

УДК 551.326.7 (292.3)

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЫНИИ УЭДДЕЛЛА ПО СРЕДНЕМЕСЯЧНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ДАННЫМ О СПЛОЧЕННОСТИ МОРСКИХ ЛЬДОВ

Ю.В. Артамонов¹, А.А. Букатов¹, В.Н. Еремеев², Е.А. Скрипалёва¹¹Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, Украина²Океанологический центр НАН Украины, Севастополь, Украинаe-mail: Artam-ant@yandex.ru

Реферат. В работе на основе данных о сплоченности морского льда анализируется сезонная и межгодовая изменчивость Полюньи Уэдделла. Для этой цели использовались значения сплоченности морского льда в процентах (бальности) в одноградусной сетке с 1969 по 2008 гг. из массивов British Atmospheric Data Centre (BADC) HadISST ICE и NCEP Data. По этим данным для сектора Южного океана между 60° ю.ш. и берегом Антарктиды и 10° з.д. и 10° в.д., где наиболее вероятно появление Полюньи Уэдделла, рассчитаны среднemesячные для каждого года суммарные площади, занимаемые льдом различной бальности. Показано, что в среднегодовом климатическом поле льдов различной сплоченности Полюнья Уэдделла проявляется в виде разреженных льдов 35-45%-ной сплоченности в районе между 60–65° ю.ш. и 0–20° в.д. В климатическом сезонном цикле Полюнья Уэдделла наблюдается в ноябре-декабре в виде замкнутого пространства морского льда, разреженного на 20–30% и отделяемого от открытого океана перемычкой более плотных льдов. В этом районе отмечается максимум амплитуды годовой гармоник в сезонной изменчивости сплоченности морских льдов. Климатическая сезонная схема формирования Полюньи Уэдделла подвержена существенной межгодовой изменчивости, которая связана с крупномасштабной изменчивостью в системе океан-атмосфера, вызываемой Антарктической циркумполярной волной.

Сезонна та міжрічна мінливість Ополонки Уедделла за середньомісячними кліматичними даними про скупченість морських льодів. Ю.В. Артамонов, А.О. Букатов, В.М. Еремеев, О.О. Скрипальова.

Реферат. У роботі на основі даних про скупченість морського льоду аналізується сезонна та міжрічна мінливість Ополонки Уедделла. Для цієї мети були використані значення скупченості морського льоду у відсотках (бальності) в одноградусній сітці з 1969 по 2008 рр. із масиву British Atmospheric Data Centre (BADC) HadISST ICE та NCEP Data. За цими даними для сектора Південного океану між 60° півд.ш. і берегом Антарктиди та 10° з.д. й 10° с.д., де найбільш ймовірна поява Ополонки Уедделла, розраховані середньомісячні для кожного року сумарні площі, займані льдом різної бальності. Показано, що в середньорічному кліматичному полі льодів різної скупченості Ополонка Уедделла проявляється у вигляді розрідження льодів 35–45-відсотковій бальності в районі між 60–65° півд.ш. й 0–20° с.д. У кліматичному сезонному циклі ополонка Уедделла спостерігається у листопаді-грудні як замкнутий простір льоду, розрідженого на 20–30% й відокремленого від відкритого океану перемичкою більше щільних льодів. У цьому районі відзначається максимум амплітуди річної гармоніки в сезонній мінливості скупченості морських льодів. Кліматична сезонна схема формування Ополонки Уедделла піддається істотній міжрічній мінливості, пов'язаній з великомасштабною мінливістю системи океан-атмосфера, яка викликана Антарктичною циркумполярною хвилею.

Seasonal and interannual variability of the Weddell Polynya on the monthly average climatic data on sea ice closeness. Yu. V. Artamonov, A. A. Bukatov, V. N. Eremeyev, E. A. Skripaleva.

Abstract. On the base of data on sea ice closeness seasonal and interannual Weddell Polynya variability is analyzed. Values of sea ice closeness (in percent) in 1°x1° grid for the period 1969–2008 from data set of British Atmospheric Data Centre (BADC) HadISST ICE and NCEP Data are used. For Southern Ocean sector between

60°S and Antarctica coast and 10°W-10°E for each year monthly average summary areas with ice various closeness are calculated. Here occurrence of Weddell Polynia is most probable. It is shown, that in average annual climatic ice field different closeness Weddell Polynia is shown in decrease of 35-45 % ice closeness in area between 60-65°S and 0-20°E. In climatic seasonal cycle Weddell Polynia is observed in November-December as closed space of ice with closeness decrease by 20-30%. This space separated from open Ocean by the crosspiece of solid-ice. In this area the maximum of annual harmonic amplitude in seasonal variability of sea ice closeness is marked. Climatic seasonal scheme of Weddell Polynia forming undergoes significant interannual variability, which is connected with large-scale variability in the ocean-atmosphere system due to Antarctic Circumpolar Wave.

