

В.Н. Еремеев<sup>1</sup>, А.Е. Букатов<sup>2</sup>, М.В. Бабий<sup>2</sup>, А.А. Букатов<sup>2</sup>ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРСКОГО ЛЬДА В АНТАРКТИКЕ

Выполнено исследование климатической эволюции регионального распределения сплоченности морского льда в Антарктической области Южного океана за период 1969–2010 гг. Проведен анализ пространственно-временной изменчивости географического положения внешней границы ледового пояса вокруг Антарктиды. Дана оценка взаимной корреляционной связи широтных смещений кромки льда и чисел Вольфа солнечной активности.

**Ключевые слова:** антарктический морской лед, сплоченность морского льда, кромка морского льда, динамика кромки льда.

**Введение.** Физико-географические особенности и характер гидрометеорологических процессов в Южной полярной области Мирового океана определяют закономерности формирования антарктического ледяного покрова и обуславливают крайне неравномерное его пространственное распределение. Динамика льда приводит к изменению свойств морской поверхности, влияющих на потоки тепла и импульса между океаном и атмосферой. При этом образующиеся участки открытой воды вносят существенный вклад в потерю тепла океаном [5, 7], что проявляется в атмосферной циркуляции и изменении температуры воды на различных временных масштабах в деятельном слое океана.

Важными информационными характеристиками состояния ледовых условий в Антарктике являются сплоченность и положение кромки морских льдов. Они подвержены большой сезонной и межгодовой изменчивости.

Типовые карты распределения льда в Южном океане, построенные по материалам всех видов наблюдений с 1956 по 1982 г., приведены в [8]. В силу неравномерности освещенности ледовыми наблюдениями в различных районах Южного океана при подготовке карт отдано предпочтение наиболее типичным условиям распределения льда, а не их средним значениям. Сезонные и межгодовые вариации границы распространения дрейфующего льда в районе между 80° з. д. и 30° в. д. рассмотрены в [4] на основе еженедельных ледовых карт с 1973 по 1994 г. Оценка изменений общей площади морских льдов в Антарктике с 1973 по 2002 г. дана в [10]. Анализ изменчивости положения кромки льда по данным спутниковых наблюдений за 23 года (1982–2004) выполнен в [13]. Отмечена значительная ее пространственная неоднородность на сезонном масштабе.

Динамика регионального распределения сплоченности плавающего антарктического льда в период с 1969 по 2002 г. рассмотрена в [6]. Получены сезонные и межгодовые среднеквадратические отклонения аномалий площадей морских льдов разной балльности сплочения. Результаты анализа изменений суммарной ледовитости антарктических морей для периода 1979–2007 гг. приведены в [3].

В предлагаемой работе дан анализ изменчивости регионального распределения плавающего льда и пространственно-временной эволюции внешней кромки ледового пояса, окружающего Антарктиду, за период 1969–2010 гг.

**Материалы и методика.** В работе использованы массивы среднемесячных данных о сплоченности морского льда в процентах балльности в одноградусных сетках [11, 12]. На их основе сформирован ряд значений сплоченности льда в Южном океане с 1969 г. по 2010 г. для последующего анализа ее пространственно-временного распределения.

Для исследования динамики кромки морского льда составлен ряд среднемесячных значений широты расположения кромки для каждого градуса долготы вокруг Антарктиды. По этим данным оценка амплитудно-фазовой структуры широтных смещений положения кромки льда проведена методом синхронного детектирования [2, 9]. Выполнен спектрально-статистический анализ долготного распределения характеристик колебания кромки. Рассмотрена корреляционная связь изменчивости положения кромки и солнечной активности.

**Анализ результатов.** Внутригодовое климатическое распределение сплоченности морского льда в Южном океане иллюстрирует рис. 1, где цветовая шкала характеризует балльность сплоченности льда (%), а цифры обозначают порядковый

