

*А.В. Косенко, Н.П. Смирнов*

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЛЕДОВОГО ПОКРОВА  
МОРЕЙ ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ  
И ЕЁ СВЯЗЬ С АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ**

*A.V. Kosenko, N.P. Smirnov*

**MULTIYEAR DYNAMICS OF ICE COVER OF THE SEAS IN THE  
SOUTHERN POLAR REGION AND ITS RELATIONSHIP WITH THE  
ATMOSPHERIC CIRCULATION**

*Работа посвящена изучению изменчивости ледового покрова в Южной Полярной области за последние 25 лет (1979–2003 гг.) и её связи с атмосферной циркуляцией. Использовались данные, полученные по спутниковым наблюдениям (из архива ААНИИ).*

*Анализировались изменения среднегодовых значений ледовитости для морей Уэдделла, Росса, Беллинсгаузена и Амундсена и Антарктики в целом. Установлено, что изменения ледовых условий в различных секторах Южного океана неодинаковы. В морях Уэдделла и Росса наблюдаются колебания с периодами более 15–16 лет на фоне 3–4-летних колебаний, при этом наблюдается противофазность колебаний. В морях Беллинсгаузена и Амундсена каких-либо выраженных долгопериодных колебаний не наблюдалось.*

*Определена трендовая составляющая в изменениях ледовитости морей Южной Полярной области. За период 1979–2003 гг. в морях Беллинсгаузена и Амундсена наблюдается снижение ледовитости, тогда как графики линейных трендов годовых значений ледовитости для моря Росса и для Антарктики в целом показывают увеличение ледовитости за тот же период.*

*Выполнен анализ связи колебаний ледовитости и атмосферной циркуляции. Сделан вывод о том, что колебания ледовитости полностью определяются изменениями интенсивности крупномасштабных вихревых циркуляционных структур атмосферы в южном полушарии.*

*The article is devoted to investigation of ice cover variability in the Southern Polar area in the past 25 years (1979–2003) and its relationship with the atmospheric circulation. Satellite observation data (from the AANII archive) are used.*

*Variations in the mean annual values of ice cover for the Weddell, Ross, Bellingshausen, Amundsen Seas and the Antarctic as a whole are analyzed. Variations of ice conditions in various sectors of the Southern Ocean are established to be different. In the Weddell and Ross Seas, fluctuations are observed having the periods of more than 15–16 years against the background of 3–4-year fluctuations, thus the fluctuations are in an antiphase. In the Bellingshausen and Amundsen Seas no pronounced long-period fluctuations are observed.*

*The trend constituent in the variations of the ice cover of the Southern Polar seas is revealed. In the 1979–2003 period, a decrease in the ice cover area is observed in the Bellingshausen and Amundsen Seas, whereas the linear trends in annual values of the ice cover area for the Ross Sea and the Antarctic as a whole show an increase in the ice cover in the same period.*

*An analysis of the relations between fluctuations of the ice cover area and atmospheric circulation is given. The analysis allows us to state that fluctuations in the ice cover area are defined by changes of intensity of large-scale vortical circulating structures in the Southern Hemisphere atmosphere.*

Изменения ледовитости морей являются одним из важнейших индикаторов колебаний климата на Земле в целом, и в отдельных регионах в частности. За последние несколько десятилетий в Полярных областях планеты происходили значительные изменения в ледовом режиме морских бассейнов, что может свидетельствовать о наличии определённых изменений в климате. В свою очередь, динамика площадей ледового покрова способна оказывать воздействие на гидробиологические продукционные процессы, что в конечном итоге сказывается на эффективности воспроизводства морских промысловых объектов. Это касается, прежде всего, рыб, обитающих в морях как Северной Атлантики, так и в Южном океане.

Настоящая работа посвящена изучению многолетней изменчивости ледового покрова в Южной Полярной области и связи наблюдавшихся в последние годы изменений ледовитости с изменениями в интенсивности циркуляции атмосферы в этом регионе Земли.

Были проанализированы многолетние данные ледовитости морей за последние 25 лет (1979–2003 гг.), полученные по спутниковым наблюдениям и имеющиеся в архиве ААНИИ. В этот период, по мнению сторонников «Глобального потепления», оно наиболее ярко проявилось на Земле и, особенно, в Полярных районах Земли, где по определению такие глобальные процессы должны проявляться наиболее заметно. Изменения в ледовом покрове морей в Южной полярной области могут дать объективное суждение относительно процесса "глобального потепления климата" и о возможных негативных последствиях.

