

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК [551.515.7: 551.510.52]:[513.513:551.510.532]

ТРОПОСФЕРНЫЙ АНТИЦИКЛОГЕНЕЗ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ХОЛОДНЫЕ ВТОРЖЕНИЯ В ПЕРИОДЫ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

А.В. Безрук, А.И. Угрюмов

Российский государственный гидрометеорологический университет, alex-bezruk@bk.ru

Работа посвящена синоптическому анализу антициклогенеза в тропосфере, развивающемуся под влиянием динамики стратосферной циркуляции в периоды внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Показано, что в течение 4—16 суток после максимальной стадии развития ВСП отмечается усиленное образование приземных антициклонов, в которых формируются адвективные очаги холода, вторгающиеся в умеренные широты.

Результаты работы могут быть полезны для совершенствования среднесрочных прогнозов погоды.

Ключевые слова: внезапное стратосферное потепление, тропосферный антициклогенез, холодные вторжения, среднесрочные прогнозы погоды.

THE TROPOSPHERIC ANTICYCLOGENESIS AND ATTENDANT COLD PENETRATION DURING SUDDEN STRATOSPHERIC HEATING

A. V. Bezruk, A. I. Ugriumov

Russian State Hydrometeorological University

The synoptic analysis of the tropospheric anticyclogenesis arisen by influence of stratospheric circulation during sudden stratospheric heating (SSH) is discussed. It is shown that the intensive formations of tropospheric anticyclones take place during 4—16 days after the maximum stage of SSH where the advective cold hearths penetrating into the middle latitudes form.

These results may be useful for middle-term forecasting improvement.

Keywords: sudden stratospheric heating, tropospheric anticyclogenesis, cold penetrations, middle-term forecasting.

Введение

Одной из фундаментальных особенностей стратосферной циркуляции (на высоте более 20 км) являются так называемые внезапные стратосферные потепления (ВСП). В стратосфере зимнего полушария обычно господствует циркумполярный циклон с выраженным западным переносом над большей частью полушария. Южнее этого барического образования располагаются субтропические антициклоны [1—3]. В периоды ВСП циклонический вихрь разбивается на отдельные

ячейки, которые уходят в южные широты, и в район полюса выходят субтропические антициклоны. В результате зональная западная циркуляция нарушается, и на полюсе вследствие адвекции тепла существенно повышается температура. Именно поэтому такая перестройка полей давления и температуры названа внезапным стратосферным потеплением [6, 11]. Продолжительность явления ВСП колеблется от недели до месяца, затем глобальная циклоническая циркуляция восстанавливается. Теоретическое моделирование взаимодействия стратосферной и тропосферной циркуляции в периоды ВСП показало, что в последней в эти периоды должны активизироваться антициклогенез и сопутствующее ему формирование очагов холода, которые могут приводить к существенным изменениям погоды в средних широтах [5, 7, 9, 11].

Задача настоящей работы заключается в подтверждении выводов теоретического моделирования атмосферных процессов в периоды ВСП путем синоптического анализа тропосферного антициклогенеза. Установлены интенсивность, районы и время формирования приземных антициклонов в периоды ВСП. Результаты работы могут быть полезны для совершенствования среднесрочных прогнозов погоды.

1. Результаты теоретического моделирования

Изменение динамического режима стратосферы может влиять на циркуляцию тропосферы, например, через отражение планетарных волн и их последующее распространение в тропосферу [7—11]. Отраженные планетарные волны могут достигать тропосферы, трансформироваться в результате нелинейных взаимодействий и/или фокусировки трехмерного потока волновой активности в волны меньшего масштаба и оказывать влияние на формирование тропосферной циркуляции. Об этом свидетельствуют результаты работ [4, 5, 7].

Для того чтобы проанализировать динамические характеристики ВСП и взаимодействие стратосферы с тропосферой, была построена среднестатистическая модель стратосферных потеплений с использованием данных, усредненных по 13 случаям ВСП в период 1992—2012 годы [11]. Поля давления, температуры воздуха и ветра для разных по сроку ВСП приводились к единой условной дате — максимуму развития ВСП.