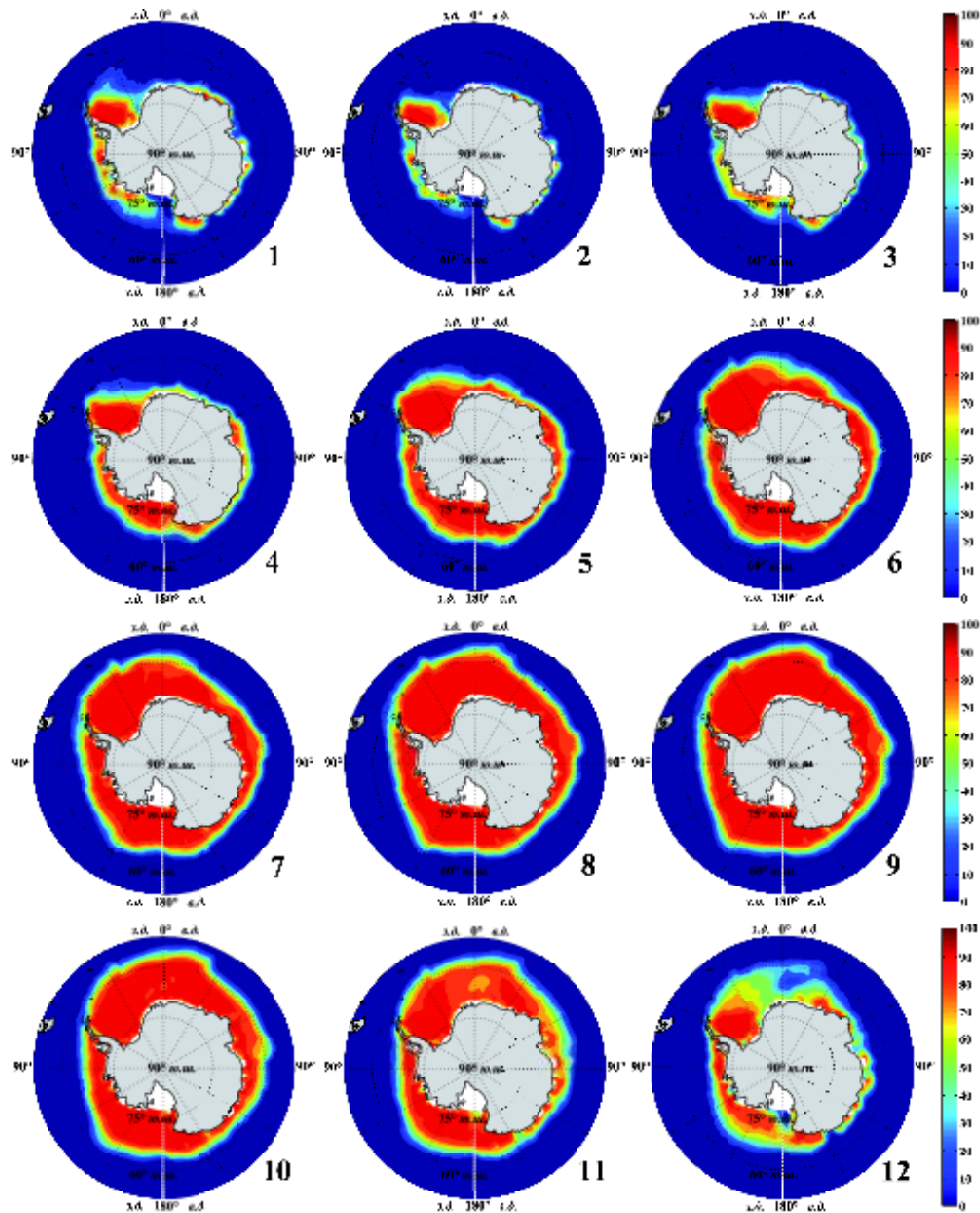


Рис. 1. Внутригодовое климатическое распределение сплоченности морского льда в процентах бальности (цветовая шкала). Объяснение в тексте

номер месяца года. Белым цветом показаны области с малой обеспеченностью исходных данных. Эти области находятся в основном в районах шельфовых ледников. По площади наиболее значительно выделяются из них зоны у ледников Росса и Фильхнера–Ронне.

Из анализа приведенных на рис. 1 материалов следует, что внешняя граница пояса морских льдов ориентирована преимущественно в зональном направлении. Ее положение согласуется с характером океанической циркуляции. Антарктическое циркумполярное течение препятствует распространению льда в низкие широты. В конце первого полугодия ледяной покров практически по всему периметру Антарктиды выходит за пределы Южного полярного круга. Однако в его внутригодовом распределении по регионам Антарктики видна существенная неравномерность.

Наиболее значительная по площади масса льда находится в морях Западной Антарктики.

Минимальная площадь морского льда наблюдается в феврале. В основном это льды меньше 50%-й бальности, расположенные в прибрежной зоне. Исключение составляют области свободные ото льда – стационарные полыньи, которые образуются с подветренной стороны береговой черты, и от сидящих на грунте скопленений айсбергов под воздействием отжимных ветров, а также области с многолетним морским льдом или шельфовыми ледниками, где сплоченность достигает 100%-й бальности. Максимальная площадь льда со 100%-й бальностью находится в море Уэдделла.

С марта начинается процесс ледонакопления. Увеличивается как площадь, покрытая морским льдом, так и сплоченность льда. В апреле лед с

