

# **ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ АТМОСФЕРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НАД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКОЙ И ЛЕДОВЫМИ УСЛОВИЯМИ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ**

*А.В. Федоренко*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации*

*alfed@metcom.ru*

## **Введение**

Балтийское море, включая Финский залив, расположено в умеренном поясе и имеет водообмен через проливы с Атлантическим океаном. Акватория Балтийского моря в основном характеризуется климатом умеренных широт, но вместе с тем рядом его заливов, особенно Финскому, свойственны некоторые черты континентального климата. В зимних условиях влияние холодных материковых воздушных масс может приводить к штормам и быстрому нарастанию толщины ледового покрова. Резкие понижения температуры воздуха могут охватывать период от двух-трех суток до недели и более, происходить на протяжении всего холодного сезона и повторяться в течении ряда лет.

В статье исследуются колебания температуры воздуха как внутри холодного сезона, так и межгодовые, а также связанных с ними ледовых условий. Рассмотрены условия вторжения холодных воздушных масс из Гренландии и Карского моря, а также влияние глубоких атлантических циклонов на возникновение блокирующего эффекта над Северной Атлантикой.

## **Исходные материалы**

В работе использованы данные о зимних ледовых и температурных условиях в Финском заливе с 2000 по 2012 год, значения атмосферного давления в центрах действия атмосферы, а также индексы атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и Северной Европой за 1950-2012 гг. (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>) и поля реанализа: NCEP/NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov>).

## **Особенности синоптических условий зим различной суровости**

Одним из известных методов типизации зим различной суровости на Балтийском море и наглядно иллюстрирующим особенности зимней атмосферной циркуляции в них является

метод, предложенный В.В. Бетиним, который выделял мягкие, умеренные и суровые зимы [2].

В мягкие зимы основной антициклон от Гренландии смещается в район центральной Европы через Северное море, захватывая в своей восточной периферии южную часть Балтийского моря. В этом случае холода могут быть значительными, но не продолжительными. Зимы при этом характеризуются прерывистыми процессами ледообразования.

В умеренные зимы выделяется два подтипа процессов. При первом Гренландский антициклон (юго-восточный отрог) оказывает непосредственное влияние на весь район Балтийского моря. Процессы, развивающиеся по этому подтипу, носят более устойчивый характер и приводят к формированию устойчивого ледового покрова Балтийского моря и Финского залива. Ко второму подтипу относятся процессы, при которых отрог антициклона охватывает обычно только северную часть Балтийского моря, главным образом Ботнический и Финский заливы. В это время само море и Датские проливы находятся под преимущественным влиянием циклонических воздействий.

Ледовитость Балтийского моря бывает особенно значительной в суровые зимы при распространении полярного антициклона из района Шпицбергена на юг. При этом происходят значительные и устойчивые похолодания. В некоторых случаях похолодание в районе Балтийского моря вызывается вторжением антициклонических систем с Карского моря через Финляндию [2]. В этих случаях формируются экстремально сложные условия для судоходства.

Еще один метод типизаций зим может быть основан на использовании индекса североатлантического колебания (САК). Положительные значения этого индекса свидетельствуют о зональной циркуляции в средней тропосфере, повышении температуры воздуха над Северной Европой, уменьшении ледовитости Балтийского моря и толщины льда, а отрицательные значения – о преобладании меридиональной циркуляции, понижении температуры воздуха, увеличении ледовитости и толщины льда в Балтийском море [1].

### **Зимние процессы над Балтийским морем**

В таблице представлены данные о наиболее резких похолоданиях (понижение температуры воздуха зимой на 10 °С и более) в районе Финского залива в 1999-2012 гг. Обозначения в таблице:  $T_{min}$  – минимум среднесуточной температуры воздуха в Санкт-Петербурге, °С;  $\Delta L$  – увеличение ледовитости в дни резкого похолодания, %. Изменение ледовитости, равное нулю, означает, что в момент похолодания ледовитость моря составляла 100 %.