Key words: Southern Ocean, Weddell Gyre, Maud Rise, sea ice closeness, Weddell Polynia, climatic seasonal cycle, interannual variability, Antarctic Circumpolar Wave.

1. Введение

Экспедиционные исследования и спутниковые данные показали, что во внутренней области Круговорота моря Уэдделла (КМУ) в районе поднятия Мод на фоне сплошного ледяного покрова наблюдается аномально низкая сплоченность льдов или даже открытая вода. Это явление было названо Полынью Уэдделла (ПУ) [1]. Исследования 70–90-х годов прошлого века и начала этого столетия были направлены в основном на выяснение механизма формирования этого феномена [2-7, 10, 11]. Показано, что особенностью структуры вод КМУ является относительно теплая ($> 0^{\circ}\text{C}$) вода, располагающаяся ниже пикноклина, так называемая Глубинная вода моря Уэдделла (ГВМУ). Ядро ГВМУ характеризуется температурным максимумом ($> 1^{\circ}\text{C}$) [2]. Глубинная вода моря Уэдделла поступает в восточную часть КМУ как ответвление Циркумполярной Глубинной воды и служит источником тепла и солей в КМУ. Тепло ГВМУ поступает в зимний перемешанный слой и ослабляет льдообразование [3]. Высокая соленность уменьшает положительный пресный бюджет с атмосферой и в местах ограничения поступления пресной воды делает стратификацию океана неустойчивой, способствуя формированию глубинных конвективных ячеек [4]. Горизонтальные размеры ячеек варьируют от нескольких километров до нескольких сотен километров в диаметре [3].

Экспериментальные данные, собранные в течение нескольких лет для летнего сезона, показывают, что к западу от поднятия Мод происходит подъем теплой ГВМУ, формирующийся в результате взаимодействия циркуляции вод КМУ с особенностями рельефа дна. Это подтверждается инструментальными измерениями течений и региональным распределением максимума температуры [2, 5]. По оценкам [6], вдоль Гринвичского меридиана суммарный поток тепла ГВМУ в перемешанный слой средней толщиной 45 м составляет за год 41 Вт/м^2 . Этот поток ограничивает толщину льда до 55 см, что хорошо согласуется с фактическими наблюдениями. Таким образом, согласно [6], области высоких значений потока тепла к поверхности можно ожидать в районах, где весеннее таяние морского льда происходит раньше, чем можно было бы ожидать под влиянием только атмосферных условий. Исследования квазистационарного купола ГВМУ к западу от поднятия Мод на НЭС “Академик Фёдоров” в 1989 году подтверждают представление о том, что таяние льда происходит в областях, где наблюдаются максимальные значения температуры в ядре ГВМУ [7].

Несмотря на успехи, достигнутые в изучении механизма образования Полыни Уэдделла, основные результаты получены на основе материалов отдельных экспедиций и кратковременных спутниковых наблюдений. Можно предположить, что глобальные процессы в системе океан-атмосфера приводят к существенной межгодовой изменчивости ПУ, поэтому анализ проявления Полыни Уэдделла на климатических масштабах требует дальнейшего исследования на базе длительных рядов наблюдений. В настоящей работе на основе современных массивов данных о сплоченности морских льдов в Антарктике исследуется проявление Полыни Уэдделла на среднегодовом, сезонном и межгодовом масштабах.

2. Материалы и методика

В работе использованы данные British Atmospheric Data Centre (BADC) HadISST ICE [8] с 1969 по 2002 гг. и NCEP Data [9] с 2003 по 2008 гг. о сплоченности морского льда в процентах (балльности) в одноградусной сетке. Для оценки уровня климатического сезонного сигнала в изменчивости сплоченности льдов в каждом узле сетки были рассчитаны среднемесячные климатические значения балльности льда и далее с помощью гармонического анализа вычислялись амплитуды годовой гармоники. Достоверность амплитуды годовой гармоники анализировалась по ее отношению к стандартному отклонению остаточного ряда. Расчеты показали, что на всей исследуемой акватории она значима.

На основе среднемесячных данных о сплоченности морского льда для каждого года были рассчитаны суммарные площади, занимаемые льдом различной балльности с дискретностью 1%, их аномалии в области между 60° ю.ш. и берегом Антарктиды и между 10° з.д. и 10° в.д. Для ослабления уровня шума, связанного с пространственно-временной неоднородностью распределения льдов различной балльности, проводилось суммирование аномалий площадей льдов для диапазонов сплоченности, кратной 10%. Льды сплоченностью меньше и равной 10% считались открытой водой. За условную единицу площади принята площадь одноградусного квадрата, т.е. $1.2 \times 10^4 \text{ км}^2$.