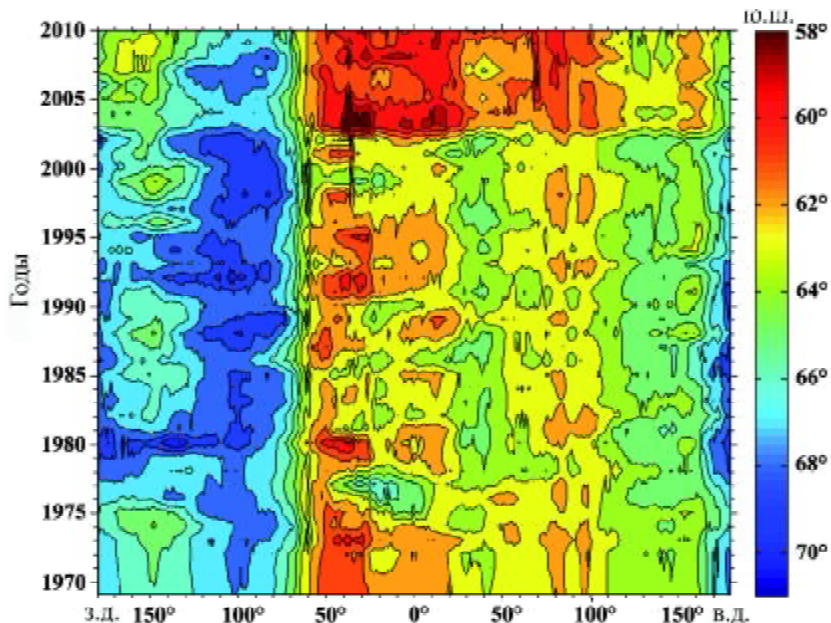


Рис. 2. Распределение среднегодового положения кромки морского льда по долготе

близкой к 100 % балльности кроме моря Уэдделла появляется также в морях Беллинсгаузена, Амундсена, Росса, Д'Юрвиля, Содружества. Льды сплоченностью, большей 15% балльности, опоясывают весь ледовый континент. С этого месяца антарктической зимы начинается активная фаза развития ледяного покрова, продолжающаяся до сентября. В данный период увеличивается не только общая площадь морского льда, но и площадь акваторий с максимальной его сплоченностью. В июле льды 80–100%-й балльности находятся уже около 60° ю. ш., а к сентябрю в Атлантическом и Индийском секторах переходят эту широту. В сентябре вся Антарктида окружена поясом морских льдов, внешняя граница которого максимально удалена от берега материка. Причем на некоторых долготах Атлантического сектора эта граница достигает 52° ю. ш., в то время как в Тихоокеанском секторе она не достигает и 60° ю. ш. Исключение составляют долготы от 140° до 150° з. д., где кромка льда пересекает 60° ю. ш. Прикромочная зона ледового пояса сформирована льдом малой сплоченности. С удалением от кромки в направлении берега Антарктиды сплоченность льда увеличивается.

С октября начинается уменьшение площади льда с балльностью, близкой к 100 %. Граница распространения льдов незначительно деформируется и отступает по направлению к берегу. В ноябре сплоченность льда существенно меняется и наступает период интенсивного ледотаяния. Увеличивается площадь ледового покрова с балльностью от 80 до 60 %. К декабрю покрытая льдом площадь акватории хотя и мало уменьшается, но заметно снижается балльность сплоченности. В январе ледотаяние достигает своего максимума.

Ширина ледового пояса значительно сужается. Однако по мере интенсивного разрушения ледяного покрова высокая балльность сплоченности сохраняется в секторах 25°–60° з. д., 65°–160° з. д., 145°–170° в. д., где располагаются Атлантический, Тихоокеанский и Балленский ледяные массивы соответственно.

Расстояние от внешней границы пояса плавающего ледяного покрова до берега Антарктиды существенно зависит от долготы места и времени года. Наибольшие удаления кромки на север характерны для районов Атлантического сектора Антарктики и моря Росса. Причем в районе моря Уэдделла среднеклиматическая граница плавающего льда внутри годового цикла не только отступает к северу от 64° до 52° ю. ш. Положение ее максимального удаления от ледового континента смещается на восток.

Широтная изменчивость среднегодового положения кромки также зависит от долготы места. Это наглядно иллюстрирует пространственно-временное распределение среднегодового положения кромки (рис. 2). Видно, что в Атлантическом и Индийском секторах Антарктики происходят более значительные широтные смещения положения кромки на север от материка, чем в Тихоокеанском секторе. В море Уэдделла до 2002 г. кромка находилась в широтном поясе от 66° до 60° ю. ш. В период от 2002 до 2010 г. она занимала положение между 61° и 58° ю. ш. В Индийском секторе среднегодовое положение кромки размещалось на широтах от 65° до 62° ю. ш. в период 1969–2002 гг. и от 63° до 61° ю. ш. в период 2002–2010 гг. В районе морей Беллинсгаузена и Амундсена кромка находится на значительно меньшем удалении от материка, хотя широтные смещения