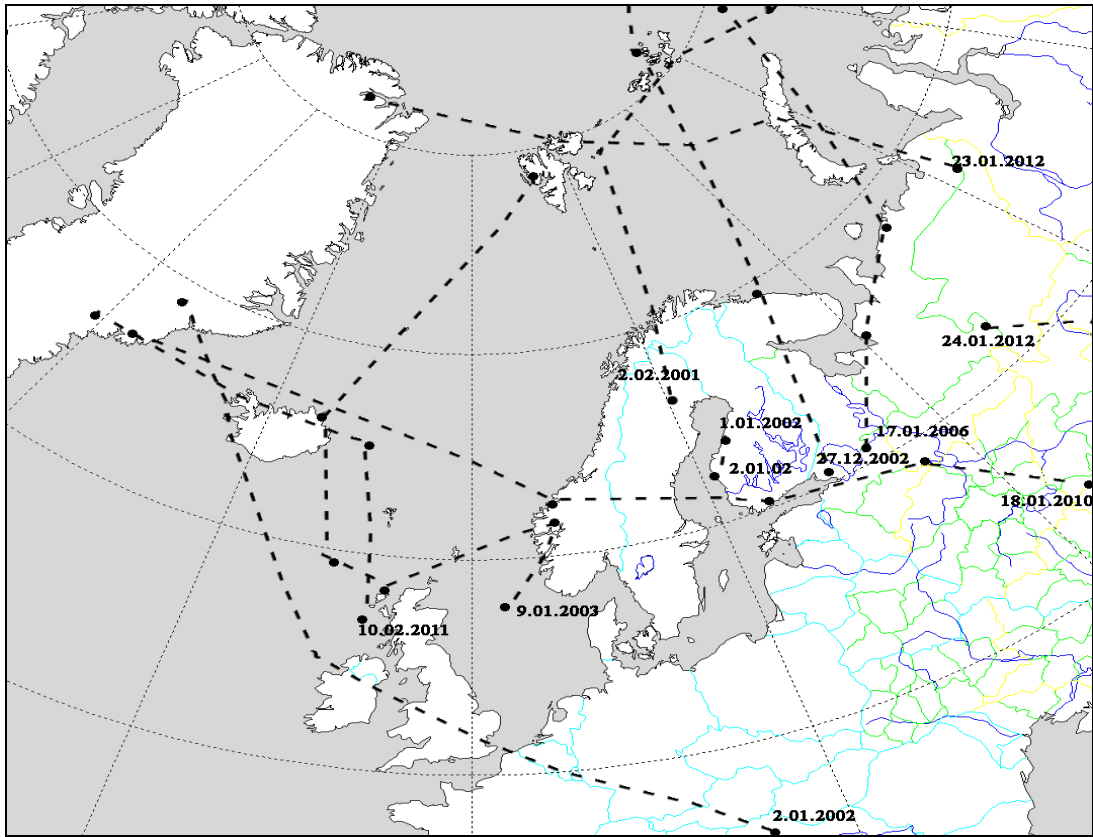
Данные о резких похолоданиях в районе Финского залива в зимы 1999-2012 гг.

Дата	T <sub>min</sub> , °C	$\Delta L$ , %	Синоптические причины похолодания
2.02–5.02.01	–22,9	+22	Антициклон из района Шпицбергена
1.01–3.01.02	–22,0	+12	Антициклон над Северным морем
27.12.02–7.01.03	–25,3	+10	Антициклон из района Шпицбергена
9.01–12.01.03	–26,4	0	Антициклон над Северным морем
17.01–23.01.06	–27,1	+26	Антициклон из района Карского моря
18.01–28.01.10	–24,4	+14	Антициклон из района Скандинавского п-ва
10.02–25.02.11	–25,4	+17	Антициклон над Северным морем
23.01–13.02.12	–22,2	+60	Антициклон из района Карского моря
19.02–25.02.07	–19,1	+58	Антициклон из района Шпицбергена

