

УДК 551.513.2

Оценка гидротермического режима центральной части Русской равнины в зависимости от типов Б.Л. Дзердзеевского

Леонид Мусамудинович Акимов,

E-mail: akl63@bk.ru, E-mail: office@main.vsu.ru, Сайт: www.vsu.ru

Воронежский государственный университет, 394006 ул. Университетская площадь, 1, Воронеж, Россия.

Key words: *solar radiation, Hadley cell, Ferrel cell, polar cell, zonal and meridional circulation.*

Abstract: *The role of solar activity and the formation of "vertical cells" of the general circulation of the atmosphere. It is proposed to consider the vertical cell atmospheric general circulation (Hadley cell, the cell Ferrel, polar cell) as a multi-tier, closed, self-regulating system consisting of a pair of "Cyclone - anticyclone" limited vertical - the tropopause, and across - the boundaries of the air mass within which the heat - and moisture exchange takes place adiabatically.*

Предложенный Э. Пальменом [4] механизм работы ячеек общей циркуляции атмосферы дает общее перераспределение тепла между экватором и полюсом, но не учитывает существенную роль в поддержании постоянства термического режима циклонов и антициклонов. Предлагаю рассматривать вертикальные ячейки общей циркуляции атмосферы (ячейка Гадлея, ячейка Ферреля, полярная ячейка) как многозвенные замкнутые, саморегулирующиеся системы, состоящие из пары «циклон – антициклон», ограниченные по вертикали – тропопаузой, а по горизонтали - границами воздушной массы, внутри которой тепло- и влагообмен происходит по адиабатическим законам. Циклоны и антициклоны в этом случае являются своеобразными «миксерами природы», способствующими перемешиванию воздушной массы в вертикальном и горизонтальном направлении. Следует отметить, что внутри каждой вертикальной ячейки в южной периферии вертикальной ячейки наблюдаются восходящие движения воздуха, а в северной периферии – нисходящие. Поэтому приток тепла в вертикальные ячейки общей циркуляции атмосферы, способствует усилению циклонической циркуляции в ее южной периферии и антициклонической – в северной. В данном случае циклон работает как охладитель и увлажнитель воздуха, а антициклон – нагреватель и осушитель. Не малая роль в охлаждении воздушной массы принадлежит струйным течениям, способствующим уменьшению массы опускающегося воздуха, тем самым уменьшающим нагрев воздуха у земной поверхности. Энергия нагретого за счет адиабатического опускания в антициклоне воздуха передается в вышележащую ячейку, в теплый сектор циклона. Тем самым каждая нижележащая ячейка создает импульс для работы вышележащей ячейки. Таким образом осуществляется тепло- влагообмен между ячейками общей циркуляции атмосферы. Интенсивный приток тепла с южной периферии ячейки способствует не только усилению циклонической деятельности, но и усилению антициклонов, которые в определенный момент переходят в стационарное состояние, тем самым усиливаются меридиональные процессы.

Особая роль в регуляции тепла и влаги принадлежит адиабатическим процессам, а именно силам работы сжатия и силам работы расширения в пределах одной воздушной массы. Терморегуляция внутри ячейки осуществляется путем изменения горизонтальных размеров распространения воздушной массы. Приток тепла увеличивает потенциал сил работы расширения внутри ячейки. Это в свою очередь способствует не только увеличению территории влияния воздушной массы, но при этом уменьшает ее энергетический потенциал.

При расширении ячейки она тем самым увеличивает потенциал соседних ячеек за счет их сжатия. Создается блокирование системы.

Существование циклонической циркуляции в районе северного полюса объясняется расширением границ ячейки Ферреля в полярные районы, а жара 2010 года в Центральном Черноземье влиянием северной периферии ячейки Гадлея на эту территорию.

Учитывая тот факт, что движущей силой циркуляционной системы служит разница в нагреве земной поверхности у полюсов и на умеренных широтах, на практике была проведена типизация процессов взаимодействия ячейки Ферреля (образующей конвективный поток) и полярной ячейки.

