

ПОХОЛОДАНИЯ НА АЗОВСКОМ МОРЕ И ОБЩАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ

А.В. Федоренко

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
avf8@yandex.ru*

Введение

Как известно, на Азовском море ежегодно отмечается ледообразование, тем не менее быстрая и частая смена зимней погоды влечет за собой крайнюю неустойчивость ледовых условий. Замерзание моря начинается с Таганрогского залива, после чего лед появляется на севере и северо-западе моря и вдоль побережья на юге. В суровые зимы серо-белым, тонким однолетним дрейфующим льдом покрывается все море; вдоль побережья моря и в Таганрогском заливе развивается припай, к окончанию зимы достигающий толщины 70–80 см. Однако и в мягкие зимы при кратковременных затоках холода начальными видами льда может покрываться все море; на севере моря и в Таганрогском заливе появляется серый с включениями серо-белого дрейфующий лед, толщина которого составляет от 10 до 30 см. Такие похолодания в силу их интенсивности могут сильно ухудшить ледовую обстановку в сравнительно короткие сроки. В [4] показано, что развитие блокирующего антициклона над Скандинавским полуостровом и сопредельными территориями является одним из главных факторов сильных похолоданий на юго-востоке Европы.

Резкие похолодания в районе Азовского моря

На рис. 1 представлены, как пример, резкие изменения ледовых условий в море в трех зимних периодах. Карты взяты из

Для большей наглядности данные о последствиях некоторых сильных похолоданий за последние 9 лет приведены в табл. 1, где дата указывает на начало похолодания и на срок создания ледовой карты после или во время похолодания; $t^{\circ}\text{min}$ – минимальная среднесуточная температура воздуха в Ростове-на-Дону при похолодании; ΔL (%) – изменение общей ледовитости от начала похолодания до даты рисования следующей карты; Δh (см) – изменение толщины припайного льда за те же сроки в районе Мариуполя; ΔH (км³) – изменение объема льда.

Таблица 1

Данные о резких похолоданиях в районе Азовского моря с 2006 по 2015 г.

Дата	$t^{\circ}\text{min}$, °C	ΔL , %	Δh , см	ΔH , км ³
10.1–24.1.2006	–21	76	18	67
20.2–27.2.2007	–12	16	нб	16
2.1–9.1.2008	–16	73	26	92
19.1–26.1.2010	–18	65	8	39
15.2–1.3.2011	–13	77	20	69
24.1–6.2.2012	–17	90	28	100
18.12–28.12.2012	–16	30	–	24
24.1–31.01.2014	–24	84	19'	56
5.01–10.01.2015	–24	30	7'	10

Примечание. «–» – нет данных; нб – припая не было»;
 «'» – данные по станции Таганрог.

Крупномасштабное блокирование в тропосфере Северного полушария в зимний период

На рис. 2 представлена карта расположения центров блокирующих антициклонов, вызвавших резкие и интенсивные похолодания на Азовском море за последние 20 лет.

Из рис. 2 следует, что центры блокирующих антициклонов, вызывающих сильные похолодания в Азово-Черноморском бассейне, располагаются в подавляющем большинстве случаев на обширной территории Восточной Европы, что в целом согласуется

с данными [3]. Следует отметить, что центры антициклонов на рис. 2 – это не самостоятельные барические структуры, а отроги крупномасштабных гребней, охватывающих все Северное полушарие.