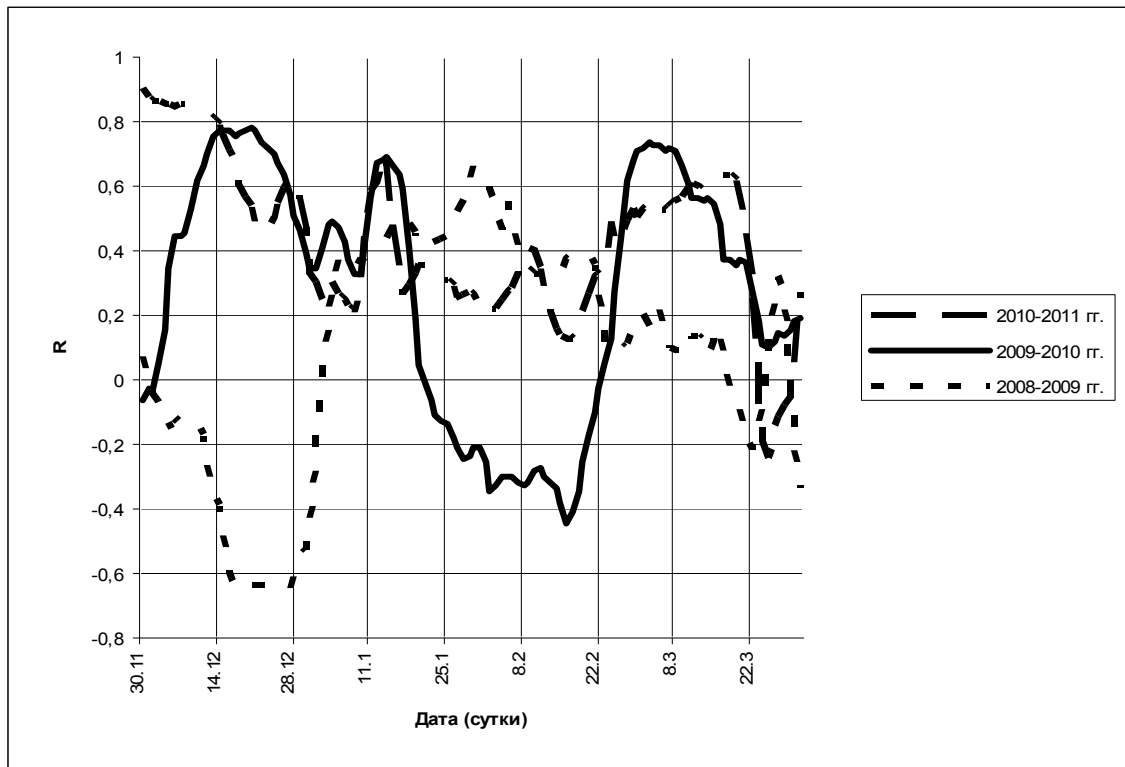
За рассматриваемый период было выявлено 9 случаев резкого (более, чем на 10 °C за сутки) понижения температуры воздуха в Санкт-Петербурге. Из них 4 случая имели в качестве непосредственной причины блокирующий антициклон над Северной Атлантикой и прилегающей территорией, включая Скандинавский полуостров. Во всех остальных случаях выходу на Балтийское море отрогов антициклонов с Баренцева и Карского морей также предшествовало обширное блокирование над Северной Атлантикой. Для иллюстрации на рис. 1 представлены центры расположения антициклонов или их отрогов с приблизительной траекторией их перемещения за три дня до появления в области Балтийского моря. Наибольшие изменения ледовитости Финского залива были вызваны антициклонами из арктических районов.

Похолодания на Балтийском море тесно связаны с крупномасштабными атмосферными процессами над Северной Атлантикой. В настоящее время связь индекса САК, характеризующего эти процессы, с температурой воздуха в Северной Европе детально изучена во многих публикациях (см., например, [5]). Однако в районе Финского залива, как видно из рис. 2, такая зависимость не всегда проявляется.