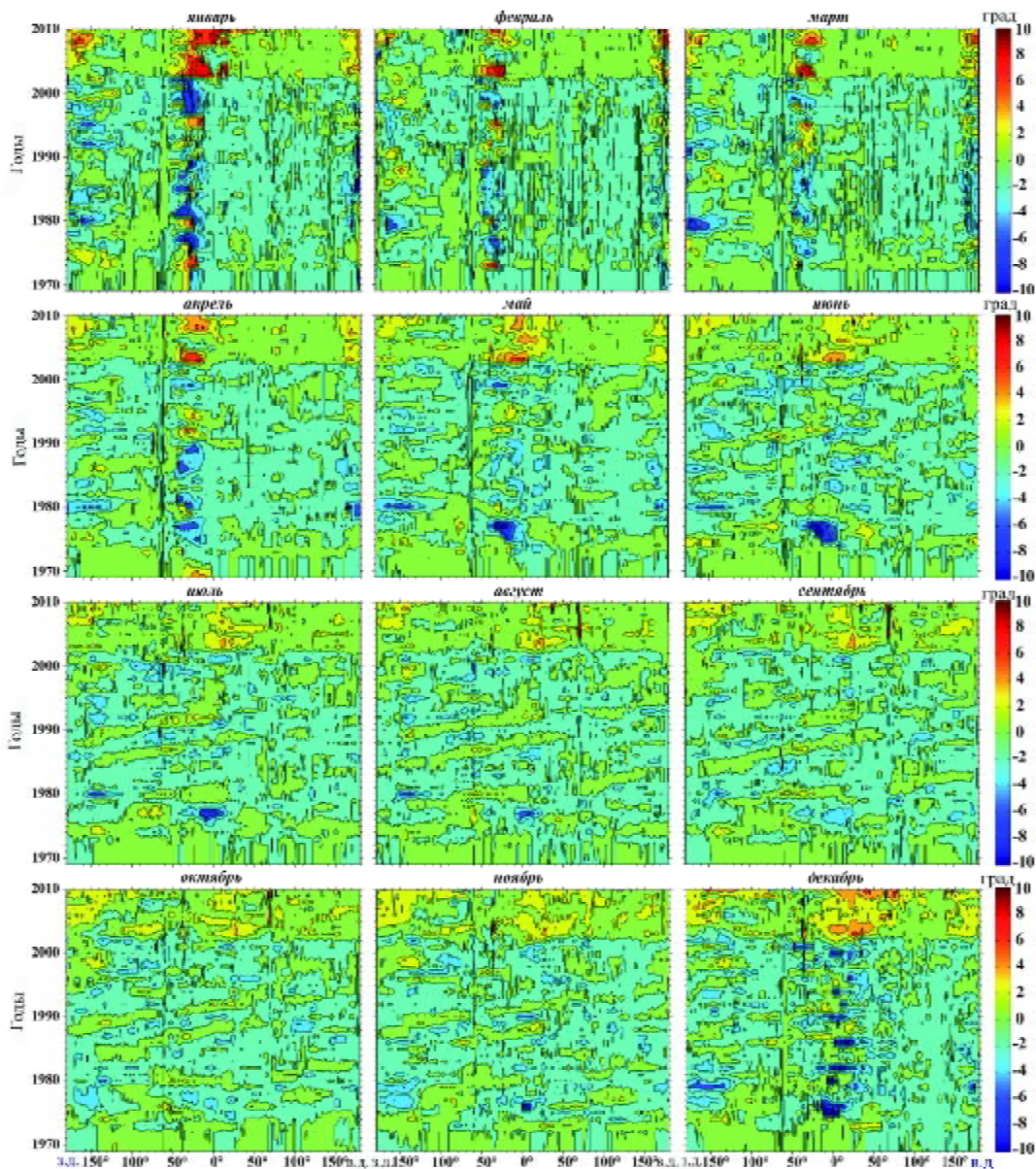


Рис. 3. Межгодовые распределения ежемесячных аномалий положения кромки морского льда по долготе в градусах широты. Объяснение в тексте

ее положения в межгодовом цикле могут составлять до  $4^\circ$ , находясь в полосе от  $70^\circ$  до  $66^\circ$  ю. ш. Это характерно и для района моря Росса, за исключением долготного сектора от  $125^\circ$  до  $170^\circ$  з. д. Здесь среднегодовое положение кромки после 2006 г. достигает  $64^\circ$  ю. ш. В долготном секторе от  $147^\circ$  до  $170^\circ$  в. д. (море Сомова) после 2002 г. кромка находилась в широтном поясе от  $64^\circ$  до  $62^\circ$  ю. ш.

Отметим, что межгодовые различия в положении кромки более существенны в период разрушения ледяного покрова с октября по февраль, чем в период ледонакопления с марта по сентябрь.

Внутригодовые распределения по долготе ежемесячного широтного смещения кромки плавающего льда от ее среднемесячного многолетнего положения приведены на рис. 3 для каждого года с 1969 по 2010. Цветовая шкала здесь характеризует величину (в градусах широты) и

направление (знак величины) смещения. Из анализа приведенных распределений следует, что среднемесячные климатические аномалии широтного смещения кромки имеют сезонную изменчивость. В месяцы быстрого разрушения ледяного покрова и в месяцы с минимальной его площадью в межгодовом распределении аномалий кромки прослеживается меридиональный характер с тенденцией к чередованию областей положительных и отрицательных аномалий по долготе. Такое поведение наблюдается с января по март. В апреле происходит перестройка межгодового распределения аномалий с меридионального на зональное направление. С июня области положительных и отрицательных аномалий, чередующиеся по широте, начинают вытягиваться с запада на восток. Такая особенность пространственного распределения аномалий положения кромки, проявляющаяся до 2002 г. на

