

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-2-77-92>

УДК 551.581

Синоптические условия формирования сухих и влажных волн тепла и холода на Средней Волге

***С.В. Морозова, С.Н. Лапина,
Е.А. Полянская, М.А. Алимпиева***

*Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
swetwl@yandex.ru*

Статья посвящена памяти Нины Константиновны Кононовой – выдающегося ученого-метеоролога, исследователя и замечательного человека.

Приведены результаты синоптико-статистического анализа сухих и влажных волн тепла и холода различной продолжительности и интенсивности на Средней Волге. Идентификация волн производилась на основе данных о средней суточной температуре воздуха и суточных суммах осадков на станции Саратов. С использованием евклидова расстояния проведена классификация синоптических ситуаций и выделены соответствующие эталонные поля давления.

Ключевые слова: волны тепла и холода, синоптические условия формирования волн, метод эталонов, трансформационные и динамические процессы

Synoptic conditions for the formation of dry and wet heat and cold waves in the Middle Volga Region

***S.V. Morozova, S.N. Lapina,
E.A. Polyanskaya, M.A. Alimpieva***

*Saratov State University, Saratov, Russia
swetwl@yandex.ru*

The results of a synoptic-statistical analysis of dry and wet heat and cold waves of various duration and intensity in the Middle Volga region are presented. The waves were identified from the data on average daily air temperature and daily precipitation at Saratov station. Using the Euclidean distance, a classification of synoptic conditions was carried out, and the corresponding reference air pressure fields were identified.

Key words: heat and cold waves, synoptic conditions of wave formation, method of references, transformational and dynamic processes

*Памяти
Нины Константиновны Кононовой
посвящается*

Нина Константиновна Кононова начинала обучение в Саратовском государственном университете на кафедре климатологии. Проучившись на кафедре два года, она перевелась в Московский университет, так как в Саратовском университете кафедра климатологии была закрыта. Тем не менее Нина Константиновна никогда не теряла связи с кафедрой, считала ее своей родной, тепло отзывалась о первой заведующей кафедрой Елизавете Владимировне Ишерской.

Современный коллектив кафедры считает своим долгом снова вспомнить о Нине Константиновне – Синоптике с большой буквы – и посвятить ей эту синоптическую работу.

Введение

Волны тепла и холода – сложное гидрометеорологическое явление, характеризующееся несколькими параметрами, главные из которых – интенсивность и продолжительность. Сложность изучения этого явления заключается в том, что интенсивность волны определяется в первую очередь динамическим фактором, а в формировании продолжительности существования волны существенную роль играет и трансформация воздушной массы. В связи с этим сложилось несколько принципиально разных подходов в определении этого гидрометеорологического явления.

Если обратиться к истории, то изначально волна холода определялась Б.И. Срезневским [18] как поступательное, подобное волне смещение воздушных масс, которое сопровождалось понижением средней суточной температуры воздуха на 10 °С и более в течение суток. Впоследствии это определение распространилось и на волну тепла. В дальнейшем было предложено множество критериев, различающихся количественными характеристиками интенсивности и продолжительности волн тепла/холода.

Обобщенное определение волны тепла и холода приводится в Метеорологическом словаре [20], в котором подчеркивается определяющая роль адвекции в образовании волны. Вышеописанный способ определения волны широко применялся многими исследователями [1, 3, 4, 7, 16, 17], в том числе и сотрудниками ФГБУ «Гидрометцентр России» [6, 16, 19]. Отметим, что при этом для характеристики интенсивности волны используется не только величина аномалии температуры воздуха, но и величина среднего квадратического отклонения, как правило, от $0,5\sigma$ до 2σ [5, 8].

В качестве примера другого подхода к идентификации волны тепла/холода, учитывающего трансформационные процессы, можно привести определение [5]. Согласно авторам [5], волной тепла нужно считать

событие, характеризующееся превышением аномалии приземной температуры воздуха величины стандартного отклонения на протяжении семи дней и более. При этом допускается отклонение аномалии не ниже половины стандартного отклонения в течение не более трех дней. В данном определении акцент сделан на трансформационный фактор формирования волны. Индексы волн тепла (WSDI) и волн холода (CSDI) также ориентированы на трансформационные процессы [21].

При длительном существовании волны тепла/холода над определенным географическим районом важной характеристикой процесса потепления/похолодания является территориальный охват. Э.В. Рочева [15] для характеристики волны тепла ввела в дополнение к интенсивности и продолжительности еще и площадную характеристику. Отметим, что площадь охвата территории положительной/отрицательной аномалией зависит от размера барического образования, формирующего волну тепла /холода.

Так как волны тепла/холода являются неблагоприятными, а нередко и опасными гидрометеорологическими явлениями не только для погодозависимых секторов экономики, но и для самочувствия и здоровья человека, то авторами публикаций [22, 23] для волны тепла предлагается ввести комплексный критерий, учитывающий суточные максимумы и минимумы температуры воздуха, а также показатели влажности. Отметим, что довольно часто волны тепла/холода сопровождаются другими опасными явлениями – сильными ливнями и снегопадами, шквалистыми усилениями ветра, формированием гололедно-изморозевых отложений. При резких волнах холода весной и осенью могут возникать заморозки.

Безусловно, что формирование волны тепла/холода зависит от характера развития синоптических процессов. В настоящем исследовании предполагается рассмотреть, при каких синоптических ситуациях формируются волны тепла/холода различной интенсивности и продолжительности, а также установить, при каких типах синоптических процессов на фоне волны выпадают осадки и в каких случаях развиваются "сухие" волны тепла /холода.

