

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ АТМОСФЕРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НАД СКАНДИНАВСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ И ЛЕДОВЫМИ УСЛОВИЯМИ НА АЗОВСКОМ МОРЕ

А.В. Федоренко

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
alfed@mecom.ru

Введение

Прогноз параметров ледового покрова представляет большой практический интерес для судоходства, т.к. учет прогнозируемых ледовых условий существенно уменьшает риск плавания во льдах и оптимизирует использование ледоколов [1]. Известно, что ледовый покров морей юго-востока Европы характеризуется высокой изменчивостью как в многолетнем ходе, так и в отдельно взятом сезоне, и зависит от преобладающих гидрометеорологических условий. На ледовый режим этих морей влияют барические образования, обусловленные атмосферной циркуляцией в средней и верхней тропосфере, которая в свою очередь определяется крупномасштабным взаимодействием атмосферы и океана.

Ранее в работах по синоптико-статистическим методам прогноза ледовых условий было показано, что экстремально суровые зимы в бассейне Черного, Азовского и Каспийского морей возникают при преобладании в осенне-зимний период меридионального характера атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и Европой, а экстремально теплые – при усилении зональной циркуляции. Например, преобладание меридиональной циркуляции в предзимье (ноябрь) с большой вероятностью указывало на формирование в январе отрицательной аномалии температуры воздуха на Европейской территории России (ЕТР) [4].

Впоследствии характер таких связей уточнялся, использовались новые предикторы, такие как аномалии температуры воды в Северной Атлантике, положение и интенсивность центров действия атмосферы (ЦДА), тепловой баланс Северной Атлантики, положение высотных фронтальных зон и др.

В данной статье исследуется связь характера зим на морях юго-востока Европы с блокирующими антициклонами на северо-западе Европы, которые при своем возникновении

не только нарушают западно-восточный перенос в средней тропосфере, но и выносят холодные воздушные массы с севера, северо-запада и северо-востока далеко на юг.

Исходные материалы

В работе были использованы данные о ледовых и температурных условиях зим в регионе Азовского моря с 2001 по 2010 г., об атмосферном давлении в ЦДА из архива Отдела морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра России, а также индексы атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и северной Европой за 1950-2010 гг. [8] (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>).

Оценка влияния блокирующих антициклонов на северо-западе Европы на зимние условия Азовского моря

Развитие блокирующего антициклона над Скандинавским полуостровом может оказывать воздействие как на суровость зим, так и на ледовые условия морей юго-восточной Европы. Связь температуры воздуха, ледовитости и толщины льда с колебаниями атмосферного давления над Скандинавским полуостровом наблюдается на периодах от нескольких суток до месяцев, а потому может быть важным фактором в понимании роли атмосферных процессов в формировании зим различной степени суровости. В качестве примера исследуется суровость зим и ледовые условия на Азовском море.

Для предварительного анализа влияния макромасштабных атмосферных процессов на температурные и ледовые условия зим на Азовском море из имеющегося ряда данных по температуре и атмосферному давлению были выбраны 10 последних зим (2000–2010 гг.) За этот ряд лет по подсчитанным суммам градусодней мороза было выявлено, что две зимы были мягкие, две – близкие к суровым, шесть – умеренные. По температурным условиям это распределение оказалось близким в процентном отношении к распределению всех зим, данные по которым хранятся в архиве Гидрометцентра России (1881–2011 гг.).

На рис. 1 представлены временные ряды температуры воздуха на станции Ростов-на-Дону в зимы 2004–2005 гг. (зима мягкая) и 2002–2003 гг. (зима, близкая к суровой).

На кривых рис. 1 можно проследить основное различие между мягкими и суровыми зимами на Азовском море (как и вообще на всех морях юго-востока Европы). В мягкие зимы резкие межсуточные изменения температуры воздуха наблюдаются реже, чем в суровые. Изменчивость температуры воздуха слабая и не превышает $\pm 5-7$ °C за 3–5 суток. Эти колебания связаны с частым прохождением атлантических и средиземноморских циклонов, в

передней части которых наблюдается рост температуры воздуха, а в тыловой части, за холодным фронтом – снижение, связанное с адвекцией холодного воздуха с северо-запада. Циклоны часто проходят сериями, а потому колебания температуры относительно небольшие, но частые.