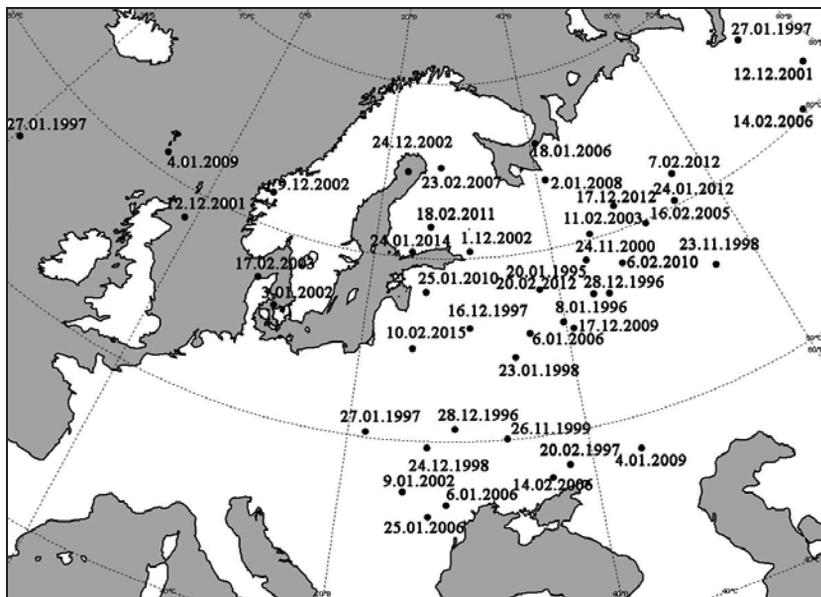


Рис. 2. Карта положения центров антициклонов в зимний период с 1995 по 2015 г.

За последние 20 лет было выявлено 10 типов крупномасштабного блокинга в тропосфере Северного полушария в зимний период (рис. 3). На рисунке черные линии проведены по барическим гребням, под каждым типом показан пример барического рельефа из архива реанализа NCEP [5].

Тип I. Азорский антициклон объединен с отрогом Тихоокеанского максимума; линия объединения проходит через Северную Америку, Гренландию, Баренцево море и выходит к Атлантическому океану через центральную Европу.

Тип II. Азорский антициклон объединен с отрогом Тихоокеанского максимума; линия объединения проходит через северо-запад

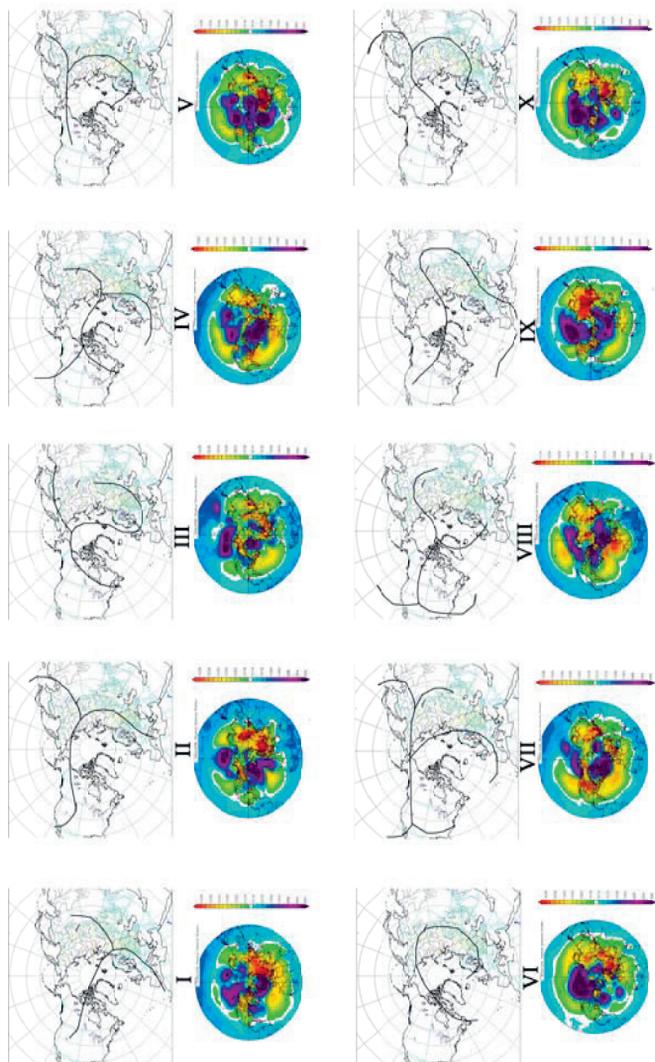


Рис. 3. Расположение крупномасштабных блокирующих систем в Северном полушарии зимой.

