

УДК 551.515.7

Л.В. Недострелова, *ст. преп.*

Одесский государственный экологический университет

ЭНЕРГЕТИКА БЛОКИРУЮЩЕГО ПРОЦЕССА

Рассматривается ситуация с блокирующим антициклоном, которая наблюдалась с 9 июля по 5 августа 2003 г. Исследуются энергетические характеристики атмосферы в указанный период. Показано, что имеет место связь между изменениями энергетических характеристик и развитием блокирующего процесса.

Ключевые слова: энергетика атмосферы, преобразования энергии, блокирующий антициклон.

Постановка проблемы в общем виде. Блокирующие ситуации, которые наблюдаются в атмосфере, могут вызывать различные неблагоприятные и опасные явления над районами, где наблюдаются процесс блокирования. В данное время не существует четкого и однозначного определения процесса блокирования. По всей видимости, это связано с различными научными точками зрения на исследуемый вопрос.

Большой интерес в современной науке вызывают исследования энергетических характеристик атмосферных процессов, а особенно, блокирующих ситуаций. Энергетика позволяет рассмотреть все разнообразие динамических процессов, которые происходят в атмосферных системах различного масштаба. На современном этапе развития науки единственным фактом, который не вызывает сомнения, является существование преобразований одних видов энергии в другие, за счет чего происходит энергетическая «подпитка» атмосферных процессов одного масштаба процессами другого. Таким образом, рассматриваемая проблема состоит в наиболее глубоком и точном с точки зрения физики исследовании и описании указанных выше преобразований энергии [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее распространенное определение процесса блокирования было дано Рексом [2]. В основу определения блокирования положен некий субъективный критерий, который предполагает минимальную длительность процесса блокирования 10 дней, прослеживающуюся на картах АТ-500 гПа. Остин [3] предположил, что типичный блокирующий процесс связан с областью высокого давления на широте 60° с.ш. и низкого давления на широте 40° с.ш. Лейенас и Окленд [4], используя данную зависимость, применили разницу геопотенциальных высот между указанными широтами для создания долготного индекса блокирования. При этом долгота использовалась как блокирующая, если индекс блокирования был меньше нуля независимо от продолжительности блокирующего процесса. Тибальди и Монтени [5], исследуя возможность отображать начало и продолжительность ситуаций блокирования, несколько изменили формулировку для индекса блокирования. Методика Тибальди и Монтени была применена в данном исследовании.

Энергетика глобальной атмосферы исследуется уже на протяжении 50 лет. Взяв за основу зонально-симметричную структуру глобальной атмосферы, Лоренц в 1955 г. [6] разделил кинетическую (K) и доступную потенциальную (P) энергии на среднезональную (подстрочный индекс Z) и вихревую (подстрочный индекс E) компоненты, а также сформулировал превращение одного вида энергии в другой, основываясь на эйлеровой средней меридиональной циркуляции. За последние несколько десятилетий роль объектов синоптического масштаба как важных факторов атмосферной энергетики глобального масштаба освещена во многих научных трудах [6]. Но, как правило, в этих работах рассматривается преимущественно бюджет

кинетической энергии циклонов умеренных широт. Система уравнений для бюджетов кинетической (КЕ) и доступной потенциальной энергии (ДПЕ), предложенная Лоренцем, может применяться и для открытых атмосферных систем, которыми являются циклоны и антициклоны [7, 8].

Нерешенные аспекты проблемы. Используя энергетические характеристики для анализа эволюции вихрей синоптического масштаба, можно получить результаты, которые позволят существенно расширить представление о динамике вихрей. Расчет и анализ характеристик энергетики отдельных синоптических образований является показателем комплексного исследования их эволюции. В данной статье энергетический подход используется для исследования эволюции антициклона. Нужно заметить, что энергетика антициклонов, в отличие от циклонов, раньше исследовалась очень редко [9].

Материалы и методы исследования. В исследовании использовались данные о метеорологических величинах в узлах регулярной широтно-долготной сетки на поверхностях от АТ-1000 гПа до АТ-100 гПа для области, которая в горизонтальной плоскости ограничена 47,5° и 72,5° с.ш. и 35,0° и 52,5° в.д. Эта информация получена с сервера NCEP-NCAR, шаг составляет 2,5° по широте и долготе. Метеорологические величины, которые используются в исследованиях, это зональная и меридиональная составляющие вектора скорости ветра u и v , аналог вертикальной скорости в изобарической системе координат τ и температура воздуха T .

В исследовании была применена методика Тибальди и Монтени [5] для определения дней с блокированием. Для описания синоптического процесса использовались приземные карты и карты АТ-500 гПа за 00 часов СГВ.