На основе среднестатистической модели рассчитаны трехмерные потоки волновой активности в стратосфере и тропосфере [11]. Результаты моделирования трехмерных потоков волновой активности из стратосферы в тропосферу представлены на рис. 1.

Нисходящие потоки волновой активности, попадая в тропосферу из стратосферы, движутся в горизонтальном направлении (F_x и F_y), но при этом в ряде районов полушария имеют выраженную северную составляющую (на рис. 1 это Северная Атлантика, Западная Европа и Дальний Восток). Таким образом, ВСП вполне могут привести к меридиональной перестройке тропосферной циркуляции. В синоптическом смысле это означает, что в тропосфере активизируется антициклогенез и будет наблюдаться дальнейшее движение антициклонов на юг и на восток. Это должно привести к адвекции арктического холода в умеренные широты.

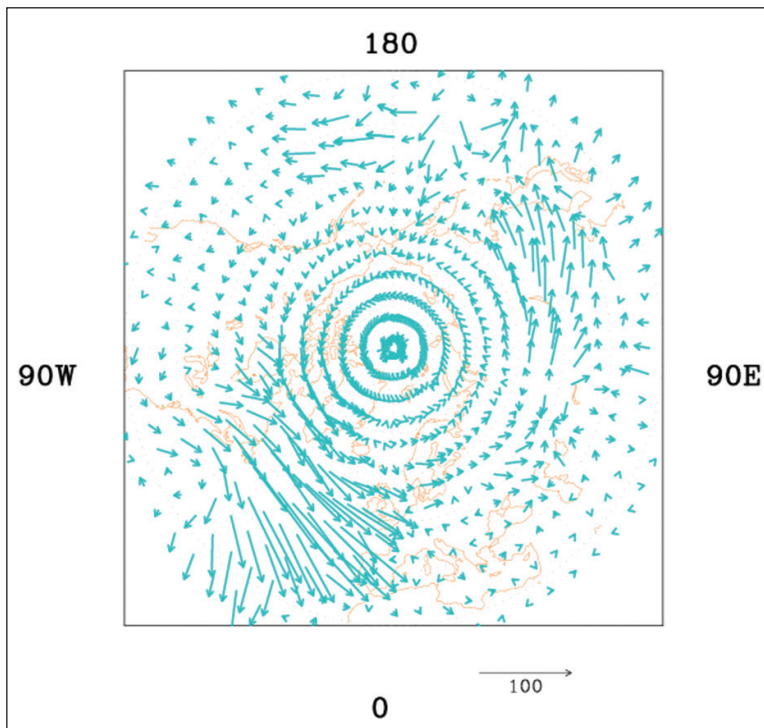


Рис. 1. Долготно-широтное распределение горизонтального потока волновой активности на высоте 4 км во время максимальной стадии развития ВСП [11].
Длина стрелок пропорциональна интенсивности потоков F_x и F_y .

2. Антициклогенез в периоды ВСП

Для того чтобы подтвердить результаты теоретического моделирования, т.е. образование антициклонов в периоды ВСП, было исследовано девять случаев внезапных стратосферных потеплений в период с 1999 по 2013 г. В табл. 1 представлены даты вступления ВСП в стадию максимального развития.

Таблица 1

		Даты вступления ВСП в стадию максимального развития							
Год...	1999	2001	2002	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Дата...	23.01	06.02	01.02	14.01	02.02	06.01	07.01	05.02	10.01

В целях определения географических районов антициклогенеза была использована методика составления сборно-кинематических карт барических образований в течение 20 суток после максимума развития ВСП. Именно этот период в соответствии с результатами гидродинамического моделирования ВСП является благоприятным для формирования приземных антициклонов. В качестве исходных данных использовались карты реанализа ежедневных значений аномалии высоты изобарической поверхности 1000 гПа. За центр антициклонов принимались