Методика исследования и исходные данные

В данном исследовании за волну тепла/холода принималось повышение/понижение средней суточной температуры воздуха на 3 °С и более от одного дня к другому, продолжающееся не менее двух дней. Случаи, когда волна тепла/холода прерывалась одним днем похолодания/потепления или изотермии, принимались за одну волну тепла/холода. Продолжительностью волны тепла считался промежуток времени (сутки) между самым низким и самым высоким значениями температуры в процессе развития волны. Продолжительностью волны холода считался промежуток времени (сутки) между самым высоким и самым низким значениями температуры в процессе развития волны.

Поскольку поставлена задача по анализу сухих и влажных волн тепла и холода, то введено понятие "сухая" волна тепла/холода и "влажная" волна тепла/холода. Сухой считалась такая волна, при развитии которой на ее фоне ни разу не наблюдались осадки и даже их следы. К влажным относились волны, при развитии которых хотя бы один день выпадали осадки суточным количеством более 0,3 мм в месяцы теплого периода (апрель–октябрь) и более 0,1 мм в месяцы холодного периода (ноябрь–март).

Для характеристики интенсивности волны были выбраны три градации: слабые, средние и интенсивные волны. Слабыми считались волны с перепадом температур от 3,1 °С до 5 °С. Волны средней интенсивности – с перепадом температур от 5,1 °С до 8 °С. Волны с перепадом температур от 8,1 °С и выше считались интенсивными волнами.

В качестве исходных материалов для идентификации волн использовались средние суточные температуры воздуха и суточные суммы осадков, размещенные на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [<http://meteo.ru>]. Реперным пунктом для определения волны взят п. Саратов (метеостанция Саратов Юго-Восток). Для синоптического анализа применялись карты погоды за срок 00 ч по гринвичскому времени. Временным промежутком исследования выбран интервал с 2000 по 2021 год.

Исследования проведены для всех месяцев года. В настоящей работе приведены результаты синоптико-статистического анализа волн для центральных месяцев основных и переходных сезонов года – января, апреля, июля и октября.

Определение типичных синоптических ситуаций, формирующих сухие и влажные волны тепла/холода различных интенсивностей, проводилось методом эталонов. Метод эталонов и его применение при синоптическом анализе подробно описаны в публикациях [10, 11, 14].

Эталонное поле подбирается с помощью евклидова расстояния, которое в двумерном пространстве признаков определяется формулой

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{l=1}^n (a(l) - b(l))^2},$$

где d – расстояние между гидрометеорологическими полями; $a(l)$ и $b(l)$ – значения метеопараметра в l -м узле регулярной сетки сравниваемых полей; n – количество сравниваемых полей.

Выбранная мера сходства гидрометеорологических полей характеризует расстояние между ними. За эталон принимается то поле, расстояние от которого до всех остальных полей выборки наименьшее. Таким образом, эталоном является одно из фактических полей класса (выборки), которое ближе по расстоянию ко всем остальным и, следовательно, наилучшим образом описывает все поля, входящие в него.

Эталонные поля давления определялись на пространстве Атлантико-Евразийского сектора полушария, ограниченного параллелями 40° с. ш. и 70° с. ш. и меридианами 30° з. д. и 70° в. д. с шагом по широте

и долготе 5° . В качестве гидрометеорологической величины использовалось значение атмосферного давления на уровне моря. Значения давления в узлах регулярной сетки были получены из данных реанализа (<https://www.copernicus.eu/en>).

Эталонные поля давления определялись отдельно для сухих и влажных волн различных интенсивностей. При выборе эталонного поля для сухих и влажных волн придерживались следующих правил:

– при формировании выборок полей давления для сухих волн тепла/холода выбирались все барические поля дней развития волны, за исключением первого дня развития волны. Именно тех дней, с которых началось развитие процесса потепления/похолодания;

– при формировании выборок полей давления для влажных волн апробировалось два варианта. По первому варианту рабочая выборка формировалась из всех дней развития волны, за исключением самого первого дня ее развития. По второму варианту в выборку включались только те дни развития волны, в которые выпадали осадки указанных суточных сумм ($>0,3$ мм/сутки в теплый период и $>0,1$ мм/сутки в холодный период). Синоптический анализ эталонных полей давления, выбранных по первому и второму способу, не показал существенной разницы в характере барического поля, определяющего влажную волну тепла/холода. В связи с этим выбор эталонных полей давления для влажной волны тепла/холода проводился по первому способу: в рабочую выборку включались все дни влажной волны, за исключением дней начала развития потепления/похолодания.

Укажем, что статистическая характеристика сухих и влажных волн тепла/холода различных интенсивностей подробно представлена в [12]. Поэтому в настоящей статье остановимся на синоптических особенностях осуществления сухих и влажных волн тепла и холода.

Анализ результатов и их обсуждение

Прежде чем представлять результаты синоптических исследований, кратко остановимся на особенностях волн, полученных при их статистическом анализе по материалам публикации [12]. Как указывается в [12], среднегодовая повторяемость теплых и холодных волн примерно одинакова. Однако весной наблюдается преобладание теплых волн над холодными. Осенью, наоборот, повторяемость волн холода возрастает, а волн тепла уменьшается.

Интересно, что зимой и летом количество теплых и холодных волн одинаково. Зимой замечено увеличение повторяемости более интенсивных волн. В среднем и теплые, и холодные волны длятся примерно четыре дня, при этом наименьшую повторяемость имеют слабые волны. С ростом интенсивности волны увеличивается и ее продолжительность. Осадками сопровождается подавляющее большинство и теплых, и холодных волн –

85 % и 75 % соответственно. Примерно в половине дней развития волны наблюдается выпадение осадков выбранных суточных сумм (0,3 мм/сутки в теплый период и >0,1 мм/сутки в холодный период) [9, 12].

Выделение эталонных полей давления проводилось для всех месяцев года, однако принципиальной разницы во внутрисезонных особенностях полей-эталонов не замечено, поэтому ниже приводятся эталонные поля давления сухих и влажных волн тепла и холода различных интенсивностей только для центральных месяцев сезонов.