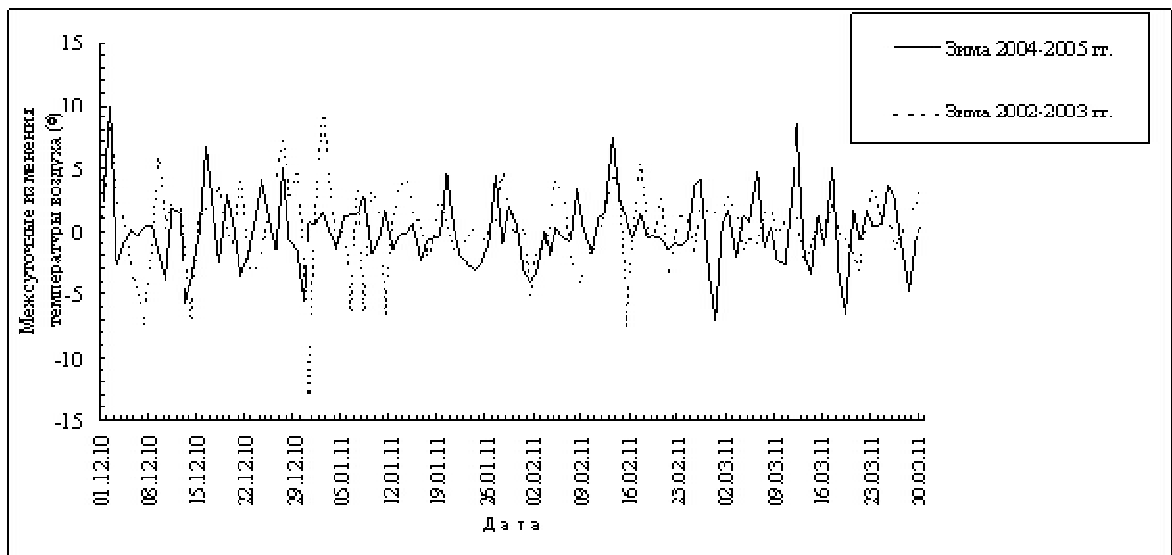


Рис. 1. Межсуточная изменчивость температуры воздуха в Ростове-на-Дону зимой 2004-2005 (зима мягкая) и 2002-2003 гг. (зима, близкая к суровой).

Совсем иначе обстоит дело с суровыми зимами. Температура воздуха может за 2–3 суток снизиться от 0 °С до минус 15–20 °С, затем подняться на 10° и снова снизиться на эту же величину. Такая изменчивость объясняется прохождением обширных антициклонов, когда воздух над югом ЕТР выхолаживается как за счет адвективного затока холодного воздуха с севера и северо-востока и радиационного выхолаживания в ночное время, так и блокирующего воздействия обширных антициклонов на весь западно-восточный перенос в средней тропосфере. Колебания температуры не столь частые, как в мягкую зиму, но более интенсивные. Подробный анализ одной из таких зим (2007–2008 гг.) приведен в статье [6].

В табл. 1 представлены даты наиболее выраженных понижений температуры воздуха (более 5 °С за сутки) в Ростове-на-Дону, изменение ледовитости Азовского моря в эти периоды и синоптические причины, вызвавшие эти явления. Обозначения в таблице: T_{min} – минимальная среднесуточная температура воздуха в рассматриваемый интервал времени (°С); ΔL – изменение ледовитости Азовского моря (%); - – отсутствие данных; 0* – ледовитость моря не менялась, так как составляла 100 %.