Северной Америки, Аляску, Новосибирские о-ва, север Сибири, Верхнюю Волгу, запад Средиземного моря.

Тип III. Западный отрог Сибирского антициклона распространяется на северо-запад Европы и в районе Скандинавского полуострова объединяется с отрогом Азорского антициклона, выходящим из Северной Атлантики на северо-запад в район Аляски.

Тип IV. Отроги Азорского антициклона и Тихоокеанского максимума объединены с антициклоном в районе на северо-востоке Европы; объединяющий гребень проходит через архипелаг Новая Земля.

Тип V. Отрог Тихоокеанского максимума через Сибирский антициклон объединен с отрогом антициклона над Гренландией.

Тип VI. Отрог Азорского антициклона в районе Новосибирских островов объединен с Сибирским антициклоном; с запада к этой системе примыкает отрог от антициклона, сформировавшегося над Скандинавским полуостровом.

Тип VII. Обширная блокирующая ось между Северной Америкой и Сибирью объединена с северо-восточным отрогом Азорского антициклона.

Тип VIII. Отрог Тихоокеанского максимума объединен с отрогом Азорского антициклона в районе к северу от Гренландии.

Тип IX. Отрог Тихоокеанского максимума распространяется на центральную Арктику; в районе Новой Земли соединяется с отрогом Сибирского антициклона и в районе Средиземного моря объединяется с Азорским антициклоном.

Тип X. Очень похож на тип V, но в крупномасштабную блокирующую систему включен не отрог Тихоокеанского максимума, а отрог Азорского антициклона, распространяющийся на северо-запад в район Аляски.

На рис. 4 показана диаграмма числа случаев всех десяти типов блокирования за 20 последних зим. Из рис. 4 следует, что наиболее часто наблюдается тип II, когда блокирование создают отроги Тихоокеанского максимума, северной периферии Сибирского антициклона и восточный отрог Азорского антициклона.

В силу того, что типы I, II, III, V, VIII, X имеют между собой основную общую черту, а именно антициклогенез между Северной Америкой и северо-востоком Евразии, их можно объединить в один тип, по образцу II; тогда на оставшиеся типы приходится 9 случаев из 47 сильных похолоданий в районе Азовского моря.

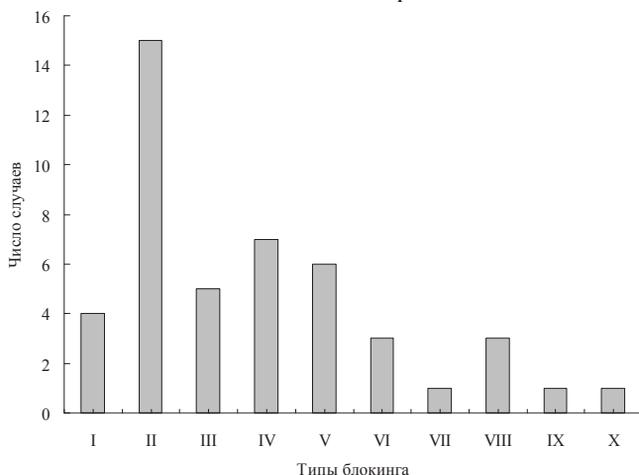


Рис. 4. Количество случаев крупномасштабного блокирования разных типов над Северным полушарием.

Для понимания физического механизма того, как антициклогенез над северо-востоком Северной Америки способствует антициклогенезу над северной Европой, следует рассмотреть этот процесс поэтапно.

На первом этапе происходит формирование высотных барических гребней между северо-востоком Евразии и полярными регионами Северной Америки. Это происходит как в силу адвекции тепла с Тихого океана при перемещении глубоких ложбин, так и, возможно, в силу орографического эффекта Тибетского плато, который заключается в рассекании крупных ложбин, смещающихся на восток на северную и южную часть. Северная часть перемещается на восток быстрее южной, и между частями ложбины развивается гребень. Помимо этого, горные системы Тянь-Шань и Алтай способствуют антициклогенезу на наветренных склонах. По

данным [1], на наветренных склонах при приближении ложбины с запада положительные тенденции за 12 часов могут составлять от 30 до 60 м на высотах АТ500 и АТ700 соответственно. На рис. 5 первый этап изображен под цифрой I.