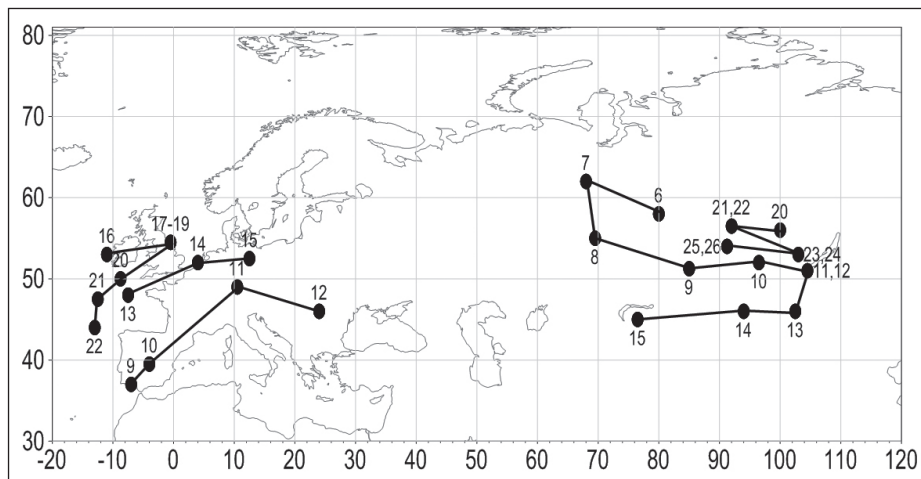


Рис. 2. Сборно-кинематическая карта приземных антициклонов при ВСП, наблюдавшемся в 2001 г. Черными кружками указано положение центров антициклонов, цифрами — дни февраля 2001 г.

очаги положительных аномалий на АТ 1000. Затем прослеживалась динамика этих центров, т.е. соединялись их последовательные положения на единой карте центров антициклонов. Так были составлены сборно-кинематические карты возникновения и последующего движения антициклонов для каждого случая исследуемых ВСП. На рис. 2 приведен пример такой карты для ВСП, наблюдавшегося в 2001 г.

На рис. 2 отчетливо видны два очага формирования антициклонов в период ВСП 2001 г.: западный очаг полностью совпадает с областью максимального проникновения волновой энергии стратосферы в тропосферу (см. рис. 1) — это восток Северной Атлантики и Западная Европа; второй, восточный, находится в климатической области зимнего сибирского антициклона. Особенностью антициклогенеза в данном случае является также его циклическое возобновление. Максимум развития ВСП в 2001 г. приходится на 6 февраля. В западном очаге мы видим формирование антициклона уже 9 февраля (он существовал четыре дня), затем 13 февраля (три дня) и, наконец, 16 февраля (пять дней). В сибирском очаге отмеченная цикличность также наблюдается, но здесь, пожалуй, важнее другое: новый антициклон образовался 7 февраля в приполярных широтах и затем сместился на юг, пополняя климатический сибирский центр.

3. Пространственно-временные особенности приземного антициклогенеза

Установим теперь характерные районы и время приземного антициклогенеза в периоды ВСП по данным исследуемых девяти случаев. Для этого в квадратах географической сетки со сторонами 5° по широте и 20° по долготе было рассчитано общее число центров антициклонов за 20 суток после максимального развития стратосферного потепления и в сумме за все девять случаев ВСП (рис. 3).