За зимы 2000–2010 гг. выявлено 28 случаев сильных и относительно кратковременных изменений температуры воздуха в Ростове-на-Дону. Из них 28 % случаев вызваны выходом на ЕТР западного отрога Сибирского антициклона, 21 % – выходом на ЕТР антициклона с Северного моря, 1 % – выходом на ЕТР восточного отрога Азорского антициклона. Однако большинство случаев (50 %) быстрого понижения температуры воздуха и наибольшего развития ледового покрова Азовского моря были связаны с развитием и смещением на юг ЕТР антициклона, сформировавшегося над Скандинавским полуостровом.

Таблица 1

Связь изменения температуры воздуха в Ростове-на-Дону и ледовитости Азовского моря с макромасштабными атмосферными процессами

Дата	T _{min} , °C	ΔL, %	Синоптические причины
19.01–24.01.01	–9,1	+55	антициклон над Скандинавским п-вом
06.02.–08.02.01	–8,2	-	западный отрог Сибирского антициклона
11.12.–20.12.01	–12,9	+70	антициклон над Северным морем
02.01.–09.01.02	–18,3	0*	антициклон над Скандинавским п-вом
08.12.–13.12.02	–16,3	+80	антициклон над Скандинавским п-вом
15.12.–18.12.02	–15,4	0*	антициклон над Скандинавским п-вом
22.12.–27.12.02	–12,9	0*	антициклон над Скандинавским п-вом
09.01.–14.01.03	–8,7	0*	антициклон над Скандинавским п-вом
11.02.–14.02.03	–12,9	0*	западный отрог Сибирского антициклона
21.02.–26.02.03	–10,2	0*	антициклон над Скандинавским п-вом
15.02.–18.02.04	–6,1	+4	антициклон над Северным морем
21.02.–23.02.04	–8,4	-	антициклон над Северным морем
14.12.–17.12.04	–8,8	+6	антициклон над Северным морем
01.02.–13.02.05	–14,1	+63	западный отрог Сибирского антициклона
05.01.–09.01.06	–12,0	+24	антициклон над Скандинавским п-вом
17.01.–28.01.06	–23,0	+76	антициклон над Скандинавским п-вом
06.02.–10.02.06	–18,0	0*	антициклон над Скандинавским п-вом
21.12.–23.12.06	–5,0	-	антициклон над Северным морем
27.01–02.02.07	–8,7	-	антициклон над Северным морем
21.02–27.02.07	–8,6	+20	антициклон над Скандинавским п-вом
28.12.07–13.01.08	–16,8	+95	антициклон над Скандинавским п-вом
25.12.08–08.01.09	–17,0	+60	антициклон над Скандинавским п-вом
11.01.–13.01.09	–12,0	+12	восточный отрог Азорского антициклона
21.02.–23.02.09	–8,4	+5	западный отрог Сибирского антициклона
14.12.–18.12.09	–11,2	–	западный отрог Сибирского антициклона
22.12.–23.12.09	–8,1	+7	западный отрог Сибирского антициклона
03.01–07.01.10	–7,6	-	западный отрог Сибирского антициклона
16.01–27.01.10	–17,9	+90	антициклон над Скандинавским п-вом

За весь рассматриваемый период было отмечено 16 случаев кратковременного увеличения ледовитости моря: в четырех случаях увеличение ледовитости от 5 до 20 % связано с развитием отрога Сибирского антициклона и выходом антициклона с Северного моря, в одном случае – с развитием антициклона над Скандинавским полуостровом. Из восьми случаев, когда ледовитость увеличивалась более чем на 50 % в течение 2–5 дней, шесть определялись развитием антициклона над Скандинавским полуостровом. Следует отметить, что даже в тех случаях, когда на Азовское море выходил восточный отрог Сибирского антициклона, ему предшествовал слабый антициклогенез над Скандинавским полуостровом или Северным морем.

Таким образом, предварительный анализ выявил значительную роль антициклогенеза над Скандинавским полуостровом в развитии ледовой обстановки на Азовском море.

Обнаруженная зависимость не исчерпывается синоптическим масштабом (1–5 суток). Она проявляется и в связи многолетних колебаний температуры воздуха, сумм градусодней мороза, ледовитости и толщины льда на Азовском море с атмосферным давлением на станциях, близких к центру формирования антициклона над Скандинавским полуостровом (в качестве такой станции взят Санкт-Петербург).