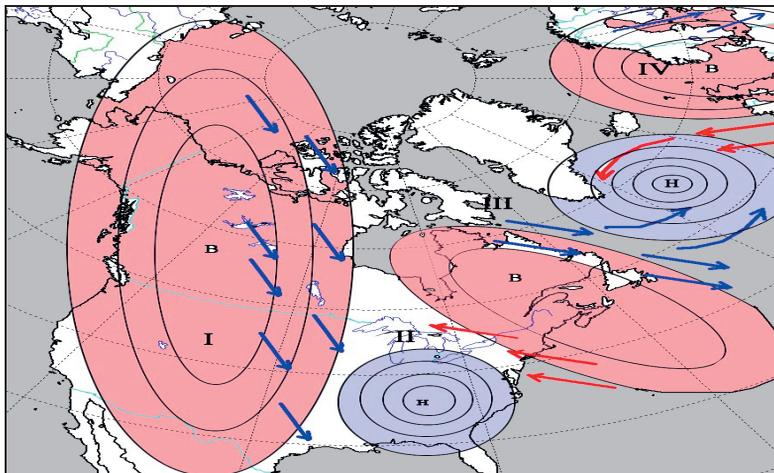


Рис. 5. Последовательность синоптических ситуаций, приводящих к антициклогенезу над Скандинавским полуостровом и Северным морем.

После того, как барический гребень между Сибирью и Северной Америкой сформировался, при взаимодействии полярного континентального воздуха с севера и тропического воздуха с Мексиканского залива над побережьем Мексиканского залива и юго-восточными районами США начинает формироваться депрессия, показанная на рис. 5 под цифрой II. Момент активной фазы циклогенеза в этом районе сопровождается появлением мощной кучево-дождевой облачности, возникновением сильных гроз, града, часто возникают торнадо. Адвекция тепла на высотах над районами к северо-востоку от циклона вызывает антициклогенез между северо-западным отрогом Азорского антициклона и уже сформировавшимся блокирующим гребнем на западе США, что приводит к объединению этих зон повышенного атмосферного давления по линии Новая Шотландия – юг Гудзонова залива.

По северной периферии объединяющего антициклона на северо-восток Атлантического океана проникают арктические воздушные массы, и в районе к северо-востоку от Ньюфаундленда происходит быстрое углубление циклона, который зачастую превращается во “взрывной” (цифра III на рис. 5). Сложность прогноза этой цепи событий усугубляется тем фактом, что процессы II–IV развиваются одновременно и носят характер волнового возмущения.

Сформировавшийся циклон быстро увеличивается по площади; в тот момент, когда его тыловая часть проходит через меридиан 45° з.д., происходит его повторное углубление. В район Скандинавского полуострова на высотах усиливается адвекция тепла, что способствует антициклогенезу уже над Скандинавским полуостровом и сопредельными территориями (цифра IV на рис. 5).

На рис. 6–9 эта схема показана на примере хорошо выраженного похолодания в районе Азовского моря 5–8 января 2015 г. Данные синоптических карт взяты из архива отдела глобального анализа и прогноза погоды Гидрометцентра России.

На рис. 6 представлен хорошо выраженный в поле приземного давления блокирующий антициклон над западом и югом США. По северо-восточной периферии этого антициклона перемещаются на Атлантику заполняющиеся ложбины, на юго-западе США и над севером Калифорнии наблюдается малоподвижная ложбина, сформировавшаяся в тропической воздушной массе из Тихого океана.

На рис. 7 отобразено начало затора холодного воздуха на северо-запад Мексиканского залива. Такой затор стал возможен при ослаблении юго-восточного центра блокирующего антициклона, располагающегося на южных штатах США. На снимке, взятом из архива NOAA, заметно усиление выноса теплых и влажных воздушных масс из Мексиканского залива на север.