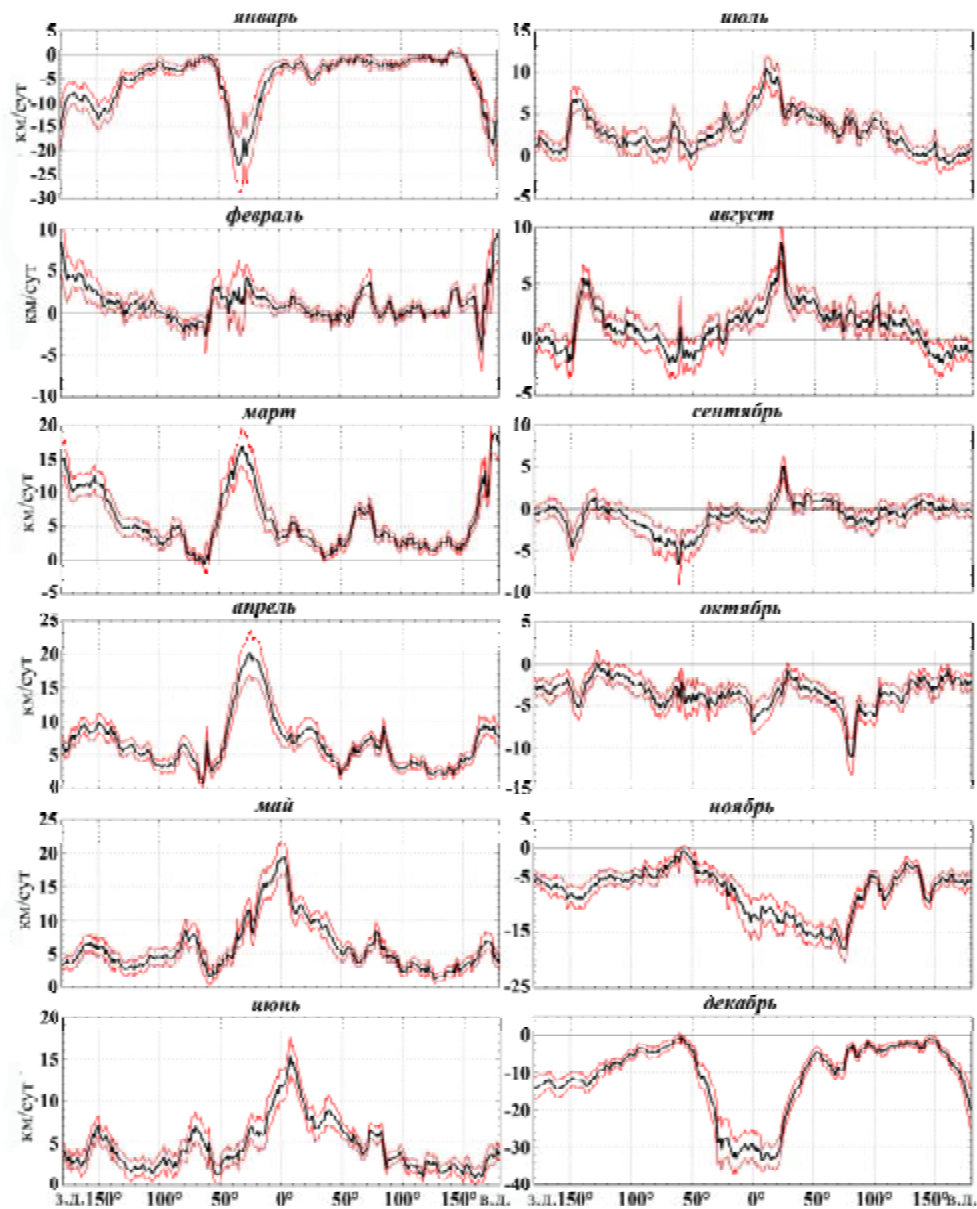


Рис. 4. Распределение внутригодовой климатической скорости широтного смещения кромки морского льда вдоль ее периметра

межгодовом масштабе в виде Антарктической циркумполярной волны [1, 14], в Западной Антарктике прослеживается вплоть до декабря. Однако в Восточной Антарктике в декабре она уже не наблюдается. После 2002 г. практически по всей Антарктике аномалия широтного положения кромки стала положительной. Исключение составляют моря Амундсена и Беллинсгаузена, где аномалии отрицательные.

Области с экстремальными величинами аномалий находятся в морях Уэдделла, Лазарева и Росса. При этом в отдельные годы, начиная с конца 1970-х вплоть до 2000-х, максимальные по величине отрицательные аномалии, составляющие 6 градусов и более, фиксируются в декабре для моря Лазарева и в январе для моря Уэдделла. Значительные положительные аномалии после 2000 г. характерны в январе–марте и январе для морей Уэдделла и Лазарева соответственно.

Важной динамической характеристикой кромки плавающего льда является скорость  $V$  ее смещения в широтном направлении. Графики на рис. 4 иллюстрируют долготное распределение внутригодового среднемесячного климатического значения скорости движения кромки. Черной линией изображена скорость, а красными обозначены границы 95%-го доверительного интервала.

Поведение представленных графиков показывает, что скорость смещения кромки как функции долготы изменяется не монотонно. Она имеет локальные экстремумы, значения которых зависят от долготного сектора. Во внутригодовом цикле направление движения кромки также изменяется. В период ледонакопления кромка с марта по июль включительно движется на север. В этот период один из экстремумов скорости, приходящийся на район моря Уэдделла, представляет собой максимум ее величины по всему периметру кромки.

В апреле этот максимум достигает значения 20 км/сут и к июлю уменьшается до ~10 км/сут. Положение экстремального значения скорости движения кромки на север перемещается со временем на восток. С марта по сентябрь экстремум перемещается с 30° з. д. на 25° в. д. Скорость перемещения, составляющая около 20 км/сут, согласуется со средней скоростью Антарктического циркумполярного течения. Существенных значений достигает скорость смещения кромки в северном направлении и в районе моря Росса. В марте, например, в восточной части моря она составляет около 19 км/сут, что даже больше, чем скорость смещения в море Уэдделла для этого месяца.

В августе–сентябре направление движения кромки меняется вдоль ее периметра. В одних долготных секторах она все еще движется на север, а на других участках вдоль периметра отступает на юг.

В период разрушения ледяного покрова с октября по январь кромка движется на юг. Наиболее интенсивно это происходит в море Содружества в октябре–ноябре, восточной части моря Росса в январе и в море Уэдделла в декабре–январе. Скорость смещения кромки на юг в данных районах составляет 10–15, 20 и 20–30 км/сут соответственно.

В летний период в некоторых долготных секторах положение кромки близко к стационарному ( $V \approx 0$ ), например: в январе – в секторе от 125° до 50° в. д. В феврале на некоторых участках вдоль периметра кромка снова движется на север. Скорость движения не превышает 5 км/сут, хотя на востоке моря Росса она достигает 10 км/сут. Отметим, что на скорость движения кромки, согласно графикам ее распределения по долготе в районе моря Росса, для декабря, января и февраля влияет расположенная здесь стационарная полынья.

Для выявления наиболее значимых временных циклов колебания кромки плавающего льда выполнен спектральный анализ отклонений среднемесячных значений широты положения кромки

от его линейного тренда за период 1969–2010 гг. Он проведен методом Fast Fourier Transform с использованием фильтра Flat Top. Полученная картина распределения спектральной плотности по частоте представлена на рис. 5. По оси ординат отложены значения циклической частоты колебаний  $f$  (1/год), по оси абсцисс – долгота места. Цветовая шкала в логарифмическом масштабе характеризует распределение спектральной плотности для каждого градуса долготы. Видно, что главный сигнал в спектре колебаний приходится на колебания с одним циклом в год. Они отмечаются на всех долготах вдоль периметра кромки. Причем колебания с максимальной спектральной плотностью фиксируются в районах моря Уэдделла и Земли Королевы Мод (40° з. д. – 40° в. д.). Значительный, хотя и с меньшей спектральной плотностью, годовой сигнал проявляется в морях Содружества (70°–80° в. д.) и Росса (140°–160° з. д., 170°–175° в. д.). В спектре колебаний наблюдается также сигнал с двумя, тремя и четырьмя циклами в год. Они заметно слабее годового и проявляются только в отдельных долготных секторах. В некоторых районах вдоль периметра кромки выделяются низкочастотные колебания с периодом от 3 до 5 лет, близким к периоду Антарктической циркумполярной волны. В низкочастотном диапазоне проявляются также колебания с периодами 10 лет и более. По долготному распределению они попадают в области с наиболее выраженной спектральной плотностью годового сигнала.