Зимой теплые сухие волны различных интенсивностей формируются под влиянием одного типа синоптического процесса – в результате воздействия восточного отрога субтропического антициклона. Очень часто отрог довольно далеко распространяется на восток и иногда даже может соединиться перемычкой высокого давления с зимним Азиатским антициклоном. При этом по северу Европы, над Уралом и Западной Сибирью наблюдается активная циклоническая деятельность, препятствующая перемещению холодных воздушных масс на юг. В качестве примера такого процесса можно привести эталонное поле слабой сухой волны тепла 28 января 2011 года (рис. 1). В данном случае слабая сухая волна тепла развивалась в течение четырех дней, повышение температуры произошло на четыре с половиной градуса при распространении далеко на восток отрога субтропического антициклона.

Отметим, что если среди слабых и средних по интенсивности зимних волн тепла почти половина являются сухими, то среди теплых интенсивных волн зимой сухих волн практически не встречается. Они составляют очень малую часть всех теплых интенсивных волн января [12]. Как пример сухой интенсивной теплой волны можно привести волну тепла, продолжавшуюся с 5 по 7 января 2000 года, при которой произошло повышение температуры на 10 градусов – с $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое резкое потепление было связано также с воздействием ядер высокого давления на Среднюю Волгу со стороны Азорского антициклона.

Влажные теплые волны всех интенсивностей зимой определяются одним и тем же синоптическим процессом – поступлением теплых воздушных масс в передней части мощных полярнофронтовых депрессий. Осадки при этом могут выпадать в зоне влияния теплых фронтов или же могут быть связаны с фронтами окклюзии в теплых секторах циклонов. В качестве примера приведем эталонное поле давления интенсивной влажной волны тепла за 9 января 2005 года (рис. 2).

Потепление начало развиваться с 6 января при поступлении теплых воздушных масс в передней части обширной и глубокой депрессии, а выпадение осадков определялось влиянием теплых фронтов, последовательно проходивших через пункт наблюдения (п. Саратов). Повышение температуры при развитии этой волны произошло с $-5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

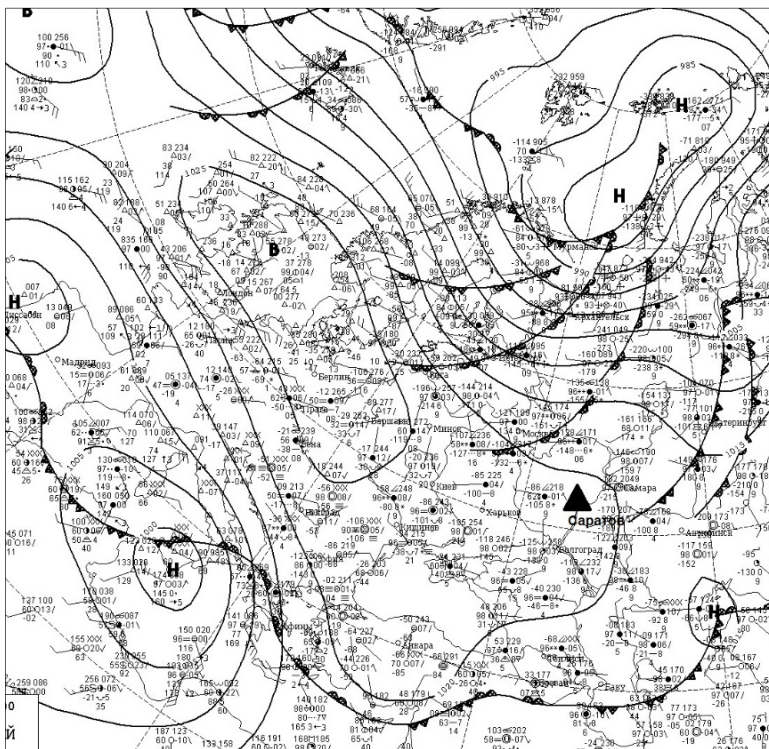


Рис. 1. Фрагмент приземной карты погоды за 28 января 2011 года.
Fig.1. Fragment of the surface weather map for January 28, 2011.

Аналогичным образом проанализированы синоптические условия формирования сухих и влажных зимних волн холода. Отметим, что, как и в случае волн тепла, среди слабых и средних по интенсивности сухих волн холода около половины, а среди интенсивных холодных волн сухих – очень мало. Холодные интенсивные волны практически всегда сопровождаются осадками.

Из синоптического анализа эталонных полей давления сухих волн холода отметим, что сухие волны холода любых интенсивностей формируются при смещении на территорию ядер арктического происхождения, которые могут объединяться с западной периферией антициклона, усиливая ее, либо завершать циклоническую серию, оформляясь в дальнейшем в самостоятельный антициклон. В качестве примера эталонного поля сухой интенсивной волны холода приведем барическое поле за 22 января 2015 года (рис. 3). Эта волна формировалась при распространении на Средней Волге арктического антициклона. Перепад температур при развитии этой волны произошел с 2 °С до 22 °С в течение шести дней.