На рис. 8 показано дальнейшее углубление циклона над южными штатами США и возникновение блокирования над северо-востоком Северной Америки.

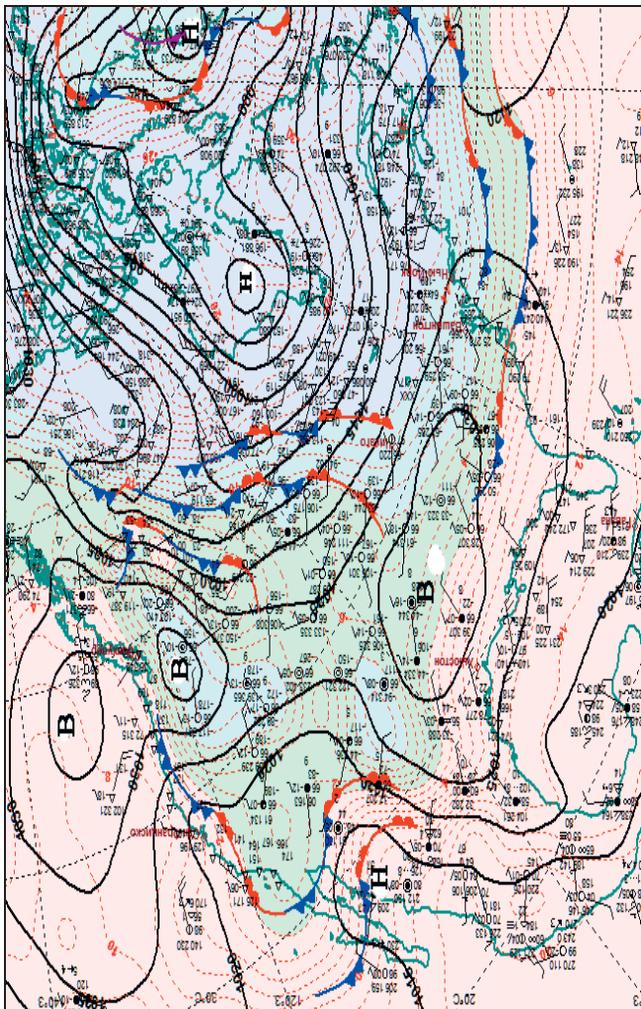


Рис. 6. Синоптическая ситуация за 1 января 2015 г. над Северной Америкой в 00 ч ВСВ.

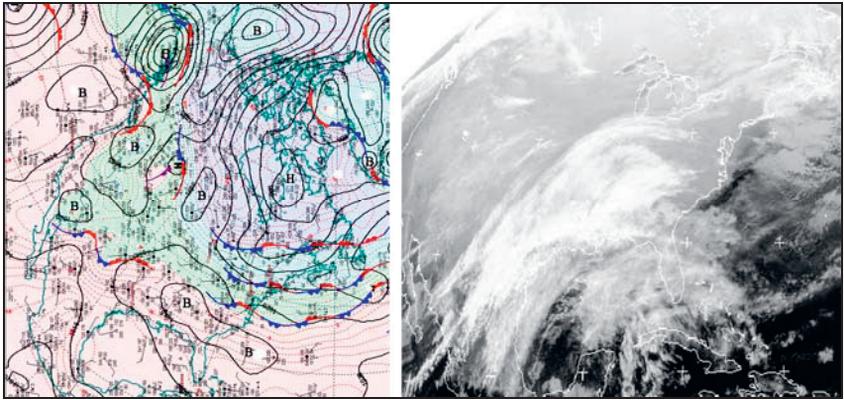


Рис. 7. Совмещенное изображение синоптической карты и спутникового снимка GOES 13 за 2 января 2015 г. в 00 ч ВСВ.

Следует особо отметить, что циклогенез над югом США 3 января сопровождался сильным порывистым ветром и торнадо в штатах Алабама и Миссисипи, наибольшая категория которых была F2, что по шкале Фудзиты классифицируется как значительные, со скоростями ветра 50–70 м/с.