В табл. 2-3 представлена зависимость температурных и ледовых условий зим на Азовском море от циркуляционных параметров нижней и средней тропосферы, характеризуемой индексами, такими как NAO (североатлантическое колебание), EA/WR (колебание Восточная Атлантика – Западная Россия), SCAND (скандинавское колебание, характеризующее барический градиент между Скандинавским полуостровом и югом Европы), и их составляющими в поле приземного атмосферного давления в ЦДА, как постоянных (Исландская депрессия и Азорский антициклон), так и сезонных (Сибирский антициклон), и атмосферным давлением в Санкт-Петербурге. Все данные среднемесячные. Изучению связей индексов атмосферной циркуляции и гидрометеорологических полей в Атлантико-Европейском регионе посвящены многочисленные работы (см., например, [2, 5, 9]).

Обозначения в табл. 2-3: t – температуры воздуха в Ростове-на-Дону, °C; L – ледовитость, %, Азовского моря и H – толщина льда, см; и R – коэффициент корреляции; $\pm\sigma$ – ошибка вычисленного коэффициента корреляции R .

Атмосферное давление в Санкт-Петербурге является вполне репрезентативным для характеристики блокирующего антициклона над севером Европы. На рис. 2 видно, что в

зимы 2000-2010 гг. центры блокирующих антициклонов группировались на сравнительно небольшой территории.

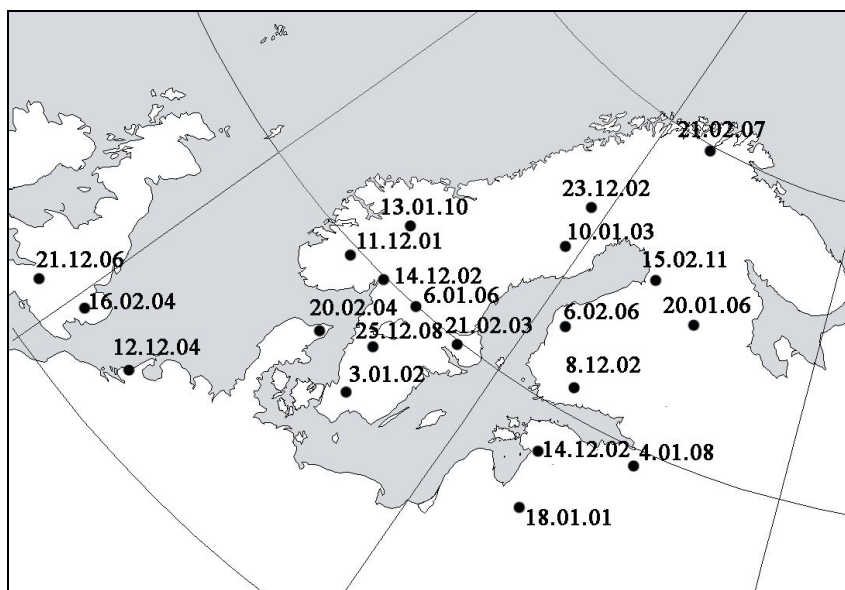


Рис. 2. Центры блокирующих антициклонов в зимы с 2000–2010 гг. (цифры – даты максимального развития антициклонов).

Так как блокирующие антициклоны достаточно крупные образования [7], то Санкт-Петербург во всех отмеченных случаях попадал под их влияние, даже в тех случаях, когда центры антициклонов располагались по другую сторону Балтийского моря. Кроме того, данные по Санкт-Петербургу охватывают значительный ряд лет: по атмосферному давлению – с 1936 г., по температуре – с 1744 года.

В табл. 2 показан вклад индексов циркуляции атмосферы над Европой и проявление их многолетних колебаний в некоторых параметрах зим на Азовском море в январе.

Результаты анализа данных за январь следующие.

1. Прямого влияния североатлантического колебания и значений атмосферного давления в ЦДА его составляющих на суровость зим Азовского моря не обнаружено.