Нами произведен подробный анализ среднемесячных значений ледовитости за 25-летний период для морей Уэдделла, Росса, Беллинсгаузена и Амундсена и в целом по Антарктике, а также многолетних колебаний средних значений по сезонам и в среднем за год.

Полученные результаты изменений ледовитости в течение года говорят о том, что как в отдельных морях, так и по Антарктике в целом максимальные значения ледовитости наблюдаются в конце антарктической зимы – начале весны, в августе-сентябре. Минимальные значения ледового покрова в Антарктике наблюдаются во всех случаях в конце антарктического лета, в феврале. Из таблицы 1 видно, что полугодовая вариация в изменениях ледовитости в течение года в целом для Антарктики и ее морей мала и не оказывает существенного влияния на сезонную изменчивость ледовых условий. Наиболее весомый вклад (27%) полугодовой составляющей наблюдается только в море Росса. Во всех остальных случаях он равен 10–11%. В то же время известно, что в сезонных колебаниях атмосферного давления в Южном полушарии и изменениях давления в циклонических центрах действия атмосферы полугодовые колебания выражены значительно сильнее и сопоставимы с годовой гармоникой [2, 6]. Таким образом, можно считать, что изменения ледовитости в Южной Полярной области в течение года практически полностью описываются годовой гармоникой и

внутригодовые изменения интенсивности атмосферной циркуляции не оказывают существенного влияния на годовой режим ледовых условий, а определяющую роль играет радиационный баланс.

*Таблица 1*

**Амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник сезонного хода значений ледовитости антарктических морей**

Море	Гармоники и фазы				
	$A_1$ , млн км <sup>2</sup>	$\Theta_1$ , °	$A_2$ , млн км <sup>2</sup>	$\Theta_2$ , °	$A_2/A_1$
Уэдделла	2,354	226	0,266	225	0,11
Росса	1,378	232	0,366	223	0,27
Беллингаузена и Амундсена	0,631	222	0,063	212	0,10
Антарктика	6,247	225	0,695	237	0,11

На рис. 1 и 2 приведены значения площадей ледового покрытия отдельных морей и Антарктики в целом в среднем за год и их пятилетние скользящие средние. Как видно из представленных рисунков, ледовые условия за рассматриваемые 25 лет в отдельных морях различны. Так, в море Уэдделла в середине 80-х годов прошлого века наблюдалось понижение ледовитости, затем возрастание ее к середине 90-х годов и новое понижение к началу XXI века. В море Росса наблюдалась обратная картина, а в морях Беллингаузена и Амундсена каких-либо выраженных долгопериодных колебаний и тенденций не наблюдалось. Изменения ледовитости происходили с периодом около четырех лет.

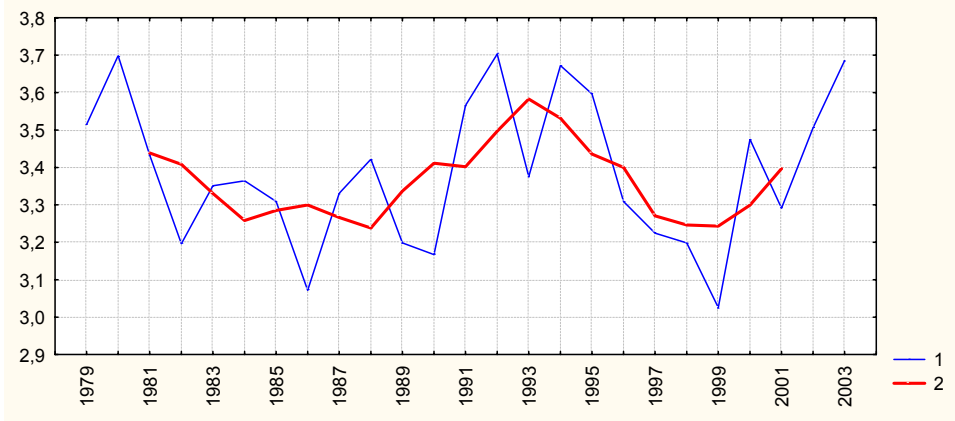
Изменения ледовых условий в целом в Антарктике характеризуются слабым понижением ледовитости в зимний период во второй половине 80-х годов прошлого века и повышением ледовитости к началу XXI века. Все это происходило на фоне колебаний ледовитости с периодами 3–5 лет.