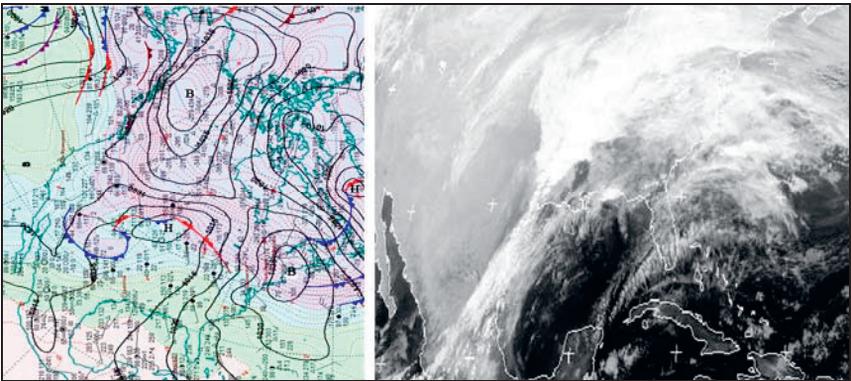


Рис. 8. Совмещенное изображение синоптической карты и спутникового снимка GOES 13 за 3 января 2015 г. в 12 ч ВСВ.

На рис. 9 показано начало IV этапа развития блокирующего антициклона над севером Европы. После объединения северо-западного отрога Азорского антициклона с блокирующим антициклоном над западом США на акваторию Северной Атлантики устремились потоки холодного континентального воздуха с севера Канады и Аляски. В районе южнее Гренландии развился обширный и глубокий циклон, в передней части которого на высотах произошел заток теплого воздуха в район Северного моря и начался процесс формирования антициклона над Скандинавским полуостровом.

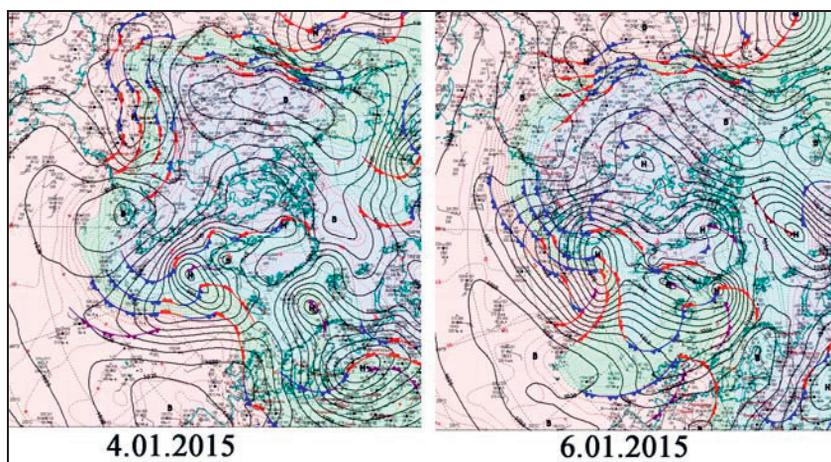


Рис. 9. Синоптическая ситуация над Северной Атлантикой и северной Европой 4 и 6 января 2015 г.

Таким образом, качественная схема развития блока над Скандинавским полуостровом подтвердилась на конкретном случае, который длился около 7 суток. Дальнейшее распространение антициклона на юго-восток привело к похолоданию на Азовском море.

На рис. 10 отображены осредненные по 20 случаям изменения атмосферного давления в холодный период в Северной Атлантике западнее меридиана 40° и температуры воздуха в Ростове-на-Дону за 7 суток до и 19 суток после появления депрессии к северу от Мексиканского залива. В среднем, на 4 сутки после появления

депрессии в западной части Северной Атлантики наблюдается резкое углубление ложбин и на 7–8 сутки – резкое снижение температуры воздуха на юго-востоке Европы.