Для изучения пространственных закономерностей межгодовой изменчивости экстремальных значений аномалий сплоченности морских льдов для каждого месяца каждого года было определено широтное положение максимума аномалий сплоченности льдов по абсолютной величине в зависимости от долготы (с дискретностью один градус).

3. Анализ результатов

На рис. 1а показано среднегодовое распределение сплоченности морских льдов вокруг Антарктиды. Наибольшая их сплоченность наблюдается в прибрежных районах, максимальные значения отмечаются там, где располагаются крупные припайные ледники. По мере продвижения на север наблюдается резкое (фронтальное) уменьшение сплоченности, особенно четко это проявляется в морях Беллинсгаузена и Д'Юрвиля, где климатическая граница льдов наиболее близко приближается к континенту.

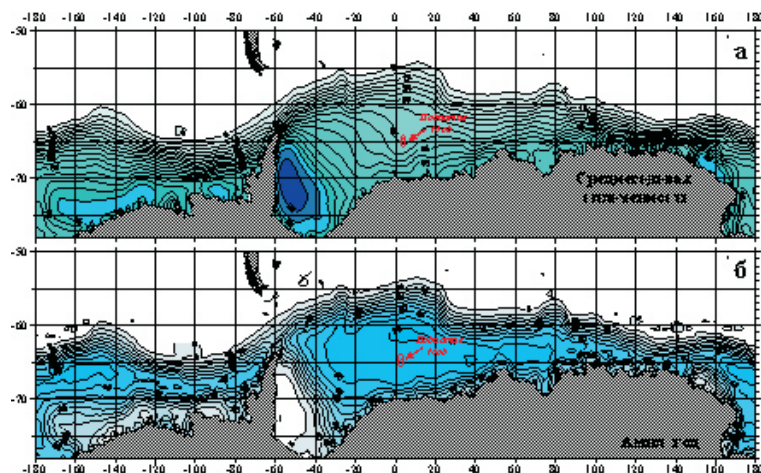


Рис. 1. Среднегодовое распределение сплоченности морских льдов (а) и амплитуды ее годовой гармоники (б). Здесь и на других рисунках малым эллипсом показано положение поднятия Мод около 65° ю.ш. и 3° в.д.

Менее резко сплоченность льдов уменьшается в сторону океана в море Уэдделла, где климатическая граница льдов наиболее смещена на север.

В районе примерно между 60–65° ю.ш. и 10° з.д.–15° в.д. наблюдается разрежение между изолиниями сплоченности 40% и 45% за счет прогиба к югу изолинии 45%. Это свидетельствует о том, что в среднем за год здесь находится меньше льда, чем к западу и востоку от этой области. Характерно, что эта область разреженных льдов располагается несколько севернее поднятия Мод. Как будет показано ниже, здесь периодически наблюдается “язык” чистой воды, вытянутый из открытого океана во внутреннюю часть КМУ и который часто преобразуется в замкнутую область – Полынь Уэдделла.

Анализ распределения амплитуды годовой гармоника показал, что наблюдаются две области высокой сезонной изменчивости сплоченности морских льдов (рис. 16). Одна располагается к северу от моря Росса между 170° в.д. и 140° з.д. Другая область занимает практически всю акваторию моря Уэдделла, при этом абсолютный максимум амплитуды годовой гармоника располагается между 60–63° ю.ш. и 5 з.д.–15° в.д. к северу от поднятия Мод, в районе, где обычно наблюдается “язык” чистой воды.

Распределения климатических значений сплоченности морских льдов по месяцам указывают на то, что следы формирования Полыни Уэдделла можно обнаружить и в среднемноголетнем сезонном цикле (рис. 2). Сезонные смещения границы льдов наиболее ярко выражены в море Уэдделла в широком меридиональном поясе между 20° з.д. и 20° в.д. В районе Гринвичского меридиана граница льдов по изолинии 2% занимает крайнее южное