Важным с точки зрения оценки тенденции изменения климата за последние 25 лет является определение трендовой составляющей в изменениях ледовитости (табл. 2). Линейные тренды ледовитости по отдельным морям представлены на рис. 3, а по Антарктике в целом – на рис. 4.

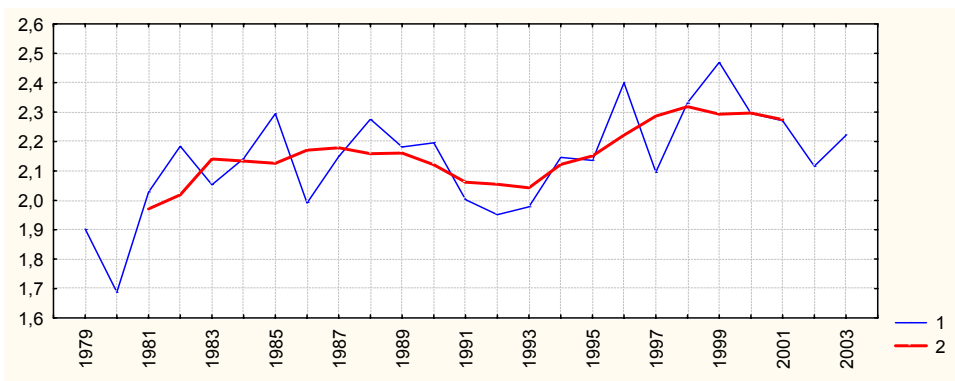
*Таблица 2*

**Линейные тренды и стандартные отклонения изменений ледовитости в Антарктике за 1979–2003 гг.**

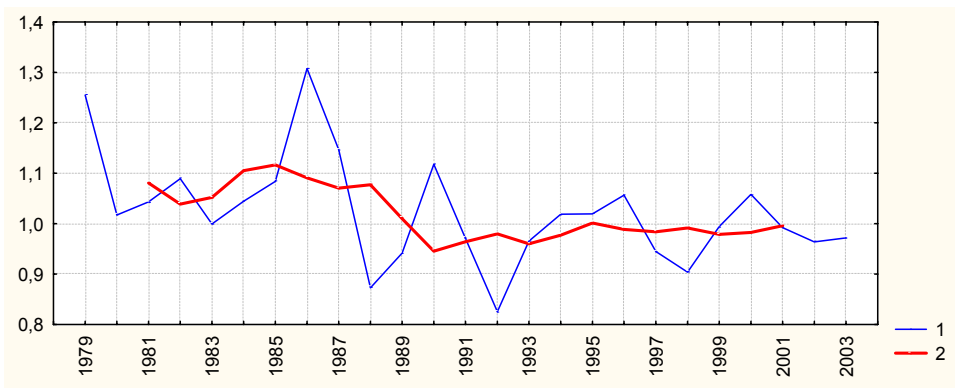
Моря	Зима	Год	Зима	Год
Уэдделла	-0,08	0,01	0,28	0,14
Росса	0,30	0,32	0,24	0,17
Беллингаузена и Амундсена	0,01	-0,16	0,16	0,11
Антарктика	0,26	0,26	0,28	0,18