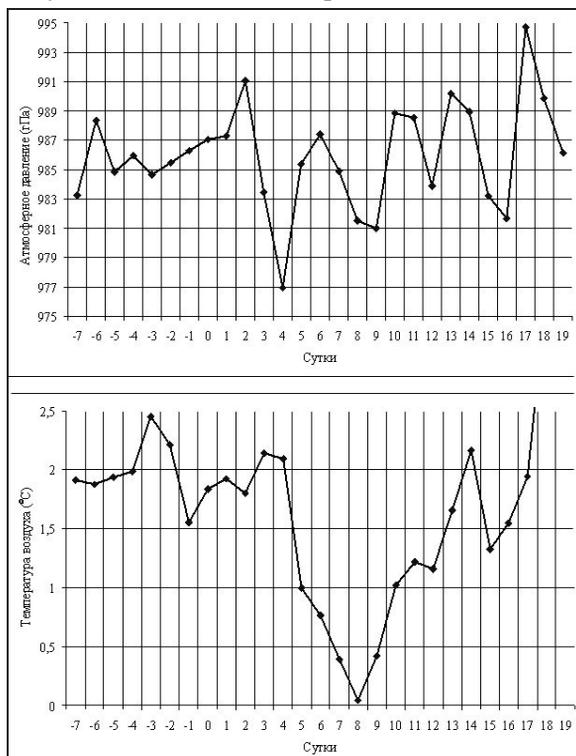


Рис. 10. Изменение атмосферного давления в Северной Атлантике западнее 40° з.д. и температуры воздуха в Ростове-на-Дону.

Долгосрочный прогноз суммы градусодней мороза на Азовском море

Так как крупномасштабное блокирование в тропосфере развивается не мгновенно, то предпосылки к нему могут закладываться еще весной-летом. Как известно, для типизации зим есть определенные градации: “суровая”, “умеренная”, “мягкая”. Типы отлича-

ются друг от друга суммой градусодней мороза, которая, в свою очередь, зависит от продолжительности и интенсивности холодных вторжений. Для зим Азовского моря критерии суровости по суммам градусодней мороза следующие:

суровая	> 585 °С,
умеренная	215–584 °С,
мягкая	< 215 °С.

Для долгосрочного прогноза сумм градусодней мороза были взяты данные по температуре воздуха в районе станций Сан-Франциско, Лервик, о. Беринга, Амдерма, Понта-Делгада и данные по атмосферному давлению в районе о. Диксон. Все районы расположения этих станций находятся на периферии возникающих зимой блокирующих антициклонов, а, значит, изменения температуры воздуха в весенне-летний период, зафиксированные на них, могут быть важным предиктором в долгосрочном прогнозе суровости зим на юге европейской части России.

Так как блокирующий гребень между северо-востоком Евразии и севером Северной Америки проходит в относительной близости к магнитному полюсу Земли, то к предикторам был добавлен параметр, характеризующий солнечную активность – число Вольфа. Согласно исследованиям Э.Р. Мустеля и В.Е. Чертопруда [2], атмосферное давление над севером Восточной Сибири после геомагнитных возмущений имеет тенденцию к понижению. То есть усиление солнечной активности является негативным внешним фактором для формирования блокирующего антициклона в этом районе.

Остальные переменные, с которыми были получены высокие коэффициенты корреляции по 49-летним непрерывным рядам наблюдений, следующие:

ΔT_c – разность между температурой воздуха в июле и марте и температурой воздуха в январе на восточной периферии Гавайского максимума (Сан-Франциско);

ΔT_l – разность между температурой воздуха в июле и январе на северо-восточном отроге Азорского антициклона (Лервик);

T_l – температура воздуха в Лервике в апреле;

$P_{az IV}$ – атмосферное давление в центре Азорского максимума (Понта-Дельгада) в апреле;

$\Delta P_{диск I-VIII}$ – разность атмосферного давления в январе и августе в районе о. Диксон;

$T_{бер}$ – температура воздуха на западе Берингова моря в районе о. Беринга в феврале;

$T_{амд}$ – температура воздуха в районе ст. Амдерма в феврале;

$\Delta T_{амд}$ – разность температуры воздуха в июне и феврале в Амдерме;

T_n – температура воздуха в Нью-Йорке в январе;

W_{VI} и W_I – значения числа Вольфа в апреле и январе.