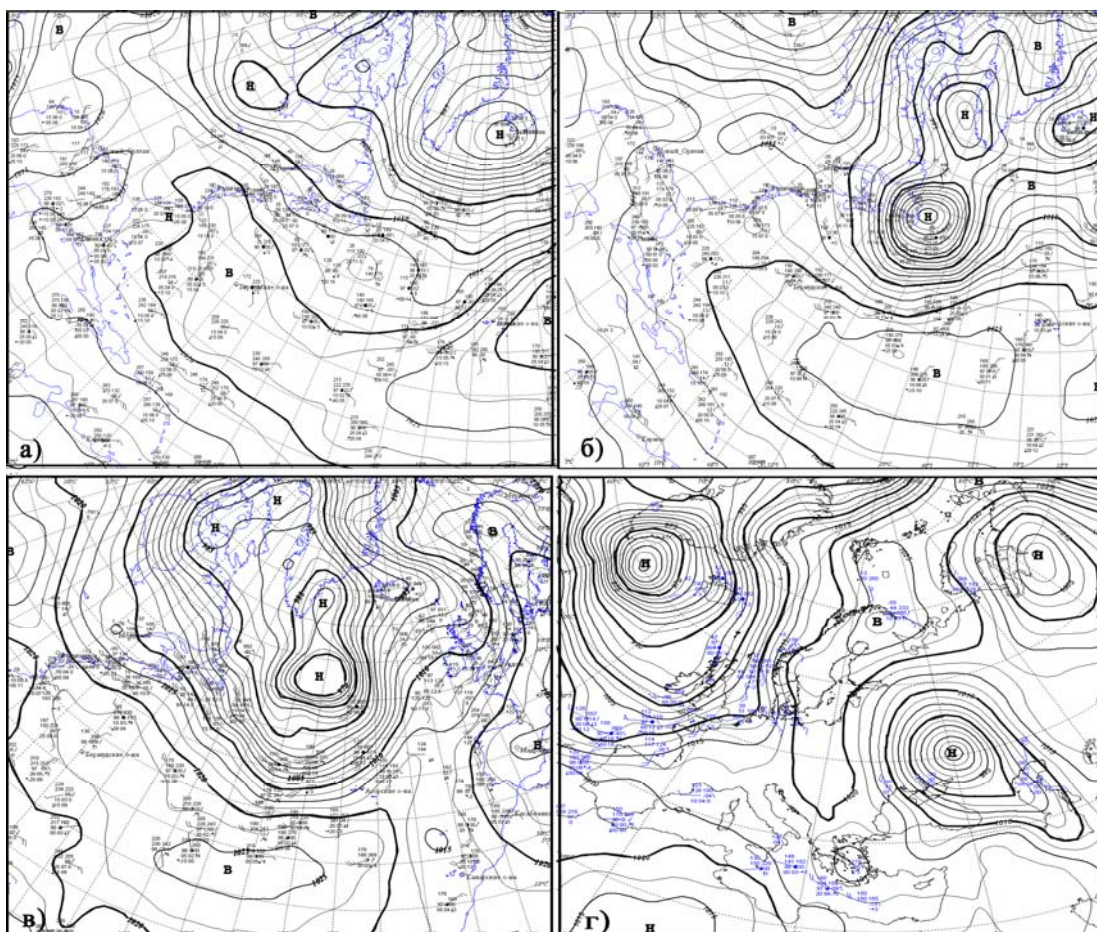
Рассмотрим влияние атмосферных процессов над Северной Атлантикой на похолодания в районе Балтийского моря. На рис. 3 изображено развитие блокирующего процесса над Северной Атлантикой в феврале 2011 года, вызвавшего долговременное выхолаживание территории всей Европейской территории России.