2. Слабое влияние на температуру воздуха и общую ледовитость моря оказывает зональная составляющая североатлантического колебания – индекс EA/WR. Для связи EA/WR с ледовитостью значения коэффициента корреляции положительны, для связи со средней температурой воздуха в январе – отрицательные. По-видимому, это свидетельствует о том, что при усилении широтной составляющей североатлантического колебания, на акваторию Азовского моря выходят окклюдивовавшиеся атлантические циклоны,

способствующие затоку холодных воздушных масс с северо-запада, что вызывает понижение температуры воздуха и увеличение ледовитости.

3. Наиболее тесные связи трех рассматриваемых параметров суровости зим на Азовском море отмечаются с индексом SCAND (Скандинавское колебание) и среднемесячным атмосферным давлением в Санкт-Петербурге. При увеличении среднемесячного давления в Санкт-Петербурге, а значит и положительных значений индекса SCAND, на акваторию Азовского моря проникают холодные воздушные массы с Кольского полуострова, Баренцева моря и из Скандинавии, тем самым резко понижая температуру воздуха, увеличивая ледовитость моря и толщину льда.

Таблица 2

Индексы циркуляции атмосферы и параметры зим на Азовском море в январе

Индекс		L, %, Азовское море		t, °C, Ростов-на-Дону		H, см, Мариуполь	
		R	±σ	R	±σ	R	±σ
Индексы ОЦА	NAO	-0,001	0,130	0,106	0,137	-0,133	0,137
	EA/WR	0,246	0,121	-0,423	0,124	0,052	0,137
	SCAND	0,366	0,112	-0,612	0,109	0,416	0,125
Давление в ЦДА	Исландская депрессия	0,041	0,130	-0,156	0,136	0,266	0,132
	Азорский антициклон	-0,100	0,130	0,256	0,133	-0,098	0,137
	Сибирский антициклон	-0,180	0,125	0,041	0,137	0,023	0,137
Давление в СПб		0,380	0,110	-0,700	0,066	0,520	0,094

Аналогичная таблица (табл. 3) построена для февральских значений всех вышеозначенных параметров.

Результаты корреляционного анализа данных за февраль почти повторяют предыдущие. Однако есть разница: в феврале учащается выход на ЕТР западного отрога Сибирского антициклона, что выражается в понижении температуры воздуха на акватории Азовского моря и увеличении ледовитости моря. При этом зачастую выходу этого отрога на ЕТР способствует образование над Скандинавским полуостровом антициклона, его смещение и объединение с более мощным Сибирским антициклоном. Среднемесячная температура воздуха не может характеризовать ледовые условия на морях юго-востока ЕТР. При одних и тех же среднемесячных температурах воздуха могут быть как слабые колебания

температуры, вызванные прохождением циклонов, так и сильные колебания, вызванные прохождением блокирующих антициклонов, что находит свое отражение в ледовой обстановке.

Таблица 3

Индексы циркуляции атмосферы и параметры зим на Азовском море в феврале

Индекс		L, %, Азовское море		t, °С, Ростов-на-Дону		H, см, Мариуполь	
		R	$\pm\sigma$	R	$\pm\sigma$	R	$\pm\sigma$
Индексы ОЦА	NAO	-0,077	0,128	0,097	0,137	-0,143	0,136
	EA/WR	0,048	0,129	-0,132	0,136	-0,281	0,132
	SCAND	0,310	0,117	-0,621	0,108	0,440	0,124
Давление в ЦДА	Исландская депрессия	0,078	0,128	-0,096	0,137	0,060	0,137
	Азорский антициклон	-0,052	0,129	0,074	0,137	-0,093	0,137
	Сибирский антициклон	0,352	0,113	-0,266	0,132	0,378	0,127
Давление в СПб		0,424	0,102	-0,743	0,058	0,496	0,065

В связи с тем, что значение индекса Скандинавского колебания хорошо описывает изменчивость температуры воздуха, ледовитости и толщины льда на Азовском море, а значит и на всех морях юго-востока Европы (Черном, Азовском и Каспийском), возникает вопрос о возможности долгосрочного прогноза столь важного параметра.