Формула множественной регрессии по расчету суммы градусо-дней мороза $\Sigma(-t)$, °С, для Ростова-на-Дону предстоящей зимой выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \Sigma(-t) = & [18 \cdot (\Delta Tc)^2 - 217 \Delta Tc - 1,2 W_{VI} + 53 \Delta Tl + 10,5 P_{az IV}] + \\ & + [7,1 \Delta P_{диск I-VIII} - 73 Tl] + [-0,004 W_I - 42 T_{бер} - 22 T_{амд} + \\ & + 22 T_n] + const. \end{aligned} \quad (1)$$

Квадратными скобками отмечены итерации, после которых дальнейшая работа по подборке коэффициентов множественной регрессии шла с “остатками”.

По формуле (1) были рассчитаны суммы градусо-дней мороза предстоящей зимой (заблаговременность 4 месяца) на Азовском море. Для проверки метода были взяты последние 23 зимы на Азовском море. Результаты представлены в табл. 2, где У – умеренная, М – мягкая, С – суровая зима.

Согласно табл. 2, из 24 прогнозов типов зим инерционным методом оправдалось 14 (58 %), методом на основе формулы (1) – оправдалось 19 прогнозов (79 %), т. е. оправдываемость прогноза на основе предложенной формулы на 21 % выше, чем оправдываемость на основе инерционного метода по независимому ряду.

Таблица 2

**Сравнение прогнозов типа зим инерционным методом
и с использованием формулы (1)**

Зима	Фактический тип зимы	Инерционный прогноз типа зимы	Прогноз типа зимы по формуле (1)
1990/1991	У	М	У
1991/1992	У	У	У
1992/1993	У	У	У
1993/1994	У	У	У
1994/1995	У	У	У
1995/1996	У	У	У
1996/1997	У	У	У
1997/1998	У	У	У
1998/1999	М	У	У
1999/2000	М	М	М
2000/2001	М	М	М
2001/2002	У	М	У
2002/2003	У	У	У
2003/2004	М	У	С
2004/2005	М	М	М
2005/2006	У	М	М
2006/2007	М	У	У
2007/2008	У	М	У
2008/2009	М	У	У
2009/2010	У	М	У
2010/2011	У	У	У
2011/2012	У	У	М
2012/2013	М	У	М
2013/2014	М	М	У
Количество оправдавшихся прогнозов		14	19

Выводы

Причиной ярко выраженных похолоданий на юго-востоке Европы является антициклогенез над северо-востоком Атлантического океана и Скандинавским полуостровом. Непосредственной причиной развития блокирующего антициклона является блокирование между северо-востоком Евразии и западом Северной Америки, которое «запускает» механизм возникновения крупномасштабных волн в западно-восточном переносе. Амплитуда волн резко увеличивается над Скандинавским полуостровом, как в связи с затоком холодных воздушных масс в тыловую часть циклонов, углубляющихся западнее меридиана 20° з.д., так и за счет интенсивной адвекции тепла на высотах в район Скандинавского полуострова и Северного моря.

Долгосрочный прогноз суровости зим на Азовском море с заблаговременностью 4 месяца, включающий в качестве предикторов метеорологические параметры в районах блокирования, показал преимущество над инерционным прогнозом.

Список использованных источников

1. Ду-Чжен Е. и др. Общая циркуляция атмосферы над восточной Азией // Общая циркуляция атмосферы. – Москва, 1964. – С. 270–324.
2. Кузнецов А.Д., Логинов В.Ф. Космические воздействия на атмосферу. – Л.: ЛГИ, 1984. – С. 112–115.
3. Тищенко В.А., Хан В.М. и др. Исследование развития атмосферных процессов блокирования и квазистационарирования антициклонов в Атлантико-Европейском секторе // Метеорология и гидрология. – 2013. – №7. – С. 15–30.
4. 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.
5. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

Поступила в редакцию 22.04.2015 г.