*a*

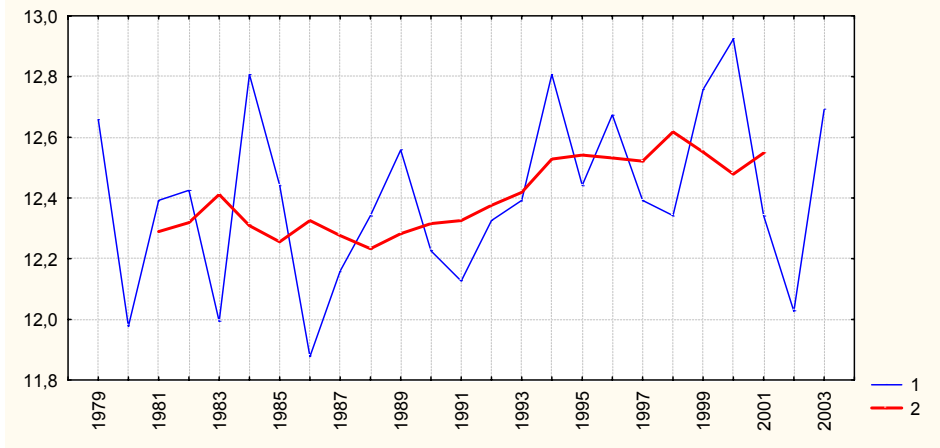


*b*

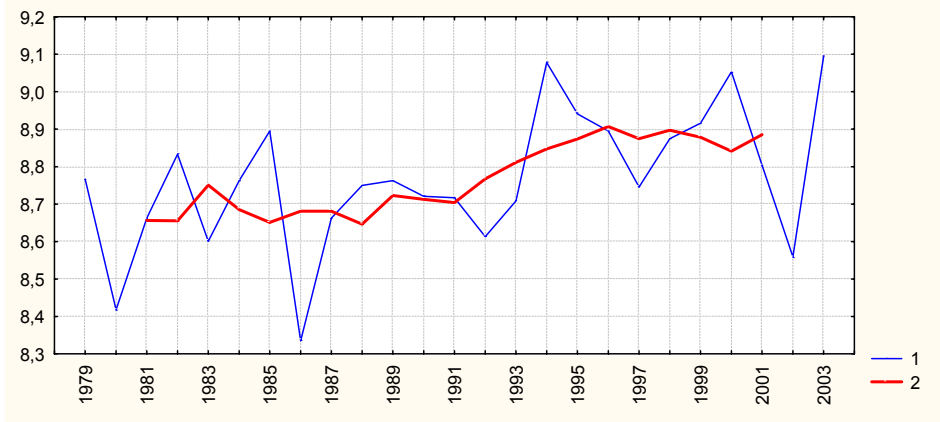


*c*

Рис. 1. Изменения значений ледовитости за год (1) и их пятилетние скользящие средние (2) для морей Уэдделла (а), Росса (б), Беллинсгаузена и Амундсена (в)