Таким образом, основной составляющей в спектре отклонений среднемесячных положений кромки от ее многолетнего линейного тренда является годовая гармоника. Рассмотрим межгодовую изменчивость долготного распределения амплитуды и фазы этой гармоник. Развертка значений амплитуды по долготе, определяемых цветовой шкалой в градусах широты, показана на рис. 6. Из приведенной картины следует, что

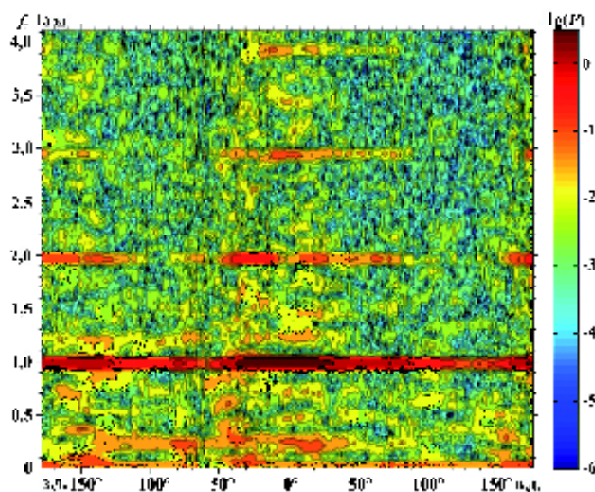


Рис. 5. Распределение спектральной плотности широтного смещения кромки льда по долготе

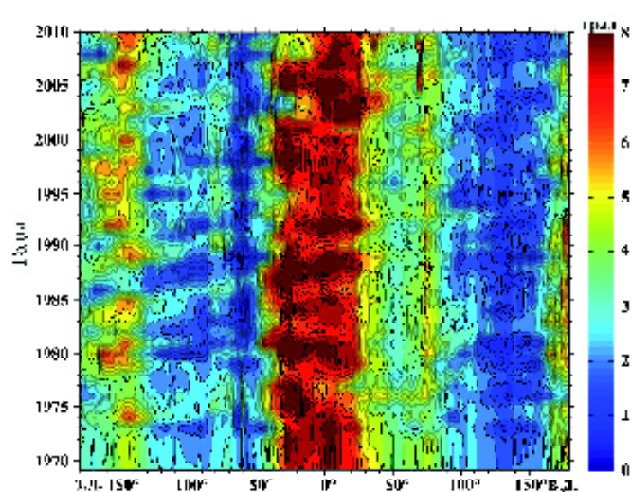


Рис. 6. Межгодовая изменчивость долготного распределения амплитуды годовой гармоник

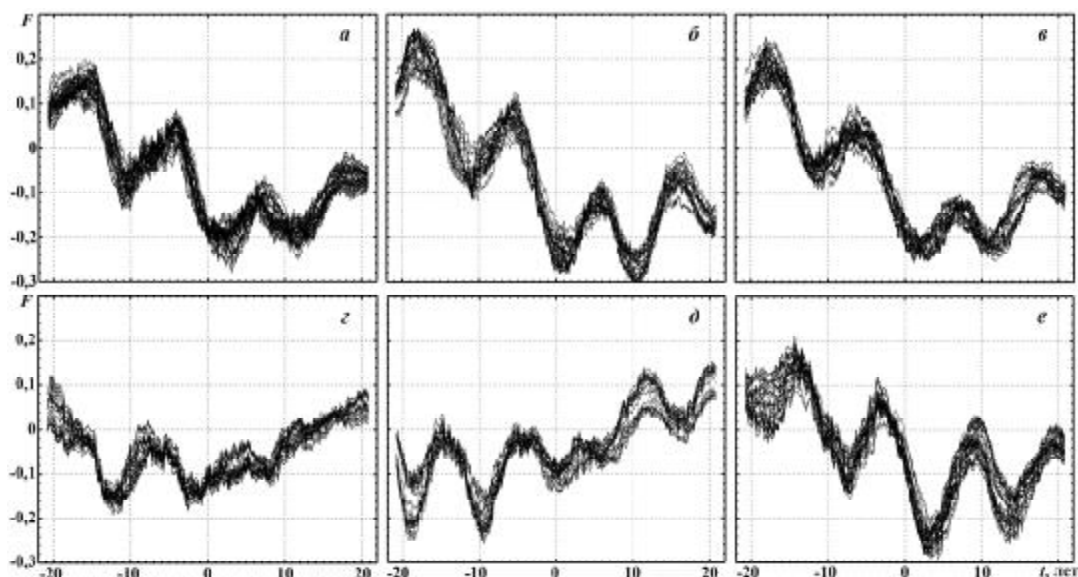


Рис. 7. Взаимная корреляционная функция, связывающая широтные смещения кромки льда и числа Вольфа солнечной активности для каждого градуса долготы из разных секторов: *a* – моря Дейвиса и Моусона ( $89,5^{\circ}$ – $129,5^{\circ}$  в. д.); *b* – море Росса ( $160,5^{\circ}$  з. д. –  $174,5^{\circ}$  в. д.); *v* – море Содружества ( $84,5^{\circ}$  –  $59,5^{\circ}$  в. д.); *z* – море Амундсена ( $125,5^{\circ}$  в. д. –  $104,5^{\circ}$  з. д.); *d* – море Беллинсгаузена ( $95,5^{\circ}$  –  $74,5^{\circ}$  з. д.); *e* – море Уэдделла ( $40,5^{\circ}$  –  $10,5^{\circ}$  з. д.)