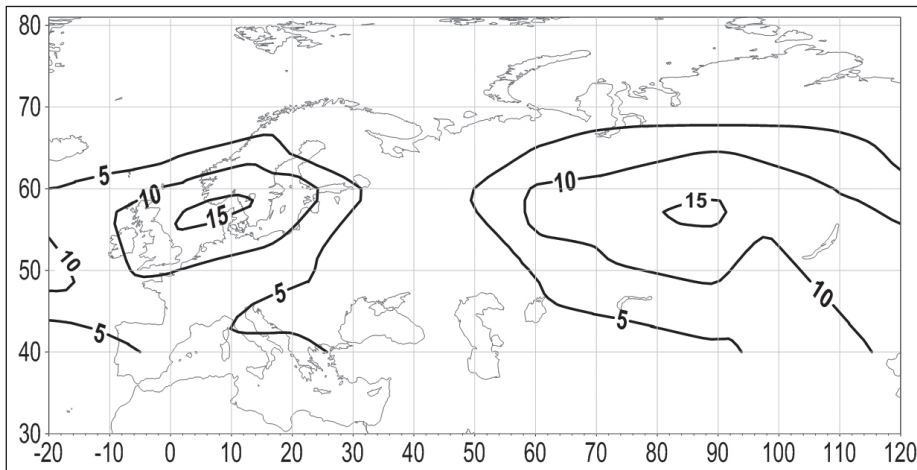


Рис. 3. Число приземных антициклонов, образовавшихся за 20 суток после максимального развития ВСП (сумма по всем девяти случаям ВСП).

Из рис. 3 видно, что формирование антициклонов в периоды ВСП происходит на огромной территории, охватывающей Западную и Восточную Сибирь, Урал, Западную и отчасти Восточную Европу и восток Северной Атлантики. При этом наибольшая повторяемость антициклонов приходится на два региона: 1) Западная Европа и прилегающие районы Атлантики, 2) Западная и Восточная Сибирь. Сравнение рис. 2 и 3 выявляет полное совпадение районов максимального антициклоногенеза в частном случае ВСП 2001 г. и в обобщенной картине повторяемости антициклонов за все девять случаев ВСП. Подробный анализ показал, что и в остальных частных случаях ВСП положение районов максимального антициклоногенеза практически не изменяется. Это означает, что обобщенная картина антициклоногенеза, представленная на рис. 3, является достаточно показательной для характеристики влияния стратосферной циркуляции на процессы в тропосфере в периоды любого ВСП.

Для анализа временных особенностей развития приземного антициклоногенеза было рассчитано суммарное число антициклонов в пределах исследуемой территории на каждый день после максимальной стадии всех девяти случаев ВСП. На рис. 4 приведен график зависимости числа

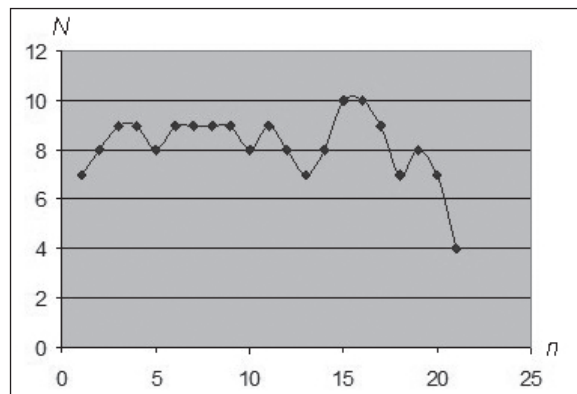


Рис. 4. Зависимость числа приземных антициклонов (N) от числа дней после вступления ВСП в стадию максимального развития (n).

антициклонов от числа дней, прошедших с момента, когда ВСП находилось в стадии максимального развития.

Из рисунка видно, что реакция тропосферы на ВСП начинается через три-четыре дня после вступления ВСП в стадию максимального развития. Через пять-шесть дней число новообразований возрастает до девяти-десяти. Наибольшее число случаев приходится на 15-е и 16-е сутки после дня максимального развития ВСП (десять случаев). Далее интенсивность антициклогенеза резко уменьшается. Таким образом, период 4—16 дней и есть характерное время реакции тропосферы на процесс ВСП.

Проанализированные пространственно-временные особенности приземного антициклогенеза в периоды ВСП являются, по мнению авторов, убедительными доказательствами того, что теоретический результат, полученный в результате моделирования обмена волновой энергией в системе стратосфера — тропосфера в периоды ВСП, подтверждается синоптическим анализом. Последний позволяет ставить вопрос об использовании обнаруженных закономерностей в прогностических целях, особенно в сфере среднесрочных прогнозов погоды.

4. Прогностические возможности

Для выявления прогностических возможностей обнаруженных закономерностей вслед за барическими полями в периоды ВСП необходимо рассмотреть приземное поле температуры воздуха. Для этого были построены сборные карты очагов холода, сопровождающих возникающие в процессе ВСП приземные антициклоны. Затем области очагов холода были совмещены с областями антициклогенеза, выявленными ранее (рис. 5).