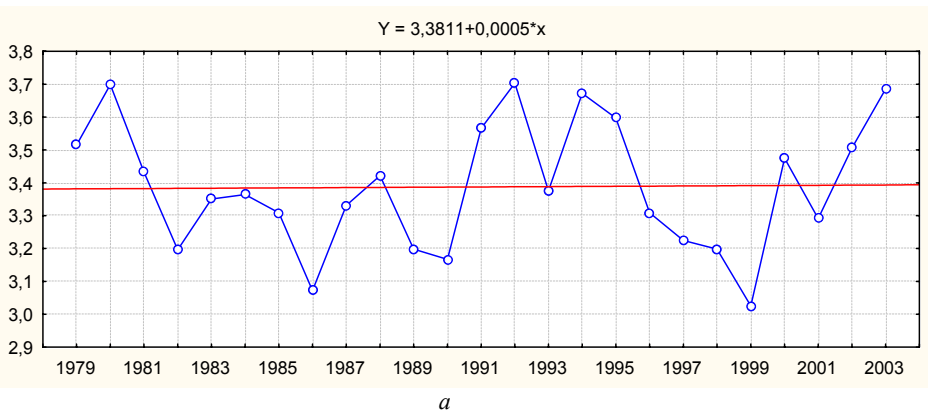


a

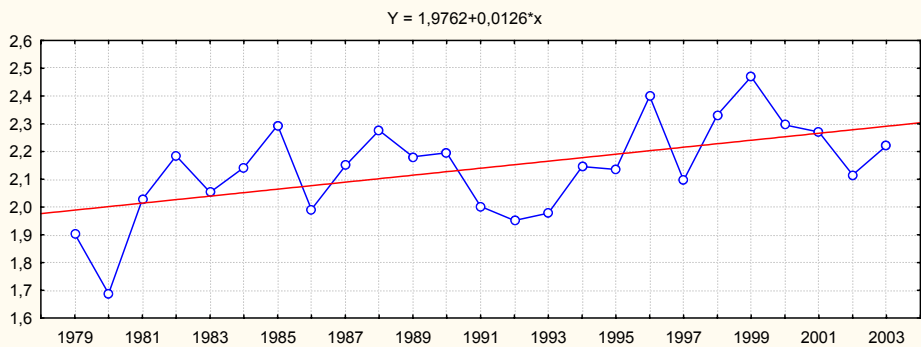


б

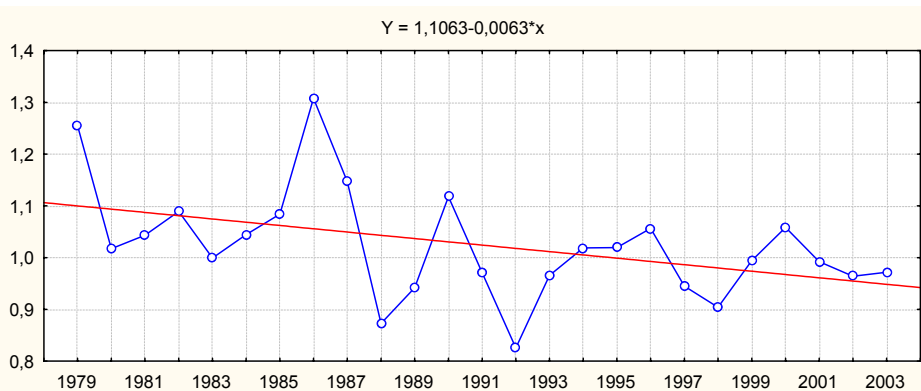
Рис. 2. Изменение значений зимних (а) и среднегодовых (б) значений ледовитости (1) и их пятилетних скользящих средних (2) в целом по Антарктике



a



*б*



*в*

Рис. 3. Линейные тренды годовых значений ледовитости морей Уэдделла (а), Росса (б), Беллингаузена и Амундсена (в)

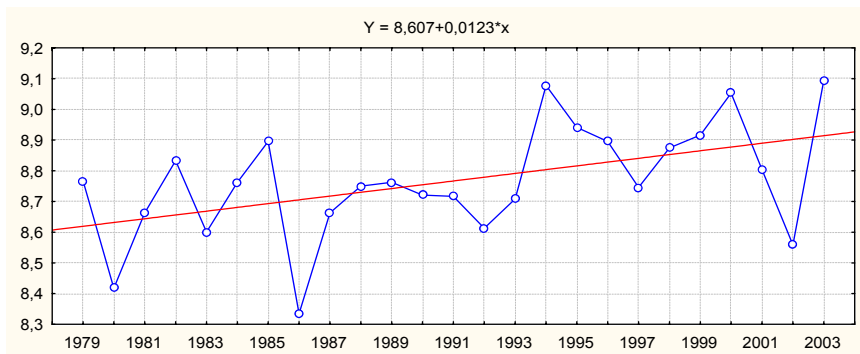


Рис. 4. Линейный тренд годовых значений ледовитости Антарктики в целом

В целом, анализ многолетних данных по ледовитости Антарктических вод позволяет прийти к достаточно очевидному выводу об отсутствии значимых направленных изменений ледовитости антарктических вод за рассматриваемый период, тем более о какой-либо тенденции к уменьшению ледовитости в связи с "глобальным потеплением". Скорее, можно говорить о некотором увеличении ледовитости антарктических вод за период с 1979 по 2003 год.

При анализе колебаний ледовых условий год от года достаточно очевиден факт, что в морях, прилегающих к Антарктиде, ледовые условия не изменяются синхронно. Бросается в глаза факт оппозиции в колебаниях ледовитости. При этом эта оппозиция наблюдается как в отдельных секторах Южного океана, так и между морями различных секторов (рис. 5).

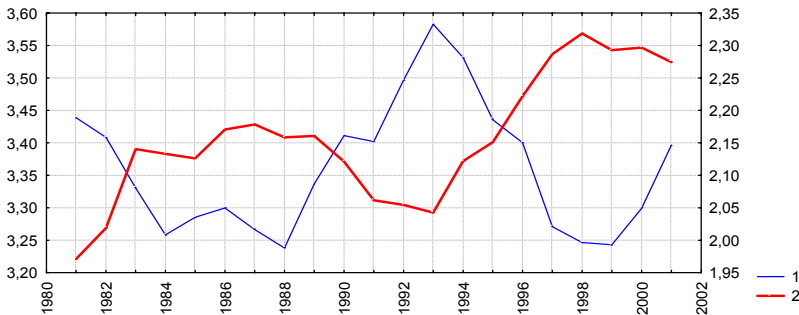


Рис. 5. Сопоставление пятилетних скользящих средних значений и годовых значений ледовитости морей Уэдделла (1) и Росса (2)

Такая оппозиция в ледовых условиях и других климатических характеристиках умеренных и высоких широт Северного полушария известна давно [1, 7, 8]. И тогда же было дано объяснение этому явлению. В. Мейнардус установил, что усиление Гольфстрима у берегов Европы и холодного Лабрадорского течения со всеми вытекающими из этого последствиями совпадают по времени и связаны с углублением Исландского минимума давления (Северо-Атлантического циклонического центра действия атмосферы). Его ослабление приводит к картине прямо противоположной. Шотт, сопоставляя изменения льдов в районе о. Ньюфаундленд и у восточного побережья Гренландии, обнаружил, что они происходят в противофазе, и также объяснил это особенностями атмосферного давления в северной части Атлантики.