**Рис. 1. Траектории антициклонов, вызвавших резкое похолодание в восточной части Балтийского моря.**



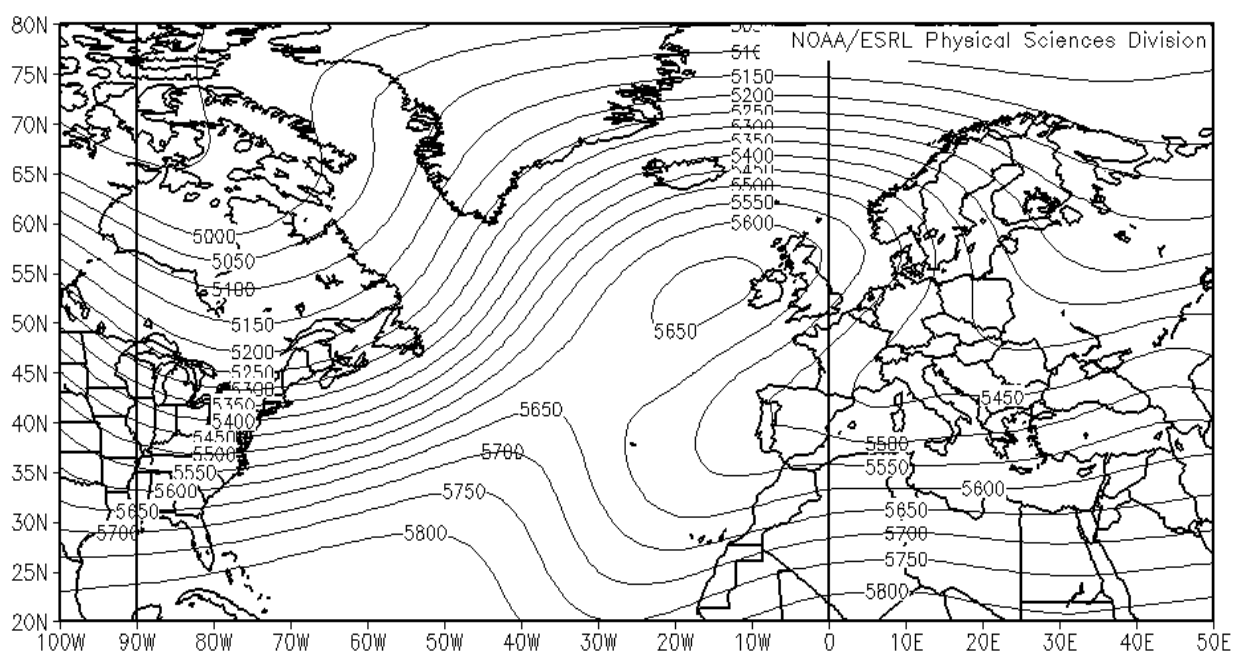
**Рис. 2. 30-суточный скользящий коэффициент корреляции между суточными значениями индекса САК и температурой воздуха в Санкт-Петербурге в холодные сезоны 2008–2011 гг.**



**Рис. 3. Развитие блокирующего процесса в тропосфере над Северной Атлантикой и Восточной Европой 5–17 февраля 2011 гг.: 5 февраля 2011 г. (а); 7 февраля 2011 г. (б); 10 февраля 2011 г. (в); 13 февраля 2011 г. (г);**

5 февраля (рис. 3а) в районе атлантического побережья Флориды произошло зарождение молодого циклона, к северо-востоку от которого наблюдается хорошо выраженный отрог Азорского антициклона, вытянутый в северо-западном направлении. При дальнейшем быстром углублении циклон вышел в Северную Атлантику. Перед ним по-прежнему сохранялся обширный отрог, при этом во всей толще тропосферы наблюдался интенсивный вынос тепла с юго-востока на северо-запад. Адвекция тепла в средней тропосфере привела к вытягиванию на юг приземного гребня над Гренландией, и 7 февраля 2011 г. над Северной Атлантикой возник блокирующий антициклон, который продолжал смещаться на северо-восток в сторону Скандинавского полуострова (рис. 3б). Образование антициклона над Скандинавским полуостровом привело к вторжению в район Балтийского моря арктических воздушных масс, вслед за которым 13 февраля 2011 г. установился многодневный перенос ядер высокого атмосферного давления из центральной Арктики на юг и юго-запад, в район южной Европы (рис. 3г).