Возникающие в периоды ВСП антициклоны по характеру связанных с ними похолоданий можно условно разделить на два типа: адвективные антициклоны

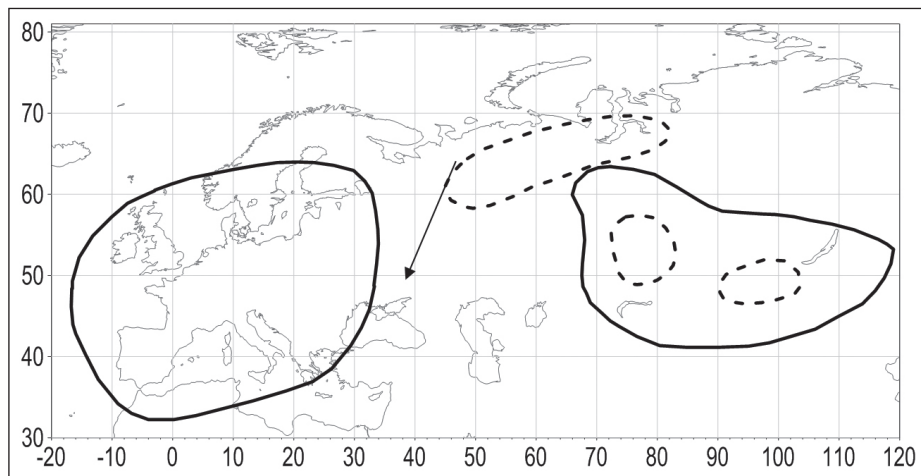


Рис. 5. Взаимное расположение областей приземного антициклогенеза (сплошная кривая) и очагов холода (штриховая кривая) в периоды ВСП за 1999—2013 гг.

европейской территории и радиационные антициклоны Сибири. В адвективных антициклонах очаги холода образуются на их северо-восточной периферии и далее смещаются в соответствии с антициклонической циркуляцией в направлении, показанном на рис. 5 стрелкой, т.е. на европейскую часть России (ЕЧР). Такое смещение очагов холода (с северо-востока на юго-запад) в синоптической метеорологии носит название ультраполярного. Именно ультраполярные вторжения арктического воздуха являются причиной устойчивых во времени и наиболее сильных холодов на ЕЧР [1, 3]. Таким образом, ВСП можно считать одним из атмосферных процессов, провоцирующих значительные зимние похолодания на ЕЧР.

В соответствии с вышеизложенным можно дать следующие прогностические рекомендации: в течение 4—16 суток после того, как внезапное стратосферное потепление достигло максимальной стадии развития, высока вероятность сильного похолодания на европейской части России.

В радиационных антициклонах Западной и Восточной Сибири очаги холода образуются непосредственно в областях антициклогенеза благодаря радиационному выхолаживанию (см. рис. 5). В отличие от западного очага антициклогенеза при ВСП сибирский антициклон зимой существует постоянно [1, 2], поэтому проведенный анализ не позволяет утверждать, что он также является результатом