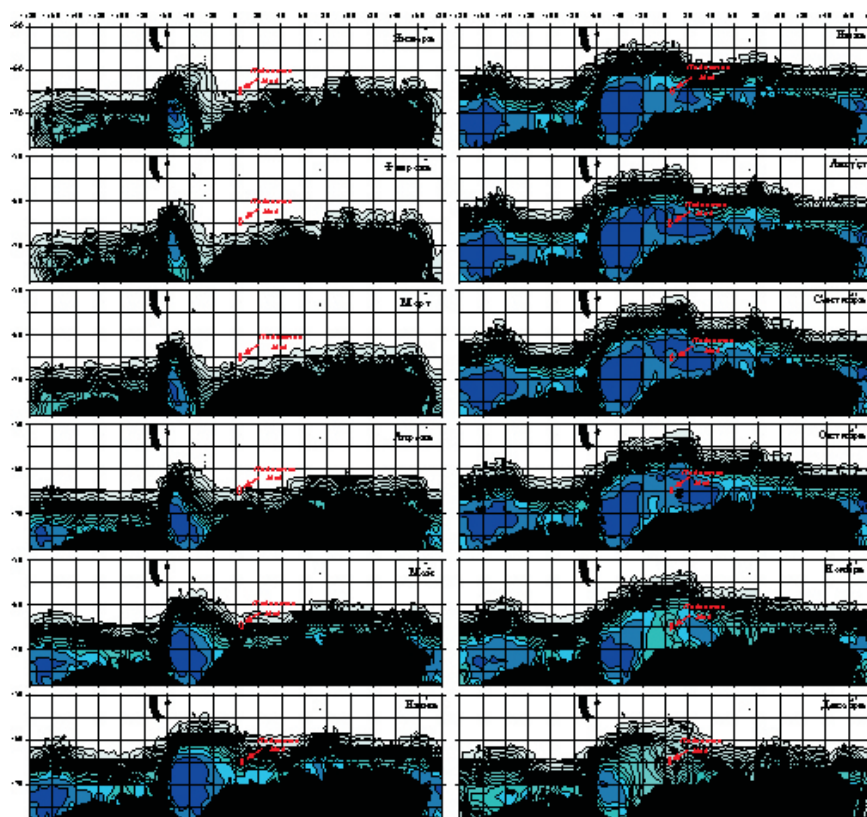


Рис. 2. Климатическое распределение сплоченности морских льдов по месяцам.

положение (65° ю.ш.) в феврале. В это время она располагается примерно на 200 миль южнее поднятия Мод. Затем граница льдов смещается на север, достигая крайней северной точки (52° ю.ш.) в сентябре. Поднятие Мод остается почти на 1500 миль южнее границы льдов.

Сплоченность льдов на обширном пространстве к северу от поднятия Мод во вторую половину года, когда их граница находится далеко на севере, имеет крайне неоднородную структуру. В климатическом сезонном цикле сплоченности льдов, начиная примерно с июля, между 20° з.д. и Гринвичем прослеживается разрежение морских льдов. Особенно четко это разрежение проявляется в ноябре-декабре, когда его максимум смещается на восток к поднятию Мод. В эти месяцы над поднятием Мод явно выделяются области сильно разреженных льдов, оконтуренные со всех сторон льдами большей сплоченности. Местоположение этих областей близко к местам наибольшего выклинивания ГВМУ к поверхности, обнаруженным по данным конкретных экспедиций [6, 7]. Последний результат свидетельствует о том, что разрежение льдов в районе поднятия Мод настолько часто наблюдаемое весной и в начале лета явление, что оно проявляется в среднемесячных климатических полях сплоченности морских льдов.

Анализ межгодовой изменчивости Полюньи Уэдделла по всей совокупности карт распределения сплоченности льдов с 1972 по 2008 гг. выявил только один случай, когда это явление наблюдалось в зимне-весенний период на протяжении трех лет подряд (1974–1976 гг.). В остальных случаях Полюнья Уэдделла прослеживалась, как правило, не более одного-двух месяцев в году. Отдельные фрагменты уникального события 1974–1976 гг. описаны по данным фактических измерений [1, 4, 10]. Эти исследования позволили получить общее представление об основном механизме формирования Полюньи Уэдделла. Вместе с тем выполненный нами анализ среднемесячных распределений сплоченности морских льдов по данным BADC за