Подробно этот вопрос позднее был рассмотрен в работах [3–5]. В этих работах было показано, что именно Исландский минимум атмосферного давления с его мощным отрогом в Арктику, его интенсивность определяют и интенсивность переносов тёплых воздушных масс в передней части этого циклонического центра действия атмосферы и холодных воздушных масс в его тыловой части. Отсюда во временной изменчивости всех климатических характеристик на западе и востоке Северной Атлантики наблюдается противофазность, т.е. оппо-

зия. Кроме того, оппозиция наблюдается между севером и югом Северной Атлантики, как на западном побережье, так и восточном.

В последние годы было показано, что в Южном полушарии во всех секторах Южного океана (Атлантическом, Индоокеанском и Тихоокеанском) наблюдаются квазистационарные области низкого давления, аналогичные Исландскому минимуму и Алеутскому минимуму на севере [6].

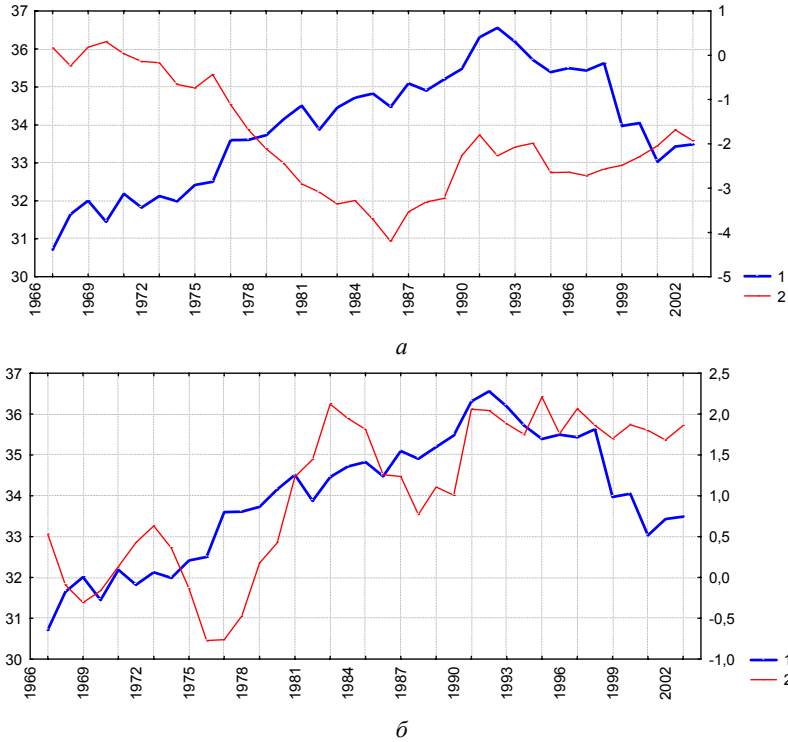
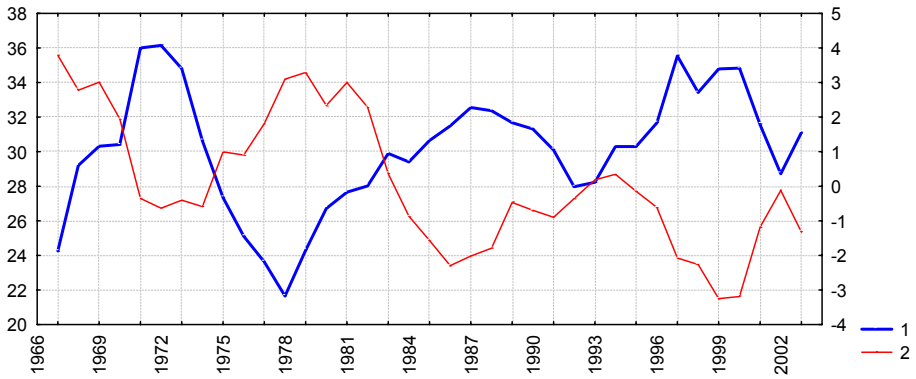