Взаимодействие этих двух ячеек общей циркуляции атмосферы не является жестким и в силу многофакторности процессов, их обуславливающих, наблюдается проникновение за границы действия каждой из них. Поэтому у поверхности Земли наблюдается многообразие взаимообусловленных типов циркуляции, определяющих гидротермический режим территорий.

Влияние типов циркуляции атмосферы внетропических широт северного полушария на гидротермический режим центральной части Русской равнины изучалось для различных сезонов года за период наблюдений с 1948 по 2014гг. Полученные результаты позволили выявить пространственно-временные особенности распределения аномалии температуры и осадков в центральной части Русской равнины при различных типах циркуляции Б. Л. Дзержевского [1 - 3].

Для анализа воздействия солнечной активности на гидротермический режим территории Русской равнины для каждого календарного месяца были проанализированы и построены средние поля температуры, а также рассчитаны разности отклонения вероятностей выпадения осадков от среднего многолетнего за период наблюдений 1948 – 2014гг. Применение вероятности выпадения осадков $>0,1$ мм для исследования увлажнения территорий связано с тем, что фактические значения количества осадков не подчиняются нормальному закону распределения и имеют очень большой разброс, в отличие от вероятностей их выпадения. Полученные значения в каждой точке рассматриваемого пространства использовались для дальнейших исследований в качестве эталонных значений.

Пространственное распределение средней многолетней температуры в июле за период наблюдений 1948 – 2014гг. представляет собой не четко выраженное широтное распределение с увеличением значений температуры с северо-запада (Смоленск $17,3^{\circ}\text{C}$) на юго-восток (Ростов – на – Дону $23,2^{\circ}\text{C}$). Характер распределения вероятности выпадения осадков $>0,1$ мм за данный период аналогичен полю температуры. Наибольшая вероятность выпадения осадков, наблюдается на северо-западе Русской равнины, на станциях Смоленск (44,2%) и Москва (44,7%). Наименее вероятны осадки на юге рассматриваемой территории (Харьков 26,6%, Саратов 27,1%).

Для выявления солнечно-активных связей и гидротермического режима центральной части Русской равнины была произведена классификация интенсивности солнечного излучения на 3 класса (Min, Norm, Max). Для этого функция распределения солнечной активности была разделена на три равные 33,3% - квантили, которые в дальнейшем с учетом изменения поляризации магнитного поля были разделены еще на 2 подкласса восходящей и нисходящей линии солнечного цикла. В результате получено 6 классов солнечной активности: восходящая ветвь: MinUp, NormUp, MaxUp; нисходящая ветвь: MinDown, NormDown, MaxDown. Для каждого полученного класса солнечной активности были построены поля аномалий температуры и разностей вероятности выпадения осадков $>0,1$ мм. В связи с ограниченностью материала статьи, для примера, рассмотрим анализ солнечно-земных связей с гидротермическим режимом территории центральной части Русской равнины в июле месяце на восходящей ветви солнечной активности класса MinUp.

В связи с тем, что центральная часть территории Русской равнины расположена в ячейке Ферреля, предполагается, что влияние солнечной активности будет сказываться на положении, размерах и интенсивности вертикальных движений воздуха в ней. При малой

солнечной активности наибольшим энергетическим потенциалом обладает ячейка Гадлея, т.к. она охватывает экваториальную зону, где наибольший приток солнечной радиации. Это приводит к увеличению ее интенсивности и площади по отношению к другим ячейкам. Таким образом, ячейка Гадлея будет проникать на территорию действия ячейки Ферреля. Интенсивность ячейки Ферреля за счет малого притока тепла незначительна, ее воздействие на полярную ячейку также не существенно. Поэтому следует предположить, что при ослаблении ячейки Ферреля ее будет «выдавливать» ячейка Гадлея, а именно ее северная периферия с нисходящими движениями воздуха и гидротермическим режимом субтропических антициклонов. При усилении ячейки Ферреля, наоборот, следует ожидать увеличения ее площади и размеров за счет ячейки Гадлея и полярной ячейки.

Анализ аномалии температуры и разности вероятности выпадения осадков для класса MinUp для июля месяца представлены на рис. 1.

