль-Ниньо или Ла-Нинья, характерен только один пик. В поведении положительных аномалий реакция на события Эль-Ниньо выражена более сильно, чем в поведении отрицательных. Например, в периоды Э-3, 5, 7 отмечается значительное уменьшение положительных аномалий, тогда как в периоды Э-1, 2, 4, 6 аномалии достаточно высокие.

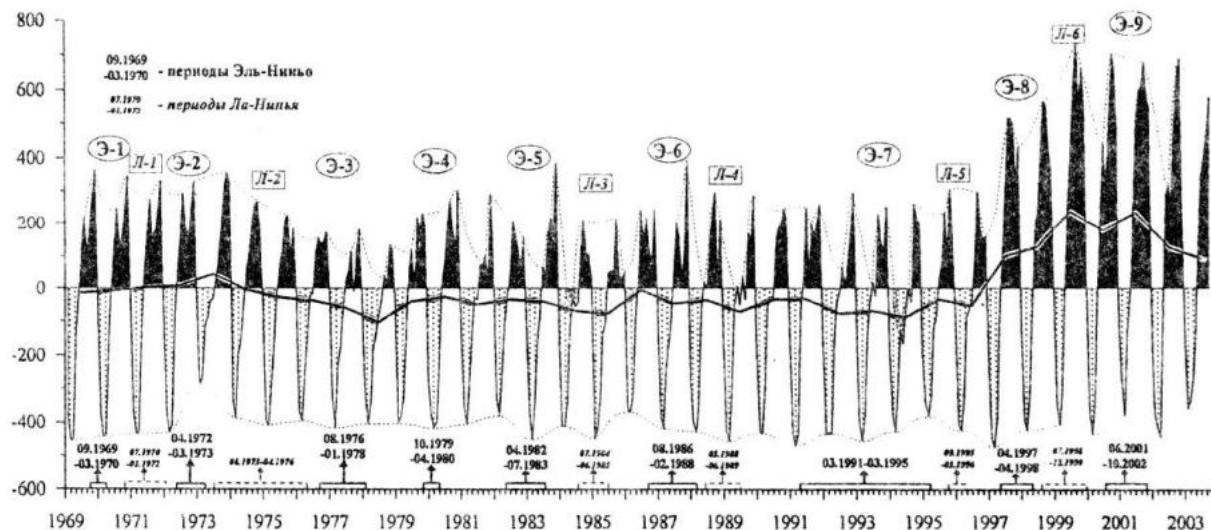


Рисунок 2 – Межгодовое изменение среднемесячных аномалий морского льда 90%-ной балльности (ед. $6.2 \times 10^3 \text{ км}^2$)

Особенно большие значения положительных аномалий отмечаются в периоды двух последних Эль-Ниньо (Э-8, 9). Величины отрицательных аномалий в течение анализируемого временного интервала изменяются гораздо слабее. Тем не менее, в последние фазы событий Э-2 и Э-7, между событиями Л-3 и Э-6, а также в период Э-9 наблюдается уменьшение абсолютных значений отрицательных аномалий. В периоды Л-1, 3, 5 абсолютные величины отрицательных аномалий увеличиваются.

Таким образом, величины положительных и отрицательных аномалий сплоченности морских льдов подвержены существенной межгодовой изменчивости, связанной с периодами Эль-Ниньо или Ла-Нинья. Вместе с тем, на протяжении рассматриваемого периода в целом для Антарктики эта изменчивость для разных событий Эль-Ниньо проявляется по-разному. Это еще раз подтверждает выводы работ [10, 12] о том, что межгодовые вариации характеристик морского льда и их связь с событиями Эль-Ниньо сильно варьируют в зависимости от сектора Антарктики. Анализируемый нами межгодовой ход аномалий сплоченности морских льдов в целом для Антарктики, является сложной суперпозицией сигналов различных регионов вокруг Антарктиды, которые по-разному реагируют на процессы, протекающие в тропических зонах Мирового океана.

Анализ пространственного распределения разницы среднемесячных значений сплоченности морского льда между августом 2001 г. и августом 1994 г. на основе

современных данных, в годы, когда наблюдались экстремальные значения среднегодовых положительных и отрицательных аномалий балльности морского льда, позволил выделить акватории вокруг Антарктиды, где отмечались максимальные межгодовые изменения (рис. 3). К таким районам можно отнести моря Уэдделла, Росса, Содружества.

Различные орографические условия, удаленность от основных источников генерации межгодового сигнала приводят к тому, что отклик в разных районах Антарктики может существенно отличаться по форме сигнала, его амплитуде и фазе, а суперпозиция этих откликов приводит к сложному сигналу, который трудно интерпретировать. Поэтому дальнейшие исследования в этом направлении предполагается проводить на региональном уровне.

Выводы. Анализ межгодовых вариаций сплоченности антарктических морских льдов за период с 1969 по 2003 гг. показал, что максимум межгодовой изменчивости относится ко льдам 90 – 100%-ной сплоченности.