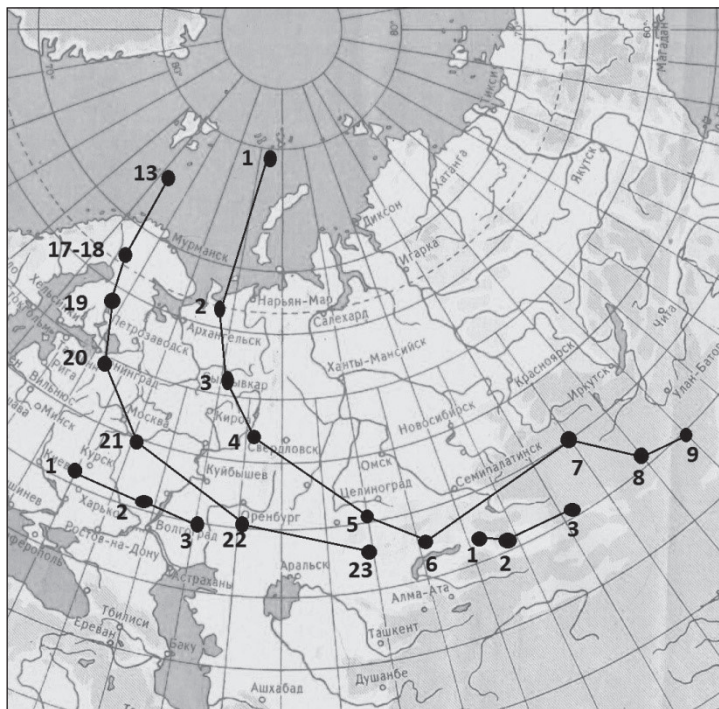


Рис. 6. Траектории приземных антициклонов в период ВСП 1—23 января 2014 г. Черные кружки — центры антициклонов, цифры — числа месяца.

ВСП. Для выяснения роли ВСП в формировании сибирского климатического антициклона необходимы дальнейшие исследования.

Направление этих исследований можно указать уже сейчас, проанализировав траектории антициклонов во время ВСП 1—23 января 2014 г., которое не вошло в нашу основную выборку. Из рис. 6 отчетливо видно, что антициклоны, сформировавшиеся в Европе, далее уходят в область сибирского антициклона, поддерживая таким образом его существование.

Заключение

В настоящей работе проверены теоретические выводы о влиянии внезапных стратосферных потеплений (ВСП) на формирование антициклонов в тропосфере. На основании теоретических расчетов и данных для девяти обработанных случаев ВСП за период с 1999 по 2013 г. можно сделать следующие выводы:

– теоретические модели предполагают в периоды ВСП передачу волновой энергии из стратосферы в тропосферу, что должно вызвать усиленный приземный антициклогенез;

– синоптический анализ девяти случаев ВСП за 1999—2013 гг. показал, что в умеренных широтах Евразии действительно отмечался усиленный приземный антициклогенез в периоды ВСП; по времени он приходится на период 4—16 суток после того, как ВСП достигло стадии максимального развития;

– районами наиболее интенсивного приземного антициклогенеза при ВСП являются Западная Европа и прилегающие районы Северной Атлантики, а также Западная и Восточная Сибирь;

– атмосферные процессы в очаге антициклогенеза над Западной Европой при ВСП можно использовать для среднесрочного прогноза зимних похолоданий на европейской части России — вероятность сильного похолодания на ЕЧР высока в период 4—16 суток после того, как ВСП достигло стадии максимального развития.

Список литературы

1. Долгосрочные метеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеоздат, 1985.
2. *Погосян Х.П.* Общая циркуляция атмосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1972.
3. *Угрюмов А.И.* Долгосрочные метеорологические прогнозы. — СПб: изд-во РГГМУ, 2006.
4. *Baldwin M., Dunkerton T.* Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere // *J. Geophys. Res.* 1999. V. 104, No. 30.
5. *Douville H.* Stratospheric polar vortex influence on Northern Hemisphere winter climate variability // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36, No. 18.
6. *Holton J.R.* The dynamics of sudden stratospheric warming // *An Rev. Earth Planet. Sci.* 1980. V. 8.
7. *Kodera K., Mukougawa H., Itoh S.* Tropospheric impact of reflected planetary waves from the stratosphere // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35.
8. *Kuroda Y., Kodera K.* Role of planetary waves in the stratosphere-troposphere. Coupled variability in the Northern Hemisphere winter // *Geophys. Res. Lett.* 1999. V. 26.
9. *Nath D., Chen W., Wang L., Ma Y.* Planetary wave reflection and its impact on tropospheric cold weather over Asia during January 2008 // *Adv. in Atm. Sci.* 2014. V. 31.
10. *Perlwitz J., Harnik N.* Observational evidence of a stratospheric influence on the troposphere by planetary wave reflection // *J. Clim.* 2003. V. 16.
11. *Pogoreltsev A., Kanukhina A., Suvorova E., Savenkova E.* Variability of planetary waves as a signature of possible long-term trends // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2009. V. 71.