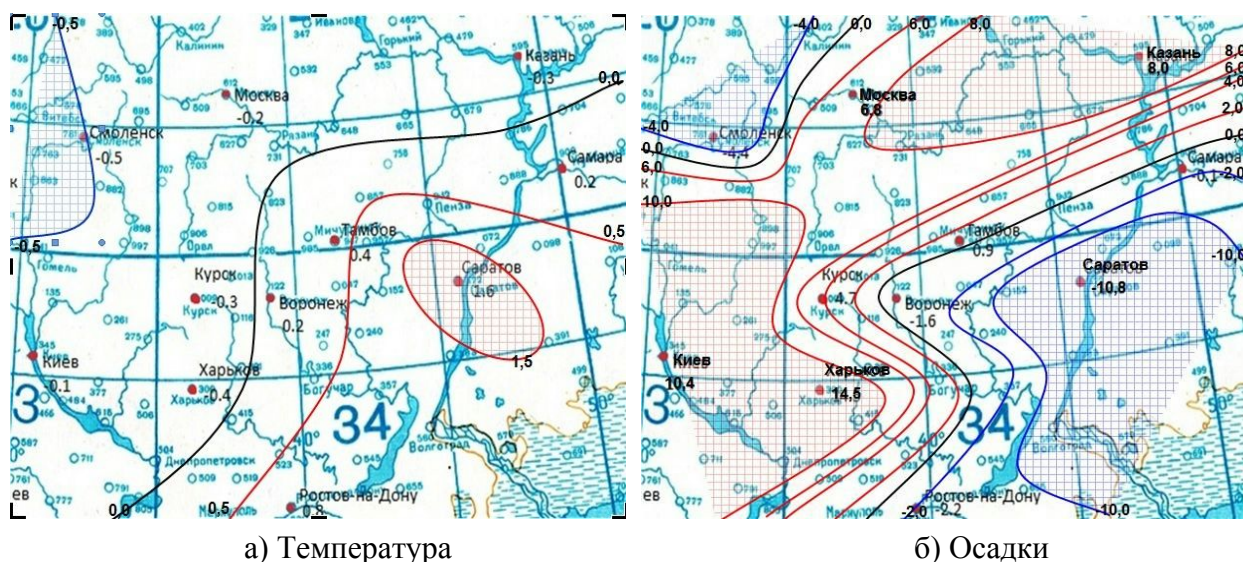


Рис. 1. Класс MinUp

Исходя из вышеизложенной гипотезы, а также анализа рисунка 1, следует предположить, что при минимальном классе солнечной активности на восходящей ветви (MinUp) ячейка Ферреля ослаблена. Южная периферия ячейки Ферреля, расположенная в центральной части Русской равнины, слабо развита и имеет псевдоширотную направленность: Харьков – Киев – Москва – Казань с циклоническим типом погоды. Юго-восток рассматриваемой территории, а именно центральная часть Поволжья, находится под влиянием северной периферии ячейки Гадлея. Здесь располагается гребень тепла с превышением среднего многолетнего значения температуры на $1,6^{\circ}\text{C}$ в районе Саратова. Положительные аномалии температуры на юго-востоке Русской равнины при классе солнечной активности MinUp обусловлены адиабатическими процессами, а именно, наблюдается увеличение работы сил расширения со стороны ячейки Гадлея против сил сжатия ячейки Ферреля. Активная циклоническая деятельность в южной периферии ячейки Ферреля определяет незначительную отрицательную аномалию температуры в Украине ($-0,1^{\circ}\text{C}$ Киев, $-0,4^{\circ}\text{C}$ Харьков), а также в центральных районах России ($-0,3^{\circ}\text{C}$ Курск, $-0,2^{\circ}\text{C}$ Москва) и в Казани $-0,3^{\circ}\text{C}$. Северо-запад находится под влиянием северной периферии ячейки Ферреля с нисходящими движениями воздуха, обуславливающими формирование Скандинавского антициклона. В районе Смоленска наблюдается адвекция холода ($-0,5^{\circ}\text{C}$).