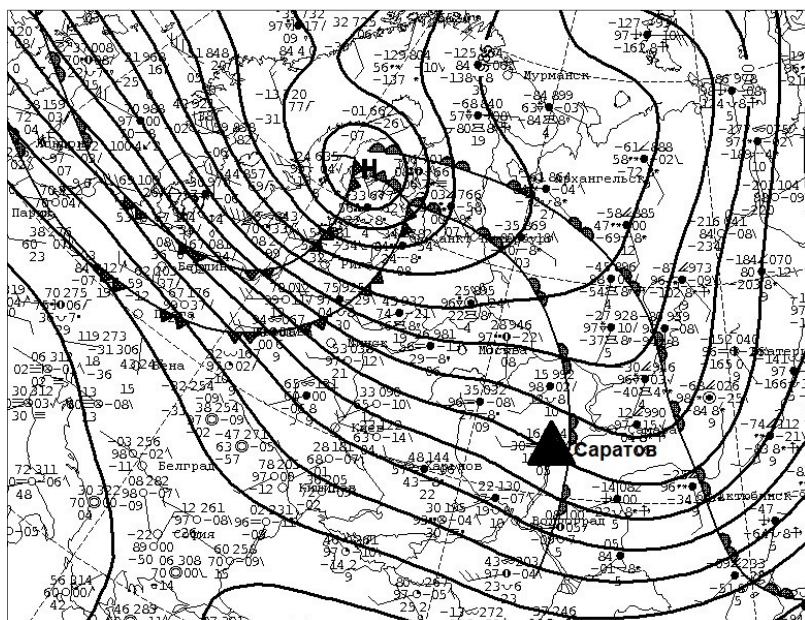


Рис. 2. Фрагмент приземной карты за 9 января 2005 года.

Fig. 2. Fragment of the surface weather map for January 9, 2005.

Анализ эталонных полей давления влажных волн холода всех интенсивностей показал, что похолодание определяется поступлением холодных воздушных масс в тылу циклона, а выпадение осадков на фоне волны холода обусловлено влиянием основных и вторичных холодных фронтов. Однако довольно часто выпадение осадков на фоне волны холода происходит под влиянием теплого участка, возникающего на холодном фронте при образовании на нем волны. При этом на общем фоне понижения температуры наблюдается ее однодневное повышение, нередко довольно существенное.

Синоптический анализ показал, что резкие однодневные повышения температуры при развитии холодных волн могут происходить не только при образовании волны на холодном фронте, но и при быстром смещении циклонической серии через пункт наблюдения. При этом в тыл очередного циклона затекает более холодная воздушная масса, а однодневные повышения возникают при прохождении теплых фронтов семейства циклонов. Такие процессы подробно описаны в монографии [9].

Наиболее редкий процесс, приводящий к однодневным незначительным повышениям температуры (на 1–3 °С) связан с волнами на малоподвижных фронтах, располагающихся на южной периферии обширных стационарирующих антициклонов.

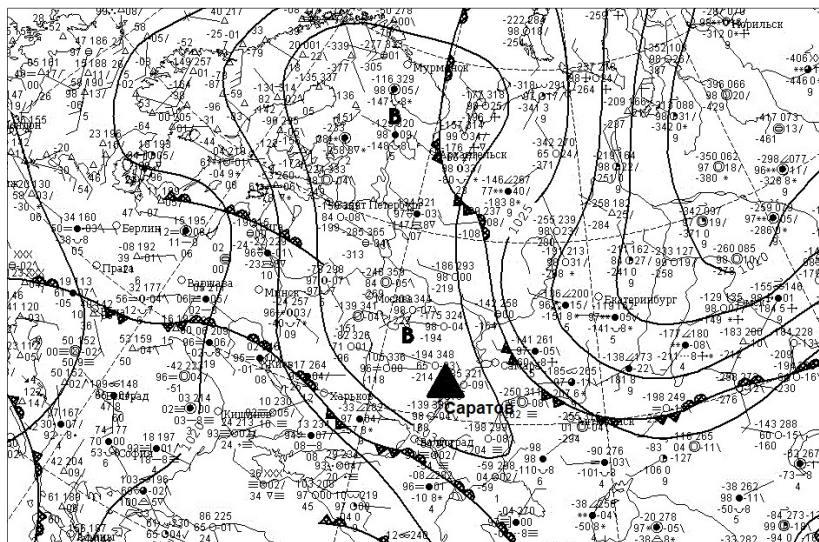


Рис. 3. Фрагмент приземной карты за 22 января 2015 года.
Fig. 3. Fragment of the surface weather map for January 22, 2015.

Примером такого процесса может стать интенсивная волна холода, продолжавшаяся с 24 по 30 января 2014 г. и перебивающаяся однодневным повышением температуры. За время развития этой волны произошло понижение средней суточной температуры более чем на 10 °С, на ее фоне наблюдалось однодневное небольшое повышение температуры на два градуса 28 января, а осадки выпадали 24–25 и 28 января.

Эта волна холода начала формироваться под влиянием тыловой части южного циклона, смещавшегося в северо-восточном направлении с Черного моря на Поволжье. Поскольку развитие волны началось под влиянием тыловой части южного циклона, то в первые два дня существования волны температура понизилась только на два градуса, и в течение этих двух суток выпадали осадки из умеренной, относительно влажной воздушной массы. Впоследствии в систему этого циклона втянулся спустившийся с севера арктический фронт, результатом чего стал прорыв арктического воздуха в тыл этому циклону, что привело к более резкому понижению температуры, примерно на 3–4 °С в сутки.

Развивающееся похолодание усиливалось прохождением нескольких вторичных холодных фронтов. При этом циклон очень быстро смещался к востоку на Северный Казахстан, а на всю Центральную Россию, Урал и Западную Сибирь распространил свое влияние опустившийся с севера антициклон, который все еще оказывался соединенным перемычкой высокого давления с Арктическим антициклоном с центром севернее Новой Земли. По южной периферии этого ставшего обширным антициклона проходила

ветвь малоподвижного полярного фронта, активизация которого 28 января в районе Нижней Волги и дала выпадение осадков с небольшим повышением температуры. Еще раз укажем, что вышеописанный процесс является довольно редким, гораздо чаще однодневные повышения температуры на фоне волны холода связаны с образованием волны на холодном фронте или очень быстро смещающейся серией циклонов.