На основе анализа высотных термобарических полей на картах OT500/1000 А.Н. Крындиным (на примере ряда зим, среди которых была суровая зима 1953–1954 гг. и мягкая зима 1954–1955 гг.) был предложен ряд прогностических уравнений, представленных в статье [4]. Характерной особенностью термобарического поля, предшествующего суровым зимам, являлось развитие гребня тепла в восточной части Атлантики и ложбины холода на материке, что свидетельствовало о значительном преобладании меридиональной циркуляции в первом естественном синоптическом районе. Термобарическое поле предзимья 1954–1955 гг. характеризовалось зональной циркуляцией над Северной Атлантикой и Западной Евразией.

Из синоптической метеорологии известно, что для термобарического поля, наиболее благоприятного для зарождения и развития антициклона, характерен подвижный, температурно-асимметричный высотный гребень в тыловой части циклона [3]. Именно это поле наблюдалось на картах барической топографии зимой 1953–1954 гг. Исходя из этих соображений, за ряд лет с 1948 по 2010 г. по данным полей реанализа NCEP/NCAR были

построены изокорреляты, характеризующие влияние высотных термобарических полей над Атлантикой и прилегающими территориями в месяцы, непосредственно предшествующие зимам (ноябрь-декабрь), на суммы градусодней мороза на Азовском море.

На рис. 3 представлено поле изокоррелят между значениями приземного атмосферного давления над северным полушарием, осредненного за январь-февраль 1948–2009 гг., и значениями сумм градусодней мороза на Азовском море.

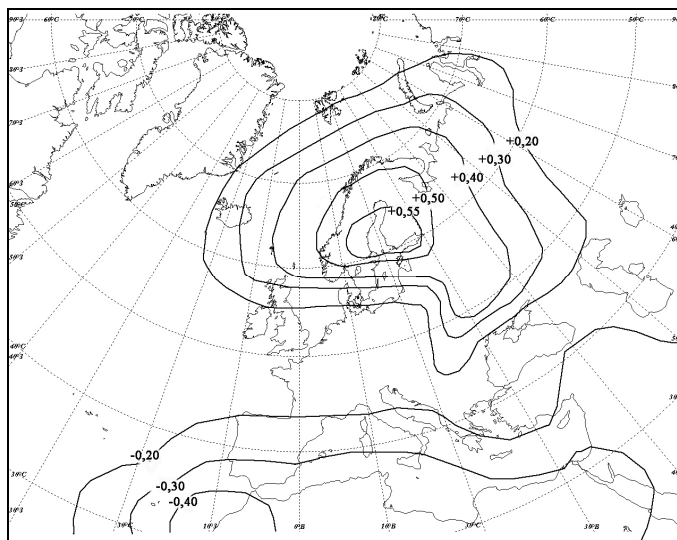


Рис. 3. Изокорреляты поля приземного атмосферного давления и сумм градусодней мороза в Ростове-на-Дону (1948–2009 гг.).

Как и ожидалось, высокие значения коэффициентов корреляции наблюдаются над районом Скандинавского полуострова (до +0,55). Низкие отрицательные значения коэффициента корреляции отмечены над Северной Африкой. Такую конфигурацию поля изокоррелят можно объяснить колебаниями Азорского антициклона. Когда отрог антициклона распространяется зонально вдоль Средиземного моря на восток, то Азовское море оказывается под влиянием северной периферии антициклона, где наблюдаются ветры южной и юго-западной составляющей, вызывающие увеличение температуры воздуха. Когда отрог Азорского антициклона вытянут в меридиональном направлении на север, это приводит к формированию блокирующего антициклона над Скандинавским полуостровом, по восточной периферии которого происходит интенсивный заток холодных воздушных масс с севера и северо-востока.

На рис. 4 представлены изокорреляты высотного поля АТ500 за предзимья (осредненные значения геопотенциала за ноябрь-декабрь) 1948–2009 гг. и сумм градусодней мороза за тот же период.