Поле осадков, представленное на рисунке 1б, позволяет утверждать, что при данном классе солнечной активности (MinUp) в районе юго-востока Поволжья наблюдается засушливый тип погоды с уменьшением вероятности выпадения осадков (на $10,8\%$ относительно многолетней вероятности). Граница ячейки Гадлея проходит по станциям

Ростов – на – Дону, Воронеж, Тамбов, Самара. Субтропический антициклон ячейки Гадлея (Hadley), а также южная периферия ячейки Ферреля способствуют адвекции влажного воздуха с Черного моря с увеличением вероятности выпадения осадков в Украине (на 14.5% в Харькове; на 10.4% - в Киеве), в центральной части Русской равнины (на 6.8% в Москве) и в Казани на 8.0%. Скандинавский антициклон северной периферии ячейки Ферреля способствует уменьшению вероятности выпадения осадков в районе Смоленска на -4,4%.

Такое распределения температуры и вероятности выпадения осадков обусловлено особенностями циркуляционного режима атмосферы, а именно влиянием Атлантики на северо-западе Русской равнины и отрогов субтропических антициклонов на юге и юго-востоке.

Оценка взаимодействия ячейки Ферреля и полярной ячейки осуществлялась с помощью анализа повторяемости различных типов циркуляции в приполярных районах Земли при различных фазах солнечной активности.

В качестве профилирующего признака типизации Б. Л. Дзерdzeевского принято соотношение зональной и меридиональной составляющих циркуляции над полушарием. Группы зональная и нарушения зональности отражают зональный перенос в атмосфере, группы меридиональная южная и меридиональная северная — меридиональный перенос воздушных масс [5].

Повторяемость наблюдаемых в полярной ячейке классов ЭЦМ при минимуме солнечной активности на восходящей ветви MinUp представлена на рисунке 2.

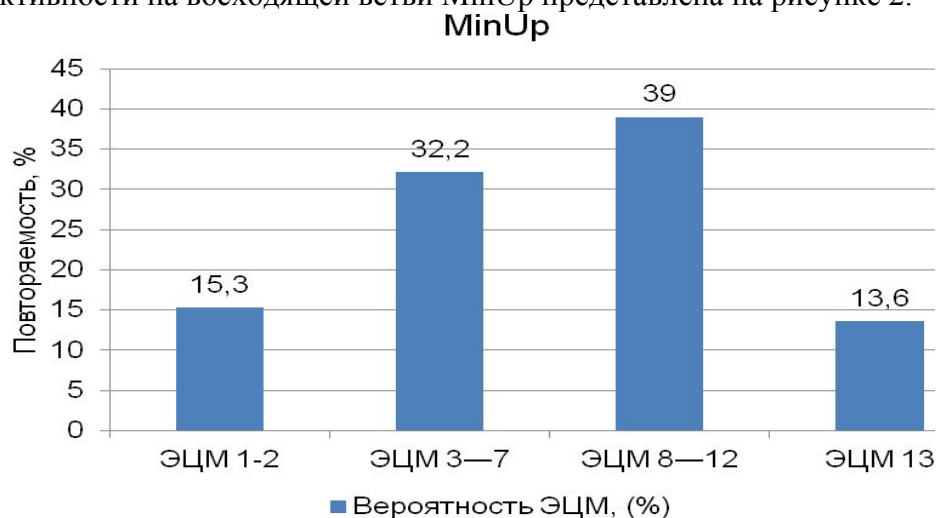


Рис. 2. Общая повторяемость ЭЦМ при классе солнечной активности MinUp

Из рисунка 2 видно, что в полярной ячейке, при классе солнечной активности MinUp, преобладает нарушение зональности (ЭЦМ 3-7), которая составляет 32,2%, а также северные меридиональные процессы (ЭЦМ 8-12 (39,0%)). Вероятность появления процессов с южной меридиональной циркуляцией (ЭЦМ 13л) незначительна и составляет 13,6%, что меньше вероятности появления зональных процессов ЭЦМ 1-2 (15,3%).

Более детальный анализ циркуляционных процессов при минимуме солнечной активности на восходящей фазе представлен на рисунке 3.