В отличие от зимы, весной и летом сухих слабых и средних по интенсивности волн тепла очень мало. Сухих интенсивных теплых волн становится больше, они составляют около 80 % всех интенсивных теплых волн. Объяснение этому можно найти из анализа эталонных полей давления теплых сухих волн различных интенсивностей в эти сезоны. Оказалось, что весной и летом теплые сухие волны любых интенсивностей определяются двумя типами процессов.

Первый тип связан с влиянием восточного отрога субтропических антициклонов, воздействие которых на Нижнее Поволжье весной, и особенно летом возрастает [2, 13]. В качестве примера на рис. 4 приведено эталонное поле давления сухой интенсивной волны тепла 12 июля 2006 года, которая была обусловлена влиянием субтропического антициклона.

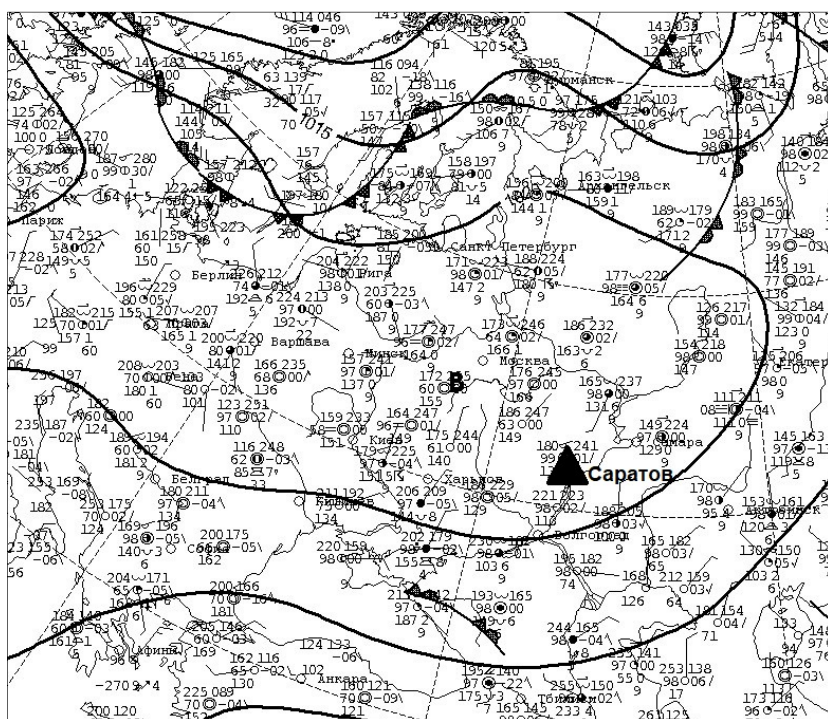


Рис. 4. Фрагмент приземной карты за 12 июля 2006 года.
Fig. 4. Fragment of the surface weather map for July 12, 2006.

При втором типе процессов сухие волны тепла весной, и гораздо реже летом могут определяться переходной зоной между теплым сектором полярнофронтового циклона и западной периферией стационарного антициклона с центром над Казахстаном или Средней Азией. При таком процессе происходит мощное поступление тепла на территорию, к чему добавляется радиационный прогрев в условиях стационарирования антициклона. Поэтому теплых сухих волн средней, и тем более малой интенсивности весной и летом практически нет.

Согласно визуальному анализу процессов потепления в апреле и июле за 2000–2021 гг., не оказалось ни одного случая формирования сухой волны любой интенсивности по второму типу процессов. В то же время в мае преобладающее число теплых сухих волн определяется поступлением тепла по западной периферии стационарного антициклона, расположенного восточнее Поволжья. По-видимому, это объясняется тем, что в июле над Сибирью, Средней Азией и Казахстаном формируется термическая депрессия, а в апреле теплые сухие волны формирует восточный отрог субтропического антициклона. В качестве примера процессов второго типа приведем эталонное поле давления сухой волны тепла мая (рис. 5).

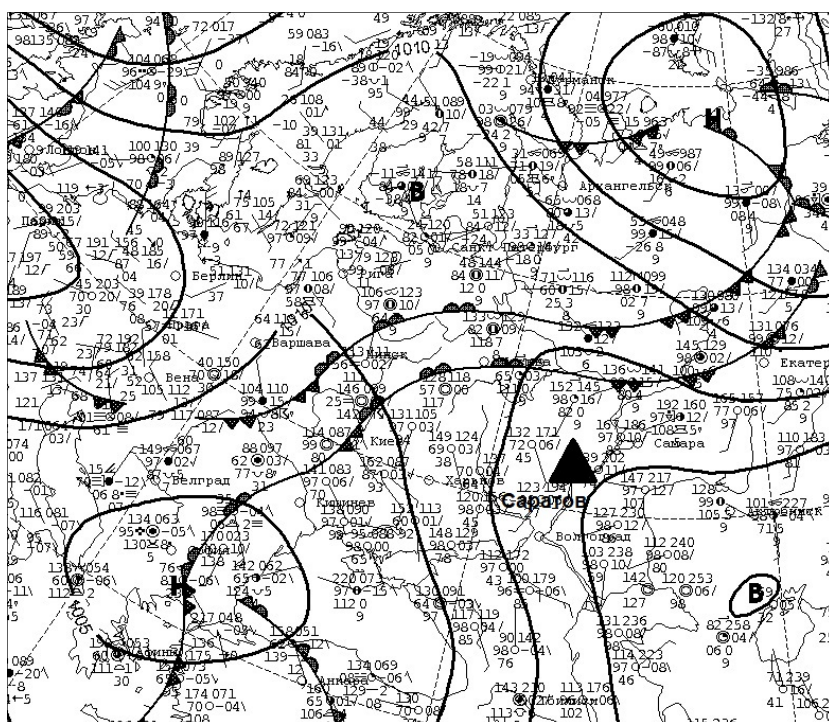


Рис. 5. Фрагмент приземной карты 18 мая 2007 года.