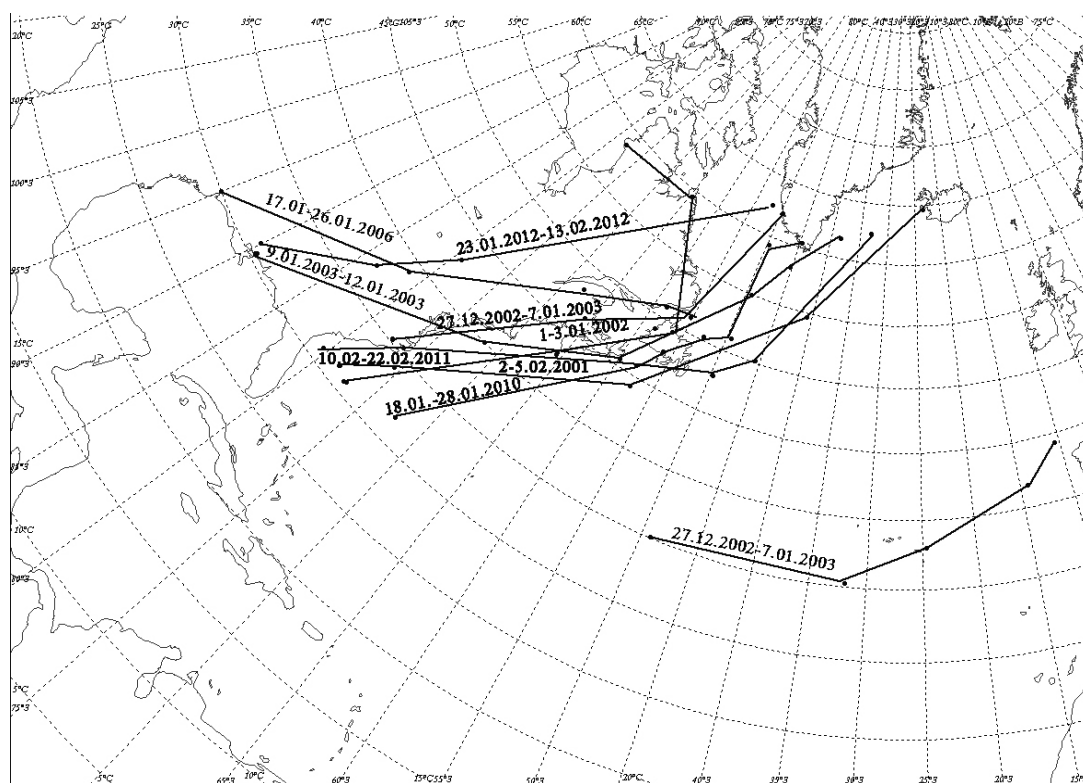
В конце января 2011 г., т.е. еще за 10 суток до похолодания, над Северной Атлантикой наблюдался высотный гребень, вытянутый из субтропической зоны на Скандинавский полуостров (рис. 4). Наличие этого гребня согласуется с данными статьи [4], где описан механизм образования блокирующего антициклона в результате нелинейной неустойчивости волн Россби, приводящей к их опрокидыванию. Исходным возмущением для развития неустойчивости могут являться синоптические вихри. Нелинейность неустойчивости означает, что большую роль играет нелинейный обмен энергией как с волнами сравнимых длин (крупномасштабными), так и с синоптическими вихрями, которые могут питать блокинг своей энергией, а могут ослабить его [4]. Согласно работе [6], значимость вклада синоптических вихрей в развитие блокирующего антициклона зависит от амплитуды планетарных волн, а также от свойств синоптических вихрей.