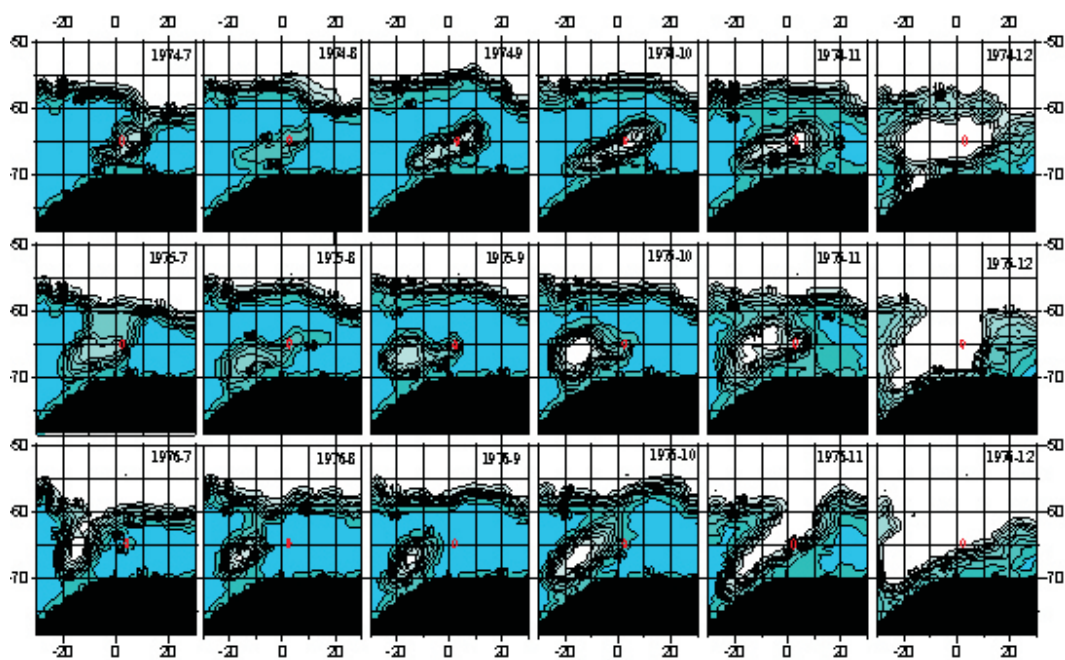


Рис. 3. Распределение сплоченности морских льдов с июля по декабрь в 1974–1976 гг.

период с 1974 по 1976 г. позволил увидеть новые закономерности в формировании пространственной структуры Полюньи Уэдделла. На рис. 3 представлены среднемесячные карты сплоченности морских льдов для региона поднятия Мод.

При первоначальном возникновении Полюньи Уэдделла (июль 1974 г.) ее центр наблюдался несколько восточнее поднятия Мод около 5° в.д. Она соединялась с чистой водой перемычкой с относительной низкой сплоченностью льдов. Далее, с августа по ноябрь 1974 г., центр ПУ располагался практически на одном месте над поднятием Мод. В сезонном цикле разрежение льдов в пределах ПУ увеличивалось. В среднемесячных полях сплоченности льдов ПУ имела вытянутую форму, ориентированную вначале в юго-западном направлении. Затем наблюдалась тенденция к ее повороту по часовой стрелке. В декабре ПУ была ориентирована практически в зональном направлении, а площадь ее резко увеличилась. На северо-востоке наблюдалась перемычка, занятая льдами относительно низкой сплоченности, соединяющая ПУ с открытым океаном.

В следующем, 1975 г. Полюнья Уэдделла снова образовалась в июле, но при этом центр ее располагался уже западнее поднятия Мод около 10° з.д. В следующие месяцы ее центр сместился к западу почти до 15° з.д. Как и в предшествующем году, ПУ в сезонном цикле увеличивалась по площади, и сплоченность льдов в ней уменьшалась. В декабре 1975 г. ПУ представляла собой обширное пространство чистой воды между 25° з.д. и 10° в.д., которое на 60° ю.ш. соединялось с водами открытого океана широкой перемычкой. В 1976 г. ситуация практически повторилась. В качестве отличия можно отметить большую вытянутость ПУ в юго-западном направлении (почти как в 1974 г.). Другие отличия – четко проявляющаяся перемычка между ПУ и чистой водой в июле, ее сохранение в августе, более раннее (в ноябре) соединение ПУ с водами открытого океана и практически открытое пространство чистой воды в конце года.

Таким образом, анализ среднемесячной сплоченности льдов за период с 1974 по 1976 г. показывает новые, не обсуждавшиеся ранее особенности пространственно-временной структуры ПУ. Отметим, что перемычка разреженных льдов к северу от ПУ в июле, т.е. в период ее начального образования, в августе практически исчезает и появляется снова только в конце года. Возникновение этой перемычки можно объяснить следующими причинами. Результаты модельных расчетов и траектории дрейфтеров [12] показывают, что на фоне общей циклонической циркуляции КМУ четко прослеживается западный циклонический круговорот, восточная периферия которого располагается несколько западнее Гринвичского меридиана. Здесь осуществляется перенос теплой Глубинной воды Моря Уэдделла в южном направлении. Поступающая на юг ГВМУ в условиях интенсивной зимней конвекции способствует прогреванию верхних слоев и замедляет процесс льдообразования. В июле, когда граница льдов отступает от поднятия Мод далеко на север, поступающего из глубин тепла от ГВМУ на всем ее пути следования на юг достаточно, чтобы компенсировать охлаждение поверхностных слоев за счет начального зимнего охлаждения. Это проявляется в виде полосы разреженных льдов, качественно отслеживающей поток ГВМУ в южном или юго-западном направлении. В конце весны – начале календарного лета (ноябрь-декабрь) происходит интенсивный прогрев поверхностных вод, и поток тепла из атмосферы складывается с теплом от ГВМУ. Это проявляется в разрежении льдов к северу от ПУ (в октябре-ноябре) и последующем размывании перемычки плотных льдов между ПУ и свободным ото льда океаном.