Fig. 5. Fragment of the surface weather map May 18, 2007.

Влажные теплые волны любой интенсивности весной и слабой и средней интенсивности летом возникают, когда теплый воздух поступает по южной или юго-восточной периферии полярнофронтовых депрессий, а осадки определяются зоной влияния либо теплого фронта, либо фронтов окклюзии в теплых секторах циклонов. В качестве примера приведем эталонное поле давления влажной интенсивной волны тепла апреля, которым, согласно объективному анализу приземных барических полей, стало поле давления за 20 апреля 2005 года (рис. 6).

Интенсивное потепление продолжалась с 18 по 23 апреля и было связано с поступлением теплой воздушной массы с юга в передней части полярнофронтового циклона, а осадки выпадали под влиянием теплого фронта и фронта окклюзии, последовательно проходящих через п. Саратов.

Напомним, что летом очень мало влажных интенсивных теплых волн. За весь рассматриваемый период 2000–2021 гг. в июле наблюдалась только одна интенсивная влажная волна тепла, которая продолжалась со 2 по 10 июля 2006 г. с перепадом температур около 11 °С. На фоне этой волны один день 4 июля выпали небольшие осадки с суточным количеством 0,5 мм. Волна тепла стала развиваться после того, как на территорию поступила холодная воздушная масса в тылу циклона. При тыловых заторах произошло выпадение небольшого количества осадков, связанных с развитием конвективной облачности.

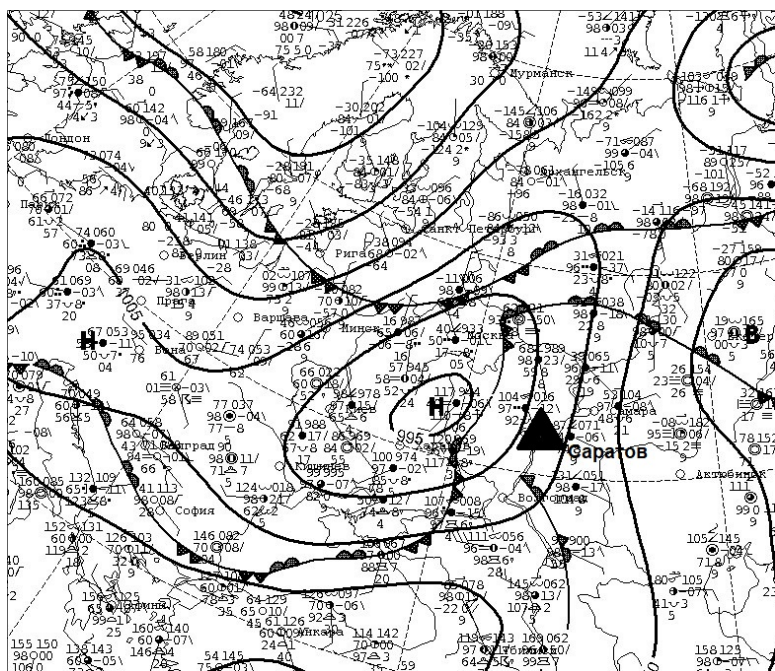


Рис. 6. Фрагмент приземной карты за 20 апреля 2005 года.
Fig. 6. Fragment of the surface weather map for April 20, 2005.

Одновременно с этим происходил трансформационный прогрев поступающей на территорию холодной воздушной массы, что способствовало повышению температурного фона и формированию продолжительной волны тепла. Отметим, что характерной особенностью летних процессов потепления является значительный вклад радиационного фактора, способствующего трансформации воздушных масс, в то время как в другие сезоны теплые волны формируются преимущественно адвективными процессами. Очень часто при таких процессах трансформации сухого арктического воздуха в местный тропический в Нижнем Поволжье развиваются сильные засухи [2, 13].

Объективный анализ (расчет евклидова расстояния) приземных барических полей и синоптический анализ эталонных полей давления сухих и влажных волн тепла и холода осенью подтвердили выявленные особенности осуществления сухих и влажных теплых и холодных волн. Как и в предыдущих случаях, сухие волны тепла осенью определяются западной или юго-западной периферией стационарного антициклона с южным выносом воздушных масс, причем это характерно для сухих теплых волн любых интенсивностей. На рис. 7 приведено эталонное поле давления волны тепла средней интенсивности.

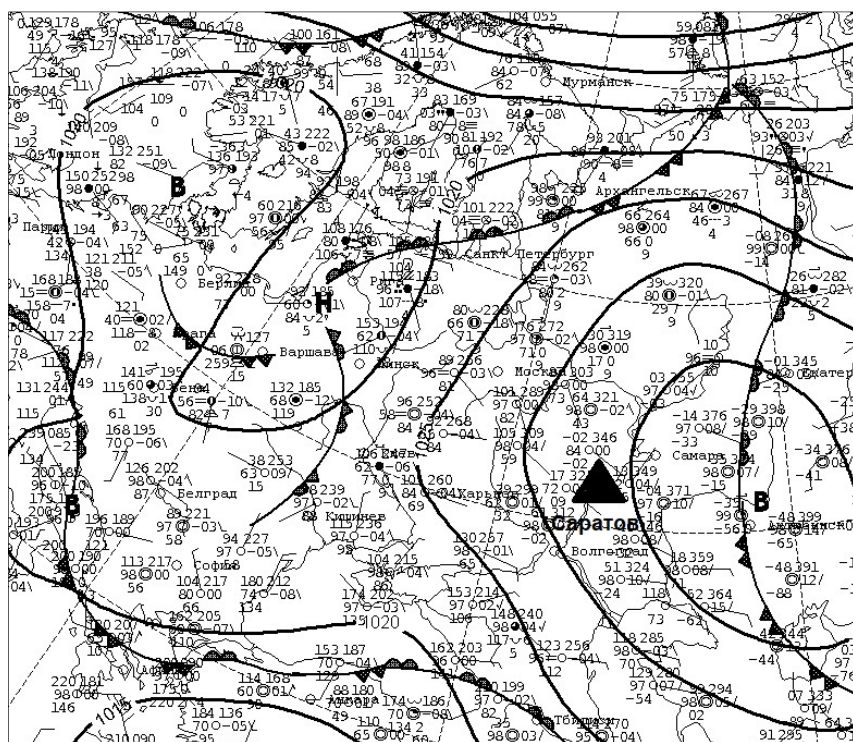


Рис. 7. Фрагмент приземной карты за 3 октября 2007 года.