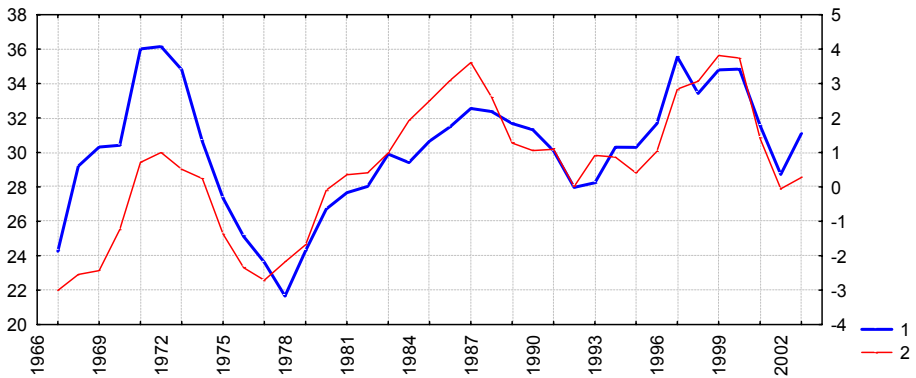
Рис. 6. Сопоставление пятилетних скользящих среднегодовых значений меридиональных разностей давления по 0 меридиану в Атлантическом секторе и зональных разностей давления на западе (330 минус 300) (а) и востоке (30 минус 0) (б)

Поэтому естественно попытаться объяснить наблюдаемые изменения ледовых условий за последние 25 лет колебаниями в интенсивности циркуляции атмосферы в Южной Полярной области, которая отражает изменения в интенсивности крупномасштабных вихревых структур, связанных с областями низкого давления. При этом усиление или ослабление зональных и меридиональных переносов воздушных масс происходит одновременно. Это хорошо подтверждают рис. 6 и 7, на которых приведено сопоставление меридиональных разностей давления по 0° в Атлантическом секторе и по 240° в Тихоокеанском секторе Южного океана с зональными разностями давления в западных и восточных частях этих океанов по 50° ю.ш.





a



b

Рис. 7. Сопоставление пятилетних скользящих средних за весну значений меридиональных разностей давления по 240 меридиану в Тихоокеанском секторе и зональных разностей давления на западе (210 минус 180) (a) и востоке (270 минус 240) (б)

Учитывая, что по Тихоокеанскому сектору у нас было две области с данными по изменениям ледовитости (на западе – море Росса и на востоке – моря Амундсена и Беллинсгаузена) мы сравнили их изменения с изменениями меридиональных разностей давления в центральной зоне океана по 210 и 240° долготы между 30° ю.ш. и 60° ю.ш. Из рис. 8, на котором приведено это сопоставление видно, что при увеличении интенсивности крупномасштабной циклонической циркуляционной структуры в Тихоокеанском секторе Южного полушария увеличивается ледовитость моря Росса и уменьшается ледовитость морей Амундсена и Беллинсгаузена. Всё очень понятно, на западе в море Росса усиливаются холодные воздушные потоки с континента Антарктиды, а на востоке усиливается поток воздушных масс из субтропических широт юго-восточной части Тихого океана. При ослаблении интенсивности циркуляционной системы картина меняется на обратную.