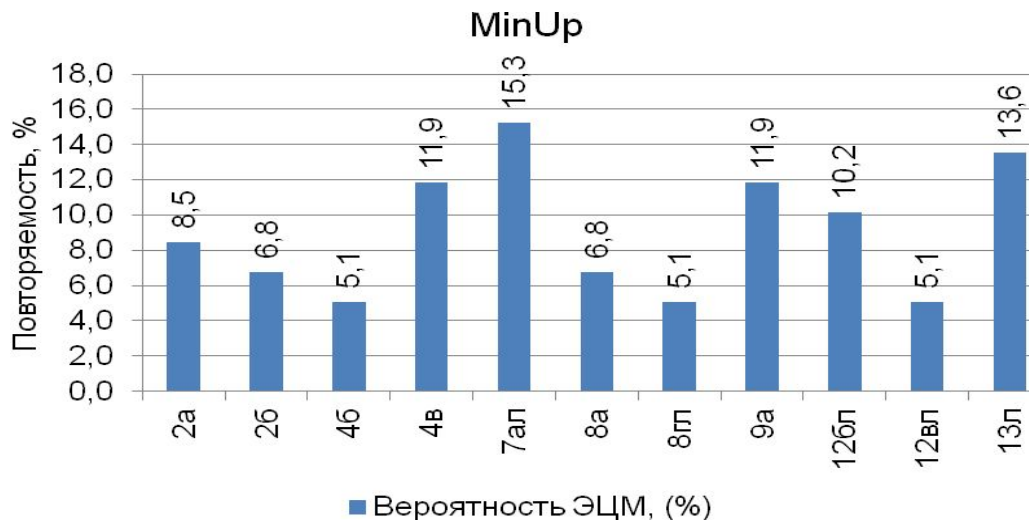


Рис. 3. Повторяемость типов циркуляции при классе солнечной активности MinUp

На рисунке видно, что при классе солнечной активности MinUp велика вероятность появления зональных процессов (2а – 8,5% и 2б – 6,8%). Преобладающими типами циркуляции являются типы нарушения зональной циркуляции 7ал (15,3%) и 4в – 11,9%). Вероятность появления северных меридиональных процессов, несмотря на большую суммарную повторяемость, не столь велика. Наиболее часто появляются типы 9а – 11,9% и 12бл – 10,2%.

Дальнейшее изменение интенсивности солнечной активности ведет к усилению адиабатических процессов внутри вертикальных ячеек общей циркуляции атмосферы и изменению их интенсивности (рис. 4).