Fig. 7. Fragment of the surface weather map for October 3, 2007.

Потепление на Средней и Нижней Волге развивалось при поступлении воздуха с юго-востока, по западной периферии устойчивого антициклона с центром над Казахстаном, что способствовало сохранению теплой сухой погоды.

Эталонные поля влажных теплых волн различных интенсивностей также оказались схожи между собой. Влажные волны тепла осенью, как и в другие сезоны, формируются под влиянием южных или юго-восточных частей полярнофронтальных депрессий, в ложбинах которых проходят фронтальные раздели, определяющие выпадение осадков. Сухие волны холода различной интенсивности осенью определяются влиянием арктических антициклонов, а влажные – тыловыми частями циклонов с выпадением осадков на вторичных холодных фронтах.

Заключение

В результате проведенного исследования можно заключить:

1. Во все сезоны года влажные и теплые, и холодные волны формируются в циклонических формах барического рельефа, стимулирующих образование и выпадение осадков, сухие – в условиях антициклонов, способствующих размыванию облачности.

2. Зимой практически не бывает сухих волн тепла, так как теплые волны зимой связаны с адвективными факторами – поступлением теплых воздушных масс в передней части циклонов. Летом, напротив, очень мало влажных теплых волн, так как летние волны тепла формируются в антициклональном поле: либо при распространении отрога субтропического антициклона, либо трансформационными процессами в сухих арктических ядрах высокого давления, поступивших на территорию Среднего и Нижнего Поволжья.

Список литературы

1. Адрианова Л.В. Особенности распределения волн холода и тепла в экстремально-теплых и экстремально-холодных июнях // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. Саратов. 1971. Вып. 7. С. 78-82.
2. Архангельский В.Л. Региональная синоптика Нижнего Поволжья. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1968. 208 с.
3. Архангельский В.Л., Никанорова Л.В. Волны холода и тепла в тропосфере и стратосфере над южным Предуральем // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. Саратов. 1970. Вып. 6. С. 64-74.
4. Байдал М.Х., Серебрякова А.А. Климатические особенности волн холода в Казахстане в холодное время года // Труды КазНИГМИ. 1955. Вып. 5. С. 37-43.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Оценка возможного вклада глобального потепления и генезис аномально жарких летних сезонов на Европейской территории РФ // Известия РАН. ФАО. 2011. Т. 47, № 6. С. 717-721.
6. Дуйцева М.А., Педь Д.А. Особенности волн холода и тепла на Европейской территории СССР // Труды ЦИП. 1963. Вып. 123. С. 34-62.
7. Исаев Э.А. Исследование синоптических процессов, приводящих к резкому понижению температуры на Европейской территории СССР // Труды ЦИП. 1957. Вып. 51. С. 44-82.

8. Клещенко Л.К. Волны тепла и холода на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 76-91.
9. Морозова С.В. Исследование синоптических процессов методом эталонов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. 164 с.
10. Морозова С.В. Прогноз волн тепла и холода для Саратовской области с использованием физико-статистического метода В.Ф. Мартазиновой «плавающий аналог» // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 363. С. 138-159.
11. Морозова С.В., Полянская Е.А., Пужлякова Г.А., Фетисова Н.А. К вопросу обобщения гидрометеорологической информации // Изв. Саратов. ун-та. 2004. Том. 4. Вып. 1-2. С. 157-161.
12. Морозова С.В., Абанников В.Н., Полянская Е.А., Алимпиева М.А. Климатология сухих и влажных волн тепла и холода различной интенсивности // Географический вестник. 2002. №4 (63). С. 80-89.
13. Полянская Е.А. Синоптические процессы и явления погоды Нижнего Поволжья. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1986. 208 с.
14. Полянская Е.А., Морозова С.В., Пужлякова Г.А., Фетисова Н.А. Физико-статистический метод прогноза резких колебаний температуры воздуха в течение месяца. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2002. 24 с.
15. Рочева Э.В., Смирнов В.Д. О тенденциях и изменениях продолжительности «волн тепла» на территории России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Том 25. С. 94-114.
16. Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Вероятностный прогноз теплых и холодных зимних погодных условий на территории Беларуси // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 345. С. 144-154.
17. Салихова Д.Х. О некоторых характеристиках волн тепла в свободной атмосфере над Ташкентом // Труды САНИГМИ. 1966. Вып. 25 (40). С. 18-20.
18. Срезневский Б.И. Волны холода от Новой Земли до Персии, Индии и Якутской области // Метеорологический вестник. 1899. Вып. 4. С. 107-110.
19. Храбров Ю.Б. Исследование календарных особенностей похолоданий и потеплений в Москве // Труды ЦИП. 1967. Вып. 150. 158 с.
20. Хромов С.П. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 568 с.
21. CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). 2002. <http://etccdi.pacificclimate.org>.
22. Changnon S.A., Kunkel K.E., Reinke B.C. Impacts and responses to the 1995 heat wave. A call to action // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. Vol. 177. P. 1497-1506.
23. Robimson P.J. Definition of a Heat Wave // J. Appl. Meteorol. 2000. Vol. 40. P. 262-775.