Даже в рамках рассмотренного трехлетнего периода видно, что структура ПУ в разные годы может существенно изменяться, что связано с межгодовой изменчивостью процессов в системе океан-атмосфера и, как следствие, с изменчивостью крупномасштабной циркуляции вод. Например, по сравнению с 1974 г., когда ПУ наблюдалась преимущественно в районе поднятия Мод, в 1975-1976 гг. во все месяцы ПУ располагалась значительно западнее поднятия Мод. Положение центра ПУ в эти годы примерно совпадает с положением центра западного

циклонического круговорота моря Уэдделла между 10–15° з.д. и 65–68° ю.ш. Это свидетельствует о том, что ПУ может формироваться не только под влиянием поднятия Мод, но и поддерживаться крупномасштабным циклоническим круговоротом в западной части моря Уэдделла, который, по-видимому, в эти годы был очень интенсивен.

Наличие существенной межгодовой изменчивости Полыни Уэдделла подтверждается и при рассмотрении ледовых условий в последующие годы. Хотя ПУ больше не наблюдалась так долго в сезонном цикле, как это было в 1974–1976 гг., практически каждый год в декабре в море Уэдделла наблюдалось замкнутое или полузамкнутое пространство разреженных льдов, которое можно рассматривать как проявление Полыни Уэдделла (рис. 4). Видно, что конфигурация и местоположение ПУ существенно изменяются от года к году. В 70–80-е годы и начале 90-х годов прослеживалась тенденция: годам, когда наблюдалась обширная полынья, соединенная с океаном, предшествовали один-три года, когда ПУ была изолирована от чистой воды и сплоченность льдов в ней была выше. С 1994 по 2000 г. Полынья была четко выражена, практически весь период соединялась с открытым океаном и в ней наблюдалось мало льда. В период с 2002 по 2006 г., хотя разрежение льдов прослеживалось, ПУ была меньших размеров и сплоченность льдов в ней была больше, чем в 90-е годы. Таким образом, анализ декабрьских карт сплоченности льдов для региона поднятия Мод за период с 1974 по 2008 г. также показывает существенную межгодовую изменчивость Полыни Уэдделла. При этом явные закономерности в межгодовой изменчивости ПУ выделить сложно. Можно говорить о некоторых тенденциях в чередовании экстремальных характеристик ПУ на широком временном масштабе от 2 до 10 лет, который соответствует крупномасштабной изменчивости в системе океан-атмосфера на внутривекальном масштабе.