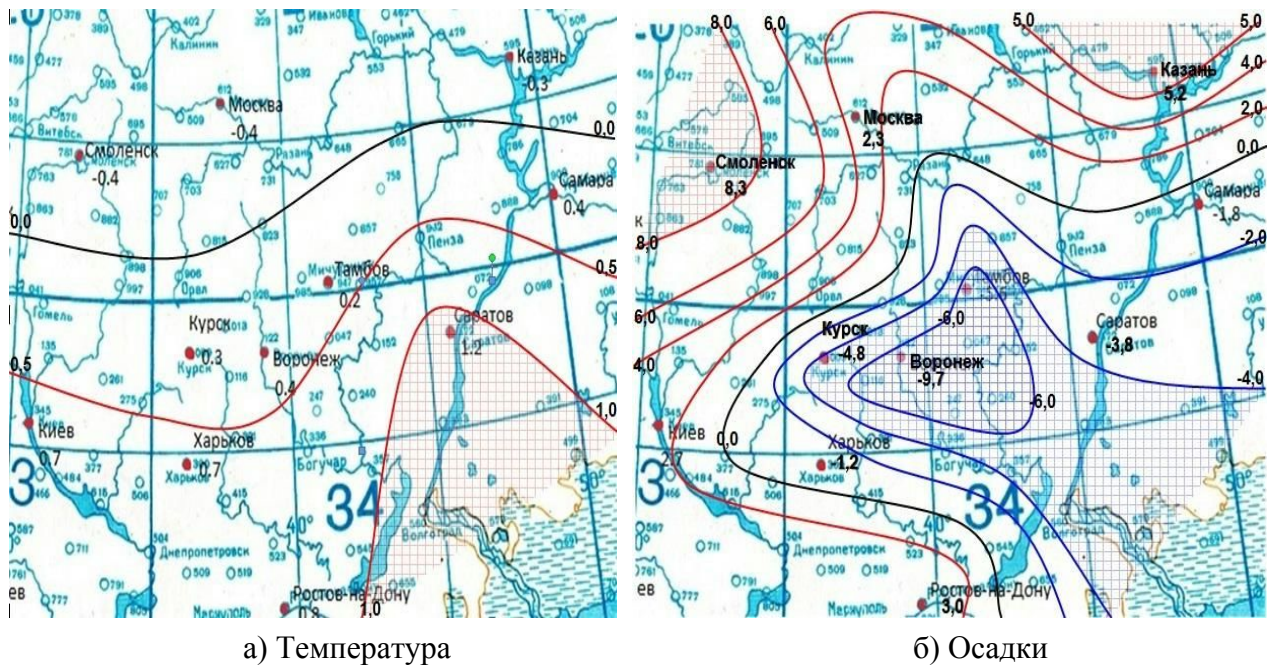


Рис. 4. Пространственное распределение гидротермических характеристик при классе NormUp.

В ячейке Гадлея происходит дальнейшее увеличение работы сил расширения, она охватывает огромную территорию Центрально-черноземного региона (Курск, Воронеж, Тамбов), а также юг Поволжья (Саратов). Также наблюдается усиление и расширение ячейки Ферреля, которая смещается в более высокие широты. На южной периферии ячейки Ферреля, по линии Смоленск, Москва, Казань наблюдается незначительная адвекция холода,

вызванная активизацией циклонических процессов и адвекцией влажного, прохладного воздуха с Атлантики. Распределение гидротермических показателей имеет более выраженный широтный характер. Площадь засушливой территории охватывает большую часть центра Русской равнины. Очаг засушливости с Поволжья смещается к западу и наблюдается в районе Центрального Черноземья с центром в Воронеже, где дефицит выпадения осадков достигает – 9,7%. На юго-востоке территории наблюдается гребень тепла, достигающий значений 1,2°C на станции Саратов.

Анализ повторяемости различных типов циркуляции в приполярных районах Земли при классе NormUp представлен на рисунке 5.

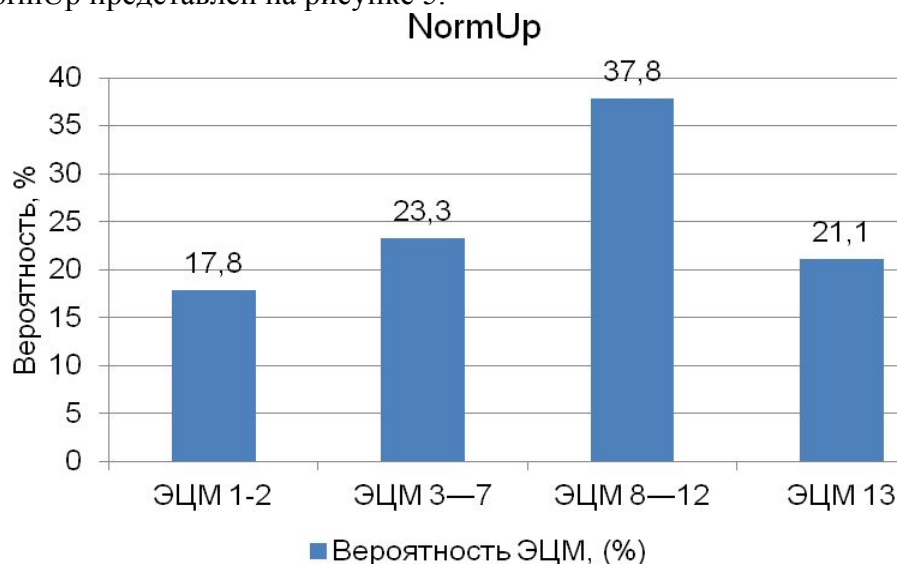
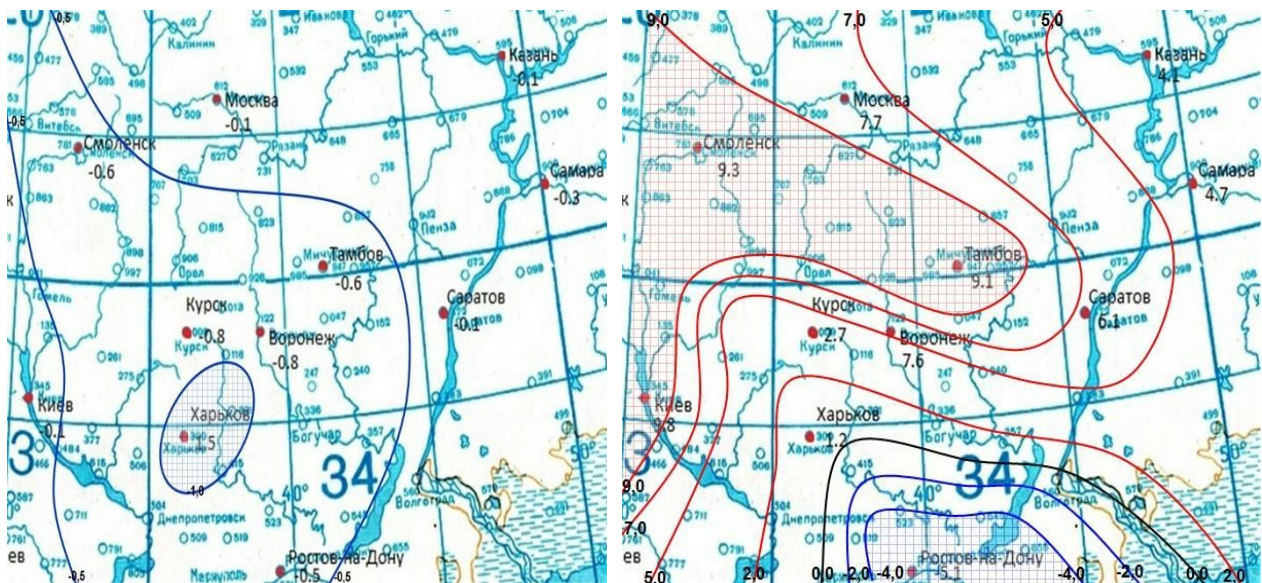