обусловленное годовой гармоникой удаление кромки от Антарктиды существенно зависит от долготы. Наиболее значительных величин амплитуда этой гармоники достигает в восточной части моря Уэдделла, а также в морях Лазарева и Рисер-Ларсена. В отдельные годы вследствие колебаний годовой гармоники кромка может сместиться на расстояние, примерно равное  $8^{\circ}$  широты. Удаление кромки на расстояние, равное  $7^{\circ}$  широты, наблюдается в Индийском секторе в районе морей Содружества с 2005 г. и Космонавтов с 2003 г. В остальные рассматриваемые годы в данном секторе амплитуда составляет в среднем от 2 до 5 градусов. В море Росса величина амплитуды изменяется в пределах от 3 до 6,5 градусов. В районах Антарктического полуострова и морей Беллинсгаузена, Амундсена, Моусона, Д'Юрвиля, а также в восточной части моря Сомова проявляются минимальные значения амплитуды. Что касается межгодовой изменчивости фазы годовой

гармоники, то сдвиг ее по времени составляет от 2,5 до 4 месяцев. Квазипериодическая повторяемость фазовых изменений происходит с интервалом примерно от 4 до 7 лет.

На рис. 7 представлены ансамбли графиков взаимной корреляционной функции  $F(t)$ , где  $t$  – время, связывающей широтное смещение кромки льда и числа Вольфа солнечной активности для каждого градуса долготы из разных секторов. Хотя по абсолютной величине значения взаимной корреляционной функции и не превышают 0,3, ее поведение является стабильным для указанных районов Антарктики. На всех графиках прослеживаются колебания этой функции с периодом, близким к 11-летнему, около среднего по ансамблю положения, которое можно рассматривать как половину 60-летнего цикла Фритца солнечной активности. Изменчивость солнечной активности с 11-летним циклом Швабе проявляется с запаздыванием в смещении положения кромки льда при-

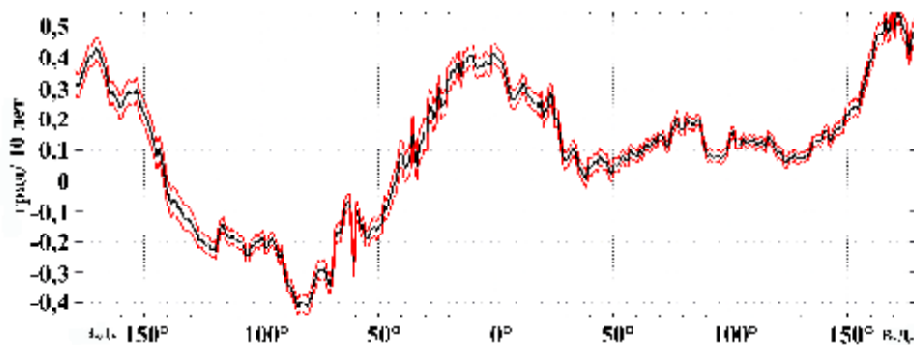


Рис. 8. Долготное распределение величины линейного тренда смещений положения кромки льда по широте за период 1969–2010 гг.

мерно через 2–3 года. Отметим, что колебания аномалий положения кромки находятся в противофазе с колебаниями солнечной активности.

Распределение величины тренда широтного смещения кромки плавающего льда по долготе иллюстрирует график, показанный на рис. 8 черной линией. Он построен по среднегодовым сглаженным скользящим средним (с шагом один месяц) значениям широты положения кромки за рассматриваемый период времени. Красными линиями обозначены границы 95%-го доверительного интервала. Видно, что всюду, за исключением морей Беллинсгаузена и Амундсена, тренд положительный, что свидетельствует о расширении покрытой льдом площади морской поверхности [3]. В море Беллинсгаузена величина тренда отрицательная, а в море Амундсена она практически близка к нулю, хотя в отдельных районах принимает и отрицательные значения. Если из рассматриваемого временного периода выделить интервал с 1978 по 1996 г., то в распределении величины тренда по долготе появляются, как и в [15], отрицательные значения и в районах некоторых морей Индийского сектора, а абсолютная величина тренда в Тихоокеанском секторе при этом существенно увеличивается.

**Заключение.** Выполнено исследование климатической изменчивости внутригодового распределения сплоченности плавающего морского льда в Антарктике за период 1969–2010 гг. Дана характеристика деформации окружающего Антарктиду пояса морского льда и эволюции широтного смещения географического положения его внешней границы.

Проведен анализ пространственно-временного распределения среднегодового положения кромки льда и установлены проявления региональных особенностей его изменчивости в Атлантическом, Индийском и Тихоокеанском долготных секторах.

Вычислены внутригодовые среднемесячные аномалии широтного смещения кромки льда. Выявлена сезонная зависимость знака и географического положения аномалий. Показано, что чередующиеся области с отрицательными и положительными аномалиями в месяцы быстрого разрушения ледяного покрова и в месяцы с минимальной его площадью ориентированы в межгодовой динамике преимущественно в меридиональном направлении, а в зимний сезон – в зональном.

Получены оценки значений скорости внутригодовых климатических широтных смещений кромки льда вдоль ее периметра для каждого градуса долготы. Выделены долготные секторы с наибольшей и минимальной интенсивностью изменений положения кромки.