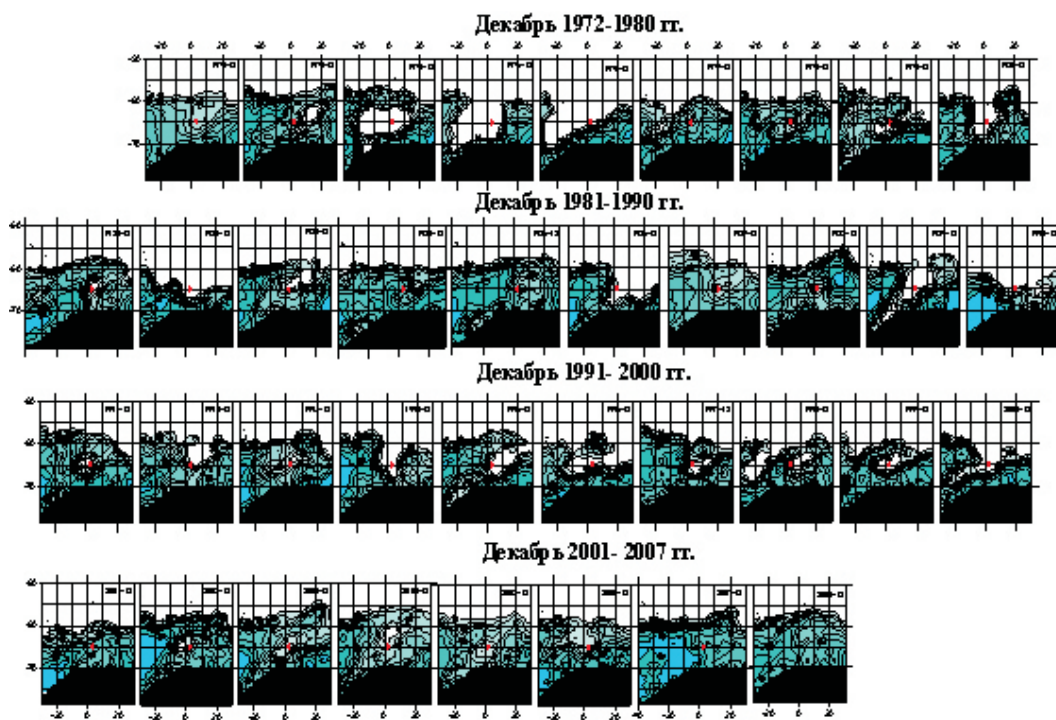


Рис. 4. Распределение сплоченности морских льдов в декабре 1972–2008 гг.

На рис. 5а представлен межгодовой ход аномалий площадей льдов разной сплоченности, рассчитанных для области между 60° ю.ш. и берегом Антарктиды и между 10° з.д. и 10° в.д. Графики сглажены трехточечным скользящим фильтром. Анализ этих распределений указывает на интенсивную внутривекадную изменчивость с периодом около 7–9 лет. Такой период характерен для Антарктической циркумполярной волны (АЦВ). Для льдов сплоченностью менее 10% появление значительных положительных аномалий свидетельствует о развитии ПУ (см. рис. 4 и 5а). Положительные аномалии минимальной сплоченности льда, как правило, сопровождаются отрицательными аномалиями площадей льдов большей сплоченности. Это связано с тем, что наблюдается запаздывание на 7–10 лет в наступлении экстремальных значений аномалий одного знака от большей сплоченности к меньшей. Можно предположить, что реакция на АЦВ сначала проявляется во льдах максимальной сплоченности, и только через несколько лет она влияет на менее плотные льды.

Временной период, близкий к периоду Антарктической циркумполярной волны, наблюдается также в изменчивости широтного положения максимума аномалий (по абсолютной величине) сплоченности морских льдов не только в регионе поднятия Мод, но и практически на большей части акватории Южного океана (рис. 5б). Это проявляется в квазисинхронном смещении на север или на юг областей экстремальных значений аномалий с периодичностью, близкой к периоду АЦВ. На относительно небольшом участке в восточной части Индийского океана и к югу от Австралии эти смещения затухают. Таким образом, независимые подходы к исследованию климатической изменчивости сплоченности льдов в регионе поднятия Мод показывают, что межгодовая изменчивость ПУ тесным образом связана с крупномасштабной изменчивостью в системе океан-атмосфера, вызываемой Антарктической циркумполярной волной.

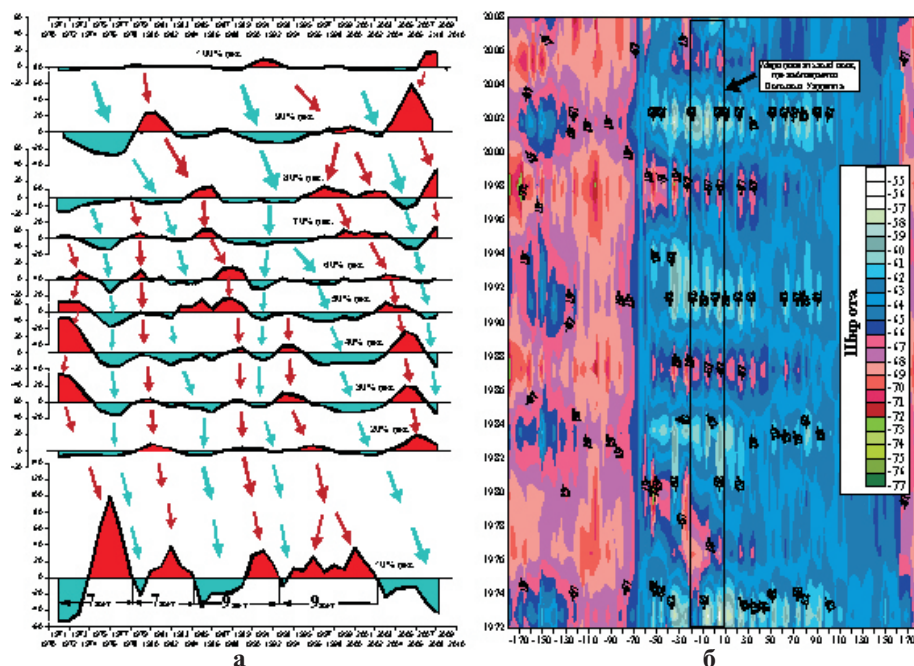


Рис. 5. Изменение по годам аномалий площадей льдов разной сплоченности в декабре (а), стрелками показано схематическое распространение сигнала АЦВ; широтное положение абсолютного по величине максимума аномалий сплоченности морских льдов в зависимости от времени и долготы (б). Прямоугольником выделена область формирования ПУ.