Рис. 5 Общая повторяемость ЭЦМ при классе солнечной активности NormUp

Из рисунка 5 видно незначительное увеличение повторяемости зональной циркуляции ЭЦМ 1-2 до 17,8% и уменьшение нарушения зональности (ЭЦМ 3-7) до 23,3%. В целом вероятность появления зональных форм циркуляции (ЭЦМ 1-2 + ЭЦМ 3-7) уменьшилась на 6,4% с 47,5% при классе MinUp до 41,1% (NormUp). Вероятность появления северных меридиональных процессов осталась практически неизменной (ЭЦМ 8-12 (37,8%)). При классе NormUp наблюдается значительный рост вероятности появления процессов с южной меридиональной циркуляцией (ЭЦМ 13л) с 13,6% при (MinUp) до 21,1%.

При наибольшей солнечной активности на восходящей ветви - MaxUp (рис. 6), наблюдается дальнейшее усиление сил расширения и увеличение площади ячейки Ферреля и ослабление и уменьшение ячейки Гадлея.



А) Температура

Б) Осадки

Рис. 6. Пространственное распределение гидротермических характеристик при классе MaxUp

Не маловажная роль в данном случае принадлежит подстилающей поверхности, а именно суше, с большой теплопроводностью. Большой приток тепла к подстилающей поверхности способствует усилению термической конвекции воздуха, следовательно, активизации циклонической деятельности, способствующей адвекции прохладного и влажного воздуха с Атлантики, особенно на северо-западе территории. Практически вся территория Русской равнины охвачена циклонической деятельностью ячейки Ферреля. Термический режим характеризуется отрицательными аномалиями температуры, достигающими $-1,5^{\circ}\text{C}$ (Харьков). Наблюдается значительное увеличение вероятности выпадения осадков на большой территории, охватывающей Киев (9,8%) - Смоленск (9,3%) – Тамбов (9,1%) – Саратов (6,1%). Небольшой очаг засушливой территории наблюдается в районе Ростов-на-Дону, где дефицит выпадения осадков от среднего многолетнего составляет $-5,1\%$ и вызван влиянием субтропического антициклона ячейки Гадлея.