References

1. Adrianova L.V. Osobennosti raspredeleniya voln kholoda i tepla v ekstremal'no-teplykh i ekstremal'no-kholodnykh iyunyakh. *Voprosy klimata i pogody Nizhnego Povolzh'ya*, 1971, vol. 7, pp. 78-82 [in Russ.].
2. Arkhangel'skiy V.L. Regional'naya sinoptika Nizhnego Povolzh'ya. Saratov, SSU publ., 1968, 208 p. [in Russ.].
3. Arkhangel'skiy V.L., Nikanorova L.V. Volny kholoda i tepla v troposfere i stratosfere nad yuzhnym Predural'yem. *Voprosy klimata i pogody Nizhnego Povolzh'ya*, 1970, vol. 6, pp. 64-74 [in Russ.].
4. Baydal M.Kh., Serebryakova A.A. Klimaticheskiye osobennosti voln kholoda v Kazakhstane v kholodnoye vremya goda. *Trudy Kazakhskogo nauchno-issledovatel'skogo geologorazvedochnogo nefryanogo instituta*, 1955, vol. 5, pp. 37-43 [in Russ.].
5. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. Otsenka vozmozhnogo vklada global'nogo potepleniya i genезis anomal'no zharkikh letnikh sezonov na Yevropeyskoy territorii RF. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 717-721 [in Russ.].

6. Duytseva M.A., Ped' D.A. Osobennosti voln kholoda i tepla na Yevropeyskoy territorii SSSR. *Trudy Tsentral'nogo instituta prognozov*, 1963, vol. 123, pp. 34-62 [in Russ.].
7. Isayev E.A. Issledovaniye sinopticheskikh protsessov, privodyashchikh k rezkomu ponizheniyu temperatury na Yevropeyskoy territorii SSSR. *Trudy Tsentral'nogo instituta prognozov*, 1957, vol. 51, pp. 44-82 [in Russ.].
8. Kleshchenko L.K. Volny tepla i kholoda na territorii Rossii. *Sbornik trudov FGBU «VNI-IGMI-MTSD»*, 2010, vol. 175, pp.76-91 [in Russ.].
9. Morozova S.V. Issledovaniye sinopticheskikh protsessov metodom etalonov. Saratov, SSU publ., 2013, 164 p. [in Russ.].
10. Morozova S.V. Prognoz voln tepla i kholoda dlya Saratovskoy oblasti s ispol'zovaniyem fiziko-statisticheskogo metoda V.F. Martazinovoy «Plavayushchiy analog» [Forecast of waves of warmth and cold for the Saratov region using physic-statistical method of V.F. Martazinova "floating analog"]. *Trudy Gidrometcentra Rossii [Proceedings of Hydrometcentre of Russia]*, 2017, vol. 363, pp. 138-159 [in Russ.].
11. Morozova S.V., Polyanskaya E.A., Puzhlyakova G.A., Fetisova N.A. K voprosu obobshcheniya gidrometeorologicheskoy informatsii. SSU publ., 2004, vol. 4, pp. 157-161 [in Russ.].
12. Morozova S.V., Abannikov V.N., Polyanskaya E.A., Alimpieva M.A. Klimatologiya sukhikh i vlazhnykh voln tepla i kholoda razlichnoy intensivnosti. *Geograficheskij vestnik*, 2002, no. 4 (63), pp. 80-89 [in Russ.].
13. Polyanskaya E.A. Sinopticheskiye protsessy i yavleniya pogody Nizhnego Povolzh'ya. Saratov, SSU publ., 1986, 208 p. [in Russ.].
14. Polyanskaya E.A., Morozova S.V., Puzhlyakova G.A., Fetisova N.A. Fiziko-statisticheskij metod prognoza rezkikh kolebaniy temperatury vozdukh v techeniye mesyatsa. Saratov, SSU publ., 2002, 24 p. [in Russ.].
15. Rocheva E.V. Smirnov V.D. O tendentsiyakh i izmeneniyakh prodolzhitel'nosti «voln tepla» na territorii Rossii. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2013, vol. 25, pp. 94-114 [in Russ.].
16. Sadokov V.P., Kozel'tseva V.F., Kuznetsova N.N. Veroyatnostnyy prognoz teplykh i kholodnykh zimnykh pogodnykh usloviy na territorii Belarusi. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of Hydrometcenter of Russia]*, 2011, vol. 345, pp. 144-154 [in Russ.].
17. Salikhova D.Kh. O nekotorykh kharakteristikakh voln tepla v svobodnoy atmosfere nad Tashkentom. *Trudy Sredneaziatskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta*, 1966, vol. 25 (40), pp. 18-20 [in Russ.].
18. Sreznevskiy B.I. Volny kholoda ot Novoy Zemli do Persii, Indii i Yakutskoy oblasti. *Meteorologicheskij vestnik*, 1899, vol. 4, pp. 107-110 [in Russ.].
19. Khrabrov Yu.B. Issledovaniye kalendarnykh osobennostey pokholodaniy i potepleny y Moskve. *Trudy Tsentral'nogo instituta prognozov*, 1967, vol. 150, 158 p. [in Russ.].
20. Khromov S.P. Meteorologicheskij slovar. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1974, 568 p. [in Russ.].
21. CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Available at: <http://etccdi.pacificclimate.org>.
22. Changnon S.A., Kunkel K.E., Reinke B.C. Impacts and responses to the 1995 heat wave. A call to action. *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 1996, vol. 177, pp.1497-1506.
23. Robimson P.J. Definition of a Heat Wave. *J. Appl. Meteorol.*, 2000, vol. 40, pp. 262-775.

Поступила 23.03.2023; одобрена после рецензирования 30.05.2023;
принята в печать 13.06.2023.

Submitted 23.03.2023; approved after reviewing 30.05.2023;
accepted for publication 13.06.2023.