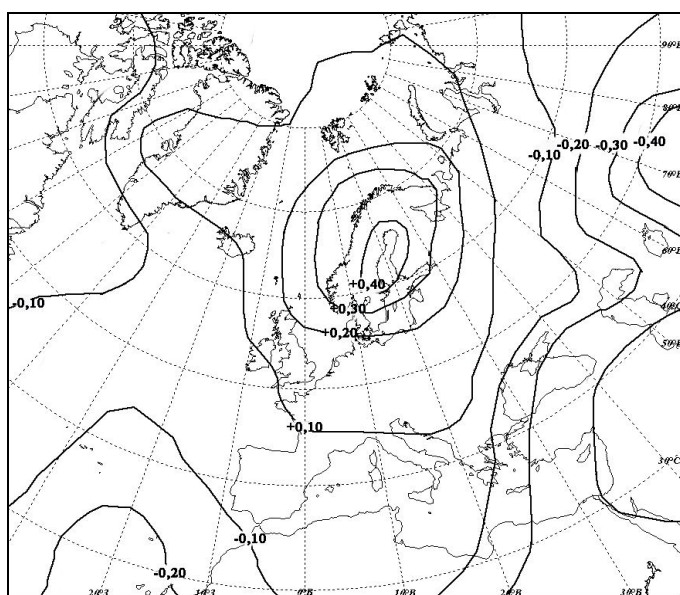


Рис. 4. Изокорреляты высотного барического поля в предзимье и сумм градусодней мороза в Ростове-на-Дону (1948–2009 гг).

Как и на предыдущей карте, значения коэффициента корреляции наиболее высоки над Скандинавским полуостровом. Это можно объяснить распространением высотного гребня от Азорских островов в северо-восточном направлении. Гребень тепла, сформировавшийся в предзимья, достаточно устойчив и в некоторой мере способен оказать влияние на формирование блокирующих антициклонов над Скандинавским полуостровом и Северным морем. Таким образом, поля атмосферного приземного давления и карты АТ500 могут быть включены в состав предикторов для долгосрочного прогноза суровости зим на юго-востоке Европы. Однако эти поля могут быть не единственными предикторами в долгосрочном прогнозе суровых зим на юго-востоке Европы. Поиск остальных предикторов продолжается.

Выводы

На замерзающих морях юго-востока Европы наблюдается сильная изменчивость ледовых и температурных условий не только между месяцами одного холодного сезона, но и внутри каждого месяца, эта изменчивость вызвана синоптическими причинами.

В большинстве случаев наиболее сильная изменчивость вызвана прохождением обширных антициклонов или гребней со Скандинавского полуострова и Северного моря. Влияние блокирующих антициклонов на ледовые условия зим на морях юго-востока Европы не ограничивается синоптическими масштабами. Влияние хорошо прослеживается и в

многолетней изменчивости ледовых и температурных условий зим, проявляясь не только у земной поверхности, но и в средней тропосфере. Такая высотная устойчивость барических образований дает возможность их использования как одного из предикторов в долгосрочном прогнозе ледовых условий зимой.

Список использованных источников

1. *Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С.* Оперативное океанографическое обслуживание. – Москва, 2009. – 287 С.
2. *Бардин М.Ю., Полонский А.Б.* Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период // Известия РАН. ФАО. – 2005. – Т. 41. – № 2. – С. 3–13.
3. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 301 с.
4. *Крындин А.Н.* Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на Черном и Азовском морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Труды ГОИН. – 1964. – Вып. 76. – С. 7–80.
5. *Нестеров Е.С.* О восточно-атлантическом колебании циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 12. – С. 32–40.
6. *Федоренко А.В.* Особенности ледового сезона 2007–2008 гг. на Азовском море // Труды Гидрометцентра России. – 2009. – Вып. 343. – С. 89–99.
7. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 11. – С. 5–18.
8. *Barnston A.G., Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Weath. Rev. – 1987. – Vol. 115. – No. 6. – P. 1083–1126.
9. *Scaife A.A. et al.* European climate extremes and the North Atlantic Oscillation // J. Climate. – 2008. – Vol. 21. – No. 1. – P. 72–83.

Поступила в редакцию 15.04.2011