В приполярных районах Земли при классе солнечной активности MaxUp (рис. 7) наблюдается существенное уменьшение зональных процессов в сумме (ЭЦМ 1-2 + ЭЦМ 3-7) до 32,7% и значительное увеличение меридиональных южных типов циркуляции (ЭЦМ 13) до 32,7%. Следует отметить незначительное уменьшение вероятности появления северных меридиональных процессов (ЭЦМ 8-12) до 34,7%.

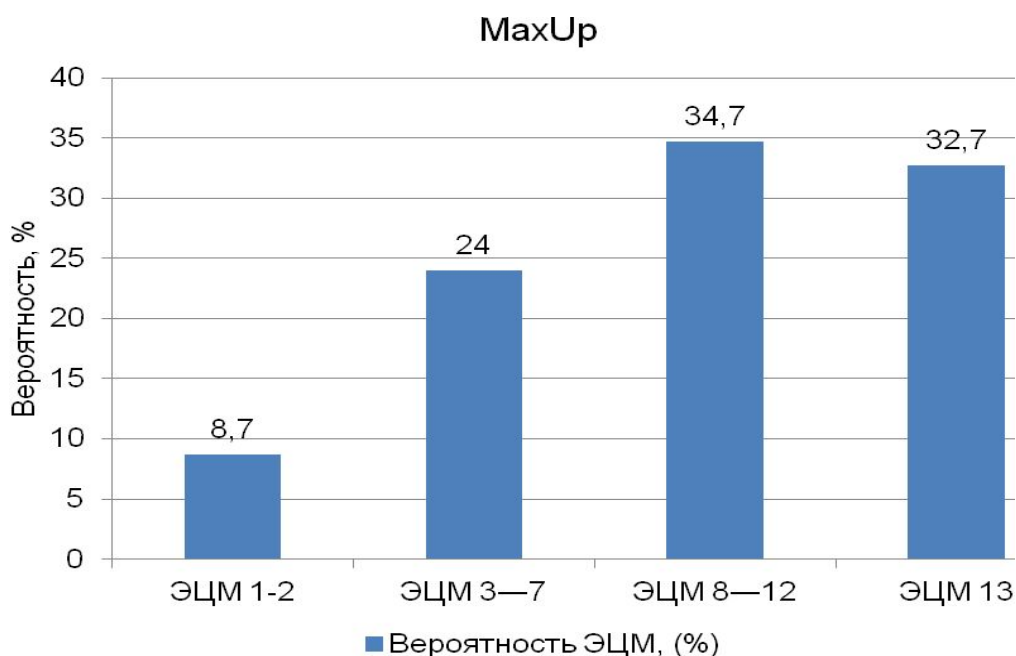


Рис. 7 Повторяемость ЭЦМ при классе солнечной активности MaxUp

Проведенный анализ позволил определить роль солнечной активности и на формирование «вертикальных ячеек» общей циркуляции атмосферы. При увеличении солнечной активности существенно увеличивается ячейка Ферреля, что способствует увеличению повторяемости меридиональных форм циркуляции в полярных районах Земли. Следует отметить, что при увеличении солнечной активности происходит существенное изменение в сторону увеличения южных меридиональных процессов (ЭЦМ 13) при незначительном снижении вероятности появления северных меридиональных процессов (ЭЦМ 8-12). Вероятность появления зональных процессов (ЭЦМ 1-2 и ЭЦМ 3-7) находится в противофазе с солнечной активностью.

Литература

1. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. // Междувед. геофиз. комитет, Институт географии АН СССР, Материалы метеорол. исслед. - Москва. 1968. - 240 с.
2. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. // Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология; Вып. 21. Центральный институт прогнозов. - М., Л., Гидрометиздат, 1946. -80 с.
3. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому/ Н.К. Кононова; отв. ред. А.Б. Шмакин; Российская акад. наук, Ин-т географии. – М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
4. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Перевод с англ. Л.: Гидрометеоздат, 1973. С. 3–38.
5. Федоров В. М. Солнечная радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы, и изменчивость циркуляционных процессов в северном полушарии. / В. М. Федоров, Н. К. Кононова //Труды ГГО., Вып. 576, 2015, стр. 183 – 200.