**Рис. 4. Барическое поле АТ-500 20–30 января 2011 г.**

Таким образом, можно сделать предположение о “триггерном” эффекте, когда возмущение в юго-западной, периферийной части Азорского антициклона, вызванное прохождением быстро углубляющихся циклонов, приводит к формированию крупномасштабного блокирования в Северной Атлантике и далее к процессам интенсивного похолодания в Европе.

На рис. 5 представлены траектории циклонов, которые в конечном счете явились причиной похолоданий в районе Финского залива в зимы 2001-2012 гг.



**Рис. 5. Траектории циклонов, явившихся причиной похолоданий в районе Финского залива в зимы 2001-2012 гг. (цифрами отображены даты похолоданий).**

Не все циклоны, наблюдающиеся над Северной Атлантикой, приводят к формированию блока над Скандинавским полуостровом. Циклоны, образовавшиеся над Атлантикой севернее  $40^{\circ}$  с. ш. или над американским континентом, – это обычно обширные и быстро окклюдирующиеся образования, которые не несут в себе такого количества тепла, как быстро углубляющиеся циклоны, вышедшие из района Саргассова моря. В передней части “южных” циклонов происходит активный вынос тепла, прослеживаемый на картах АТ-500, что является одним из факторов, вызывающих распространение области высокого давления, находящейся перед циклоном. Схожая картина наблюдалась в дни, предшествующие всем выявленным резким понижениям температуры воздуха в районе Финского залива.

Таким образом, формированию резких похолоданий в восточной части Балтийского моря способствуют следующие процессы: 1) образование высотного гребня, вытянутого из субтропической Атлантики на север и северо-восток (в район Норвежского моря), 2) перемещение на северо-восток подвижных и глубоких циклонов из районов субтропической зоны Северной Атлантики, 3) наличие на приземной карте гребня перед выходящим из субтропической зоны циклоном, 4) развитие антициклона над Гренландией, 5) развитие антициклона в западной части Карского моря и над полярным Уралом. Первые три процесса наиболее скоротечны, они длятся 2–4 суток, остальные могут длиться от 5–7 до 10 суток и

более. Следует отметить, что резкие похолодания на юге Европейской территории России также связаны с развитием блокирующего антициклона над Скандинавским полуостровом [3].

### **Заключение**

На изменчивость ледовых условий в Финском заливе влияет развитие атмосферных процессов в Северной Атлантике, а именно перемещение на северо-восток глубоких циклонов из субтропической зоны Северной Атлантики, сопровождающееся интенсивной адвекцией тепла в тропосфере. Это приводит к распространению на юг области высокого давления из Гренландии и формированию гребня над Северной Атлантикой, который, продолжая смещаться на северо-восток, способствует формированию антициклона над Скандинавским полуостровом и последующим вторжениям холодных воздушных масс на акваторию Балтийского моря.

### **Список использованных источников**

1. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: РГГУ, 1998. – 103 с.
2. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Балтийском море / под ред. Гордиенко П.А.– Л.: Гидрометеиздат, 1979.– 39 с.
3. *Федоренко А.В.* Исследование связи между атмосферными процессами над Скандинавским полуостровом и ледовыми условиями на Азовском море // Труды Гидрометцентра России.– 2011. – Вып. 345. – С. 105–117.
4. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующий антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 11. – С. 5–16.
5. *Johansson A. et al.* On the level and origin of seasonal forecast skill in Northern Europe // J. Atm. Sci. – 1998. – Vol. 55. – No. 1. – P. 103–127.
6. *Luo D., Liu J., Li J.* Interaction between planetary-scale diffluent flow and synoptic-scale waves during the life cycle of blocking // Adv. Atmos. Sci., 2010. – Vol. 27. – No. 4. – P. 807–831.

*Поступила в редакцию 15.04.2012 г.*