Наблюдается существенное изменение межгодового СКО_{меж} для различных месяцев года. На конкретных примерах подтверждено, что наибольшие аномалии сплоченности льда в периоды Эль-Ниньо наблюдаются в морях Уэдделла, Содружества, Росса.

В межгодовой изменчивости ледовых условий для Антарктики в целом обнаруживаются признаки влияния каждого из Эль-Ниньо.

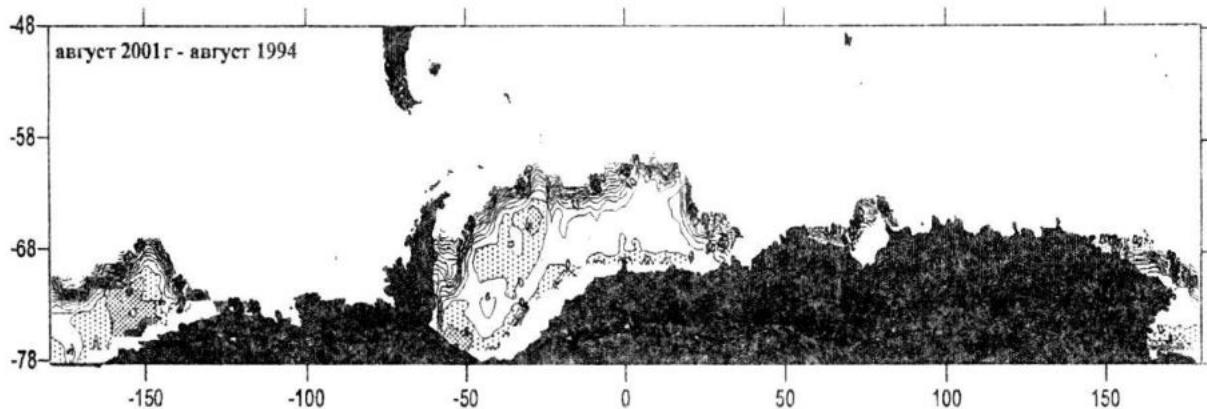


Рисунок 3 – Пространственное распределение разницы среднемесячных значений сплошности морского льда (%) между августом 2001 г. и августом 1994 г.

Различные орографические условия, удаленность от источников межгодовых колебаний приводят к тому, что отклик на межгодовой сигнал в тропиках может отличаться в разных районах Антарктики по форме сигнала, его амплитуде и фазе, а суммарная перпозиция этих откликов может приводить к сложному суммарному сигналу. В связи с этим, при дальнейших исследованиях межгодовой изменчивости морских льдов вокруг Антарктиды предполагается обратить основное внимание на районы, где эта изменчивость наиболее выражена.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.T. Walke. Correlation in seasonal variations of weather VIII. Memorandum of the Indian Meteorological Department. Indian Meteorological Department, 1923. – P. 75 – 131.
2. J.A. Heap. Antarctic pack ice. In Antarctica, Hatherton T (ed.), 1965. – Praeger. – P. 187 – 196.
3. P. Gloersen. Modulation of hemispheric sea-ice cover by ENSO events // Nature, 1995. – 373. – P. 503 – 506.
4. Г.Ф. Джиганшин. Сезонные и межгодовые вариации границы дрейфующих льдов в Атлантическом секторе Антарктики и проливе Дрейка // Морской гидрофизический журнал, 2003. – № 3. – С. 68 – 80.

5. L.S. Chiu. Variation of Antarctic sea ice: an update // Monthly Weather Review, 1983. – 111. – P. 578 – 580.

6. H.J. Zwally, C.L. Parkinson, J.C. Comiso. Variability of Antarctic sea ice and carbon dioxide // Science, 1983. – 220. – P. 1005 – 1012.

7. A.M. Carleton. Sea ice atmosphere signal of the southern oscillation in the Weddell Sea, Antarctica // Journal of Climate, 1988. – 1. – P. 379 – 388.

8. C.J. Hao, L. Zhang, H. Xue, S.M. Xie. Antarctic sea ice and ENSO event // Acta Oceanolog. Sinica, 1990. – 12. – P. 549 – 561.

9. S.M. Xie, C. Bao, Z. Xue, L. Zhang, C.J. Hao. Interaction between Antarctic sea ice and ENSO events // Proceedings of NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology, 1994. – P. 95 – 110.

10. I. Simmonds, T.H. Jacka. Relationships between the interannual variability of Antarctic sea ice and the southern oscillation // Journal of Climate, 1995. – 8. – P. 637 – 647.

11. X.J. Yuan, D.G. Martinson. Antarctic sea ice extent variability and its global connectivity // Journal of Climate, 2000. – 13. – P. 1697 – 1717.

12. J. Turner. Review the El NIÑO – Southern Oscillation and Antarctica // Int. J. Climatology, 2004. – № 24. – P. 1 – 31.