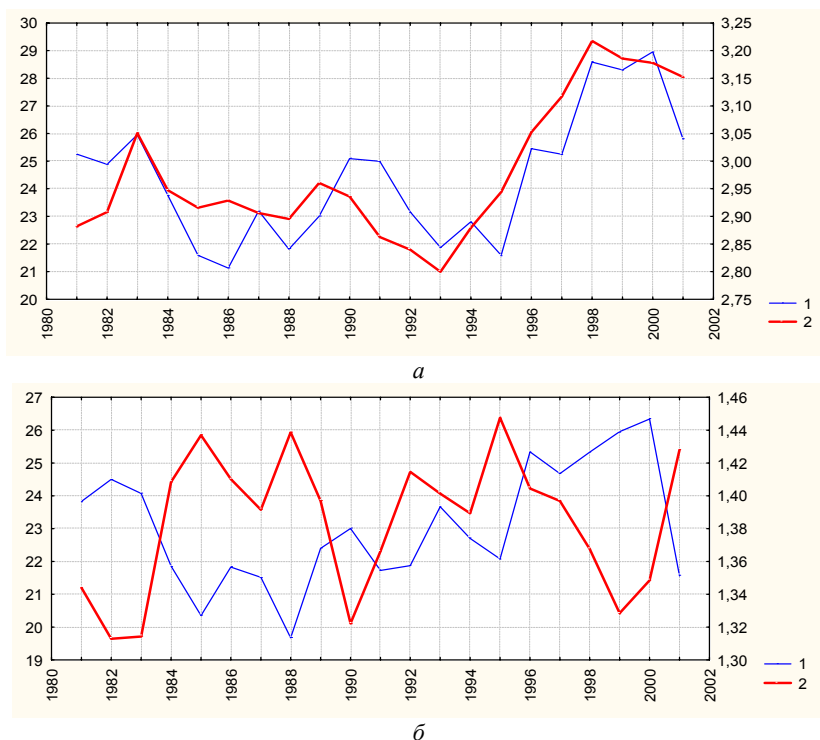


Рис. 8. Сопоставление пятилетних скользящих средних значений меридиональных разностей давления за зимний период по 240° и ледовитости за зимний период в море Росса (а) и меридиональных разностей давления за зимний период по 210° и ледовитости за зимний период в море Беллинсгаузена (б)

В Атлантическом секторе Южного океана выполнить подобное сопоставление у нас не было возможности. Поэтому мы провели сопоставление изменений ледовитости моря Уэдделла с зональной разностью давления между 0 и 30° з.д. по 60° ю.ш. Отрицательные значения указывают на воздушный поток с юга на север, т.е. от Антарктиды в океан. Как видно из рис. 9, при усилении потока воздушных масс с Антарктического континента ледовитость моря Уэдделла (находящегося на западе Атлантического сектора) увеличивается.

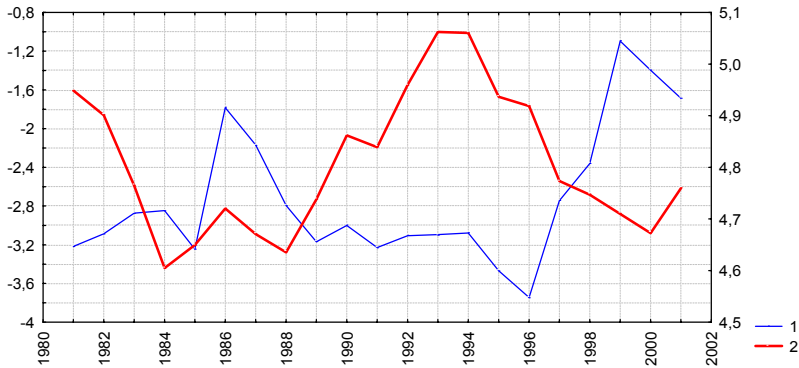


Рис. 9. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений разностей давления по широте 60° ю.ш. на западе Атлантического сектора Антарктики (1) и ледовитости моря Уэдделла (2) за зимний период

Таким образом, можно сделать общий вывод о том, что при усилении циркуляции атмосферы в южном полушарии на западе Атлантического, Индоокеанского и Тихоокеанского секторов ледовитость морей у побережья Антарктиды возрастает, а на востоке секторов – уменьшается. При ослаблении интенсивности циркуляционных циклонических структур картина меняется на обратную. Полученный результат находится в полном согласии с закономерностями связи циркуляции атмосферы и ледовых условий в северном полушарии.

### Литература

1. Визе В.Ю. Гидрологический очерк моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Материалы комиссии по изучению Якутской АССР, вып. 5. – Л.: Изд-во АН СССР, 1926. – 86 с.
2. Метеорология Южного полушария. Ред. Ч. В. Ньютон. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 260 с.
3. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб., изд-во РГГМУ, 1998. – 121 с.
4. Смирнов А.Н., Смирнов Н.П. Колебания климата и биота Северной Атлантики. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. – 149 с.
5. Смирнова Н.Ф., Смирнов Н.П. Атлантическая треска и климат. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2000. – 220 с.
6. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004. – 217 с.
7. Meinarodus W. Liber einige meteorologisch bezinchnungen Zwischen olem Nordatiantischen Ocean und Europa im winter-halbjahr. Meteor. Z., 15, 1898, 85–105.
8. Schott G. Liber die Grenzen die Grenzen das Treibeises bei der Neufundlandbank, sowie uber eine Beziehung Zwischen Neufundlandischem und Ostgronlandischem Treibeis. Annalender Hydrographie, Hf VII, 1904, 305 p.

**Ключевые слова:** изменчивость, ледовый покров Южной полярной области, атмосферная циркуляция.