4. Выводы

Проведенный анализ внутригодовой и межгодовой изменчивости Полюньи Уэдделла на основе современных данных показал существенную изменчивость ПУ по площади, ориентации, конфигурации, местоположению центра и степени сплоченности льдов в ней.

Показано, что за исключением уникального события 1974–1976 гг. Полюнья прослеживалась один-два месяца в году. Установлено, что в среднегодовом климатическом поле льдов различной сплоченности Полюнья Уэдделла проявляется в виде разреженных льдов 35–45-процентной сплоченности в районе между 60–65° ю.ш. и 0–20° в.д. В климатическом сезонном цикле, начиная с июня, наблюдается разрежение морского льда примерно на 10% в районе Гринвичского меридиана. В ноябре-декабре это разрежение увеличивается на 20–30% и превращается в замкнутое пространство разреженного льда, отделяемое от открытого океана перемычкой более плотных льдов. В этом районе отмечается максимум амплитуды годовой гармоник в сезонной изменчивости сплоченности морских льдов.

Климатическая сезонная схема формирования Полюньи Уэдделла подвержена существенной межгодовой изменчивости. В межгодовом ходе аномалий площадей льдов разной сплоченности наблюдается интенсивная внутридекадная изменчивость с периодом около 7–9 лет. Независимые оценки особенностей климатической изменчивости сплоченности льдов в регионе поднятия Мод показывают, что межгодовая изменчивость Полюньи Уэдделла тесным образом связана с крупномасштабной изменчивостью системы океан-атмосфера, вызываемой Антарктической циркумполярной волной.

Дальнейшие комплексные исследования с привлечением современных массивов полей ветра, давления, альтиметрии позволят получить количественные оценки связи региональных ледовых условий с крупномасштабными атмосферными процессами и углубить наши представления о закономерностях формирования Полюньи Уэдделла на климатических масштабах.

Литература

1. **Carsey F.D.** Microwave observation of the Weddell Polynya // *Weath.Rev.* – 1980. – 108. – P. 2032–2044.
2. **Orsi A.H., Nowlin W.D., Whitworth Jr.T.** On the circulation and stratification of the Weddell Gyre // *Deep-Sea Res.* – 1993. – 40. № 1. – P. 169–203.
3. **Gordon A.L., Huber B.A.** Thermohaline stratification below the Southern Ocean sea ice // *J. Geophys. Res.* – 1984. – 89. – P. 641–648.
4. **Martinson D.G., Killworth P.D., Gordon A.L.** A convective model for the Weddell Polynya // *J.Phys.Oceanogr.* – 1981. – 11. – P. 466–488.
5. **Bersch M., Becker G.A., Frey H., Koltermann K.P.** Topographic effects of Maud Rise on the stratification and circulation of the Weddell Gyre // *Deep-Sea Res.* – 1992. – 32. № 2. – P. 303–331.
6. **Gordon A.L., Huber B.A.** Southern Ocean Winter Mixed Layer. // *J. Geophys. Res.* – 1990. – 95. – P. 11655–11672.
7. **Gordon A.L., Huber B.A.** Warm Weddell Deep Water west of Maud Rise // *J. Geophys. Res.* – 1995. – 100. – № C7. – P. 13.747–13.753.
8. <http://badc.nerc.ac.uk/data/hadisst/> (British Atmospheric Data Centre, HadISSTICE).
9. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
9. **Motoi T., Ono N., Wakatsuchi M.** A mechanism for the formation of the Weddell Polynya in 1974 // *J. Phys.Oceanogr.* – 1987. – 17. – P. 2241–2247.
10. **Багрянцев Н.В., Саруханян Э.И.** Полюнья Уэдделла, как следствие гидрофизических процессов Круговороте Уэдделла // *ДАН СССР.* 1984. 276. В. 5. С. 1238–1242.
11. **Beckmann A., Hartmut H.H., Timmermann R.A.** A numerical model of the Weddell Sea: large-scale circulation and water mass distribution // *J. Geophys. Res.* 1999. 104. № C10. P. 23375–23391.