На основе спектрального анализа выявлены наиболее значимые по спектральной плотности временные циклы отклонений среднемесячных

значений широты положения кромки от его линейного тренда и отмечены области их наиболее яркого проявления. Главный сигнал приходится на колебания с одним циклом в год. Для годовой гармоники дана оценка межгодовой изменчивости ее фазы и распределения амплитуды по долготе.

Выполненный анализ поведения взаимной корреляционной функции, связывающей широтное смещение кромки и числа Вольфа солнечной активности для каждого градуса долготы, показал устойчивые колебания с 11-летним циклом Швабе, происходящие около среднего положения, которое можно рассматривать как полуволну 60-летнего цикла Фритца. Изменчивость солнечной активности с циклом Швабе проявляется в смещении положения кромки с запаздыванием через 2–3 года.

Построено распределение величины тренда широтного смещения кромки морского льда по долготе, свидетельствующее о расширении покрытой льдом площади морской поверхности всюду, кроме морей Беллинсгаузена и Амундсена, где величина тренда отрицательная.

1. *Артамонов Ю.В.* Антарктическая циркумполярная волна в аномалиях поля ветра, температуры поверхности океана и сплоченности морских льдов / Ю.В. Артамонов, А.А. Букатов, М.В. Бабий, Е.А. Скрипалева // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 250–252.
2. *Горелова М.В.* К вопросу о выделении периодических составляющих морских течений // Проблемы получения и обработки информации о физическом состоянии океана. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1967. – С. 227–233.
3. *Гудкович З.М.* Изменение морского ледяного покрова и других составляющих климатической системы в Арктике и Антарктике в связи с эволюцией полярных вихрей / З.М. Гудкович, В.П. Карклин, Е.Г. Ковалев, В.М. Смолянский, И.Е. Фролов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2008. – № 1. – С. 48–57.
4. *Джиганшин Г.Ф.* Сезонные и межгодовые вариации границы дрейфующих льдов в Атлантическом секторе Антарктики и проливе Дрейка // Мор. гидрофиз. журн. – 2003. – № 3. – С. 68–80.
5. *Доронин Ю.П.* Влияние ледяного покрова на теплообмен атмосферы и океана // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1974. – Вып. 43–44. – С. 78–82.
6. *Еремеев В.Н.* Пространственно-временная изменчивость сплоченности морского льда Антарктики / В.Н. Еремеев, Ю.В. Артамонов, А.А. Букатов, Е.А. Скрипалева // Геоинформатика. – 2009. – № 2. – С. 48–55.
7. *Еремеев В.Н.* Влияние снежно-ледового покрова на теплообмен океана и атмосферы в Антарктике / В.Н. Еремеев, А.Е. Букатов, А.А. Букатов, М.В. Бабий // Геоинформатика. – 2011. – № 1. – С. 57–61.
8. *Романов А.А.* Льды Южного океана и условия судоходства – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 88 с.
9. *Харкевич А.А.* Борьба с помехами. – М.: Госиздат физ.-мат. лит., 1963. – 275 с.



10. *Cavalieri D.J.* 30-Year satellite record reveals contrasting Arctic and Antarctic / D.J. Cavalieri, C.L. Parkinson, K.Y. Vinnikov // *Geophys. Research Lett.* – 2003. – Vol. 30, N 18. – 1970. – P. CRY 4 1 – 2. – doi:10.1029/2003GLO18031.
11. <http://badc.nerc.ac.uk/data/hadisst/>
12. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>
13. *Shailendra Rai.* Antarctic sea ice variability in recent years and its relation ship with Indian ocean sea surface temperature / R. Shailendra, A.C. Pandey // *J. Indian Geophys. Union.* – 2006. – Vol. 10, N 3. – P. 219–229.
14. *White W.B.* An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent / W.B. White, R.G. Peterson // *Nature.* – 1996. – Vol. 380. – P. 699–702.
15. *Yuan X., Martinson D.G.* Antarctic sea ice extent variability and its global connectivity / X. Yuan, D.G. Martinson // *J. Climate.* – 2000. – Vol. 13. – P. 1967–1717.

<sup>1</sup>Океанологический центр НАН Украины, Севастополь, Украина

Поступила в редакцию 20.11.2012 г.

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, Украина  
E-mail: newisland@list.ru

*В.М. Єремєєв, О.Є. Букатов, М.В. Бабій, А.А. Букатов*

### ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ РОЗПОДІЛУ МОРСЬКОГО ЛЬОДУ В АНТАРКТИЦІ

Досліджено кліматичну еволюцію регіонального розподілу згуртованості морського льоду в Антарктичній області Південного океану за період 1969–2010 рр. Проведено аналіз просторово-часової мінливості географічного положення зовнішньої межі льодового поясу навколо Антарктиди. Виконано оцінку взаємного кореляційного зв'язку широтних зміщень кромки льоду і чисел Вольфа сонячної активності.

**Ключові слова:** антарктичний морський лід, згуртованість морського льоду, кромка морського льоду, динаміка кромки льоду.

*V.N. Ereemeev, A.E. Bukatov, M.V. Babiy, A.A. Bukatov*

### SPATIAL-TEMPORARY VARIABILITY OF THE ANTARCTIC SEA ICE DISTRIBUTION

Climatic evolution research of sea ice closeness regional distribution in the Antarctic area of Southern ocean for the period 1969–2010 years is investigated. The spatial-temporary variability analysis of a geographical position of ice zone external border around Antarctica is carried out. The estimation of cross-correlation connection between ice edge latitude displacements and Wolf numbers is given.

**Keywords:** Antarctic sea ice, sea ice closeness, sea ice edge, ice edge dynamics.