Цель исследования. Выявление закономерностей изменения энергетических характеристик атмосферы на различных стадиях эволюции блокирующего антициклона.

Результаты исследования. Объектом исследования является блокирующий антициклон, который наблюдался с 9 июля по 5 августа 2003 года. Этот процесс интересен тем, что во время его существования над территорией Украины наблюдались различные конвективные явления, такие как ливни, шквалы, грозы.

Данная ситуация была разбита на два процесса. Первая ситуация – это взаимодействие блокирующего антициклона с циклоном и серией фронтов, связанных с ним. Данный процесс наблюдался с 9.07 по 13.07.2003 г. Второй – это блокирующий антициклон, который наблюдался над исследуемой территорией с 14.07 по 5.08.2003 г. По северной и южной периферии антициклона перемещаются циклоны и, связанные с ними, фронты.

Рассмотрим первый процесс и краткое описание синоптической ситуации (рис.1). Над исследуемой областью 9 июля 2003 г. наблюдается антициклон с центром над Мурманском. Антициклон имеет одну замкнутую изобару 1020,0 гПа, максимальное давление в центре 1022,3 гПа. По южной периферии антициклона проходит теплый фронт, который связан с циклоном, находящимся за границей исследуемой области. На АТ-500 гПа наблюдается гребень, который ориентирован с юга на север исследуемой области, а с севера на юг распространяется ложбина. Данные барические образования имеют хорошо выраженную меридианальность. 10 июля на карте абсолютной топографии в гребне образовался высотный антициклон, который соответствует антициклону у земли. В области ложбины наблюдается высотный циклон, которому у земли соответствует ложбина. 11 июля циклон у земли переместился в рассматриваемую область. Его центр расположен севернее Харькова, имеет одну замкнутую изобару 1005,0 гПа. Минимальное давление в центре циклона составляет

1004,3 гПа. В исследуемую область переместилась и серия фронтов, связанная с данным циклоном. К концу рассматриваемого периода в северной части области

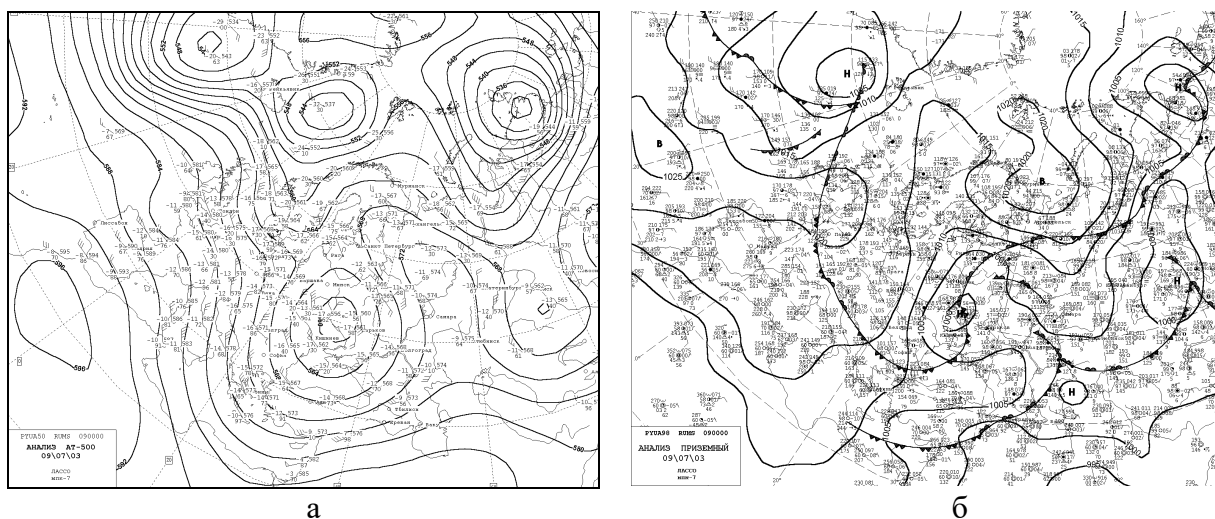


Рис. 1 – Карты АТ-500 гПа (а) и приземная (б) за 09.07.2003 г. 00 ч. СГВ.

наблюдается антициклон с одной замкнутой изобарой и максимальным значением давления 1022,2 гПа, над центром и югом – область пониженного давления с минимальным давлением южнее Москвы 1007,4 гПа. Через исследуемый район проходят теплые и холодные фронты. На высотных картах абсолютной топографии наблюдаются гребень, который соответствует антициклону у земли и циклон с квазивертикальной осью (рис. 1).

Рассмотрим второй процесс, который происходил с 14 июля по 5 августа 2003 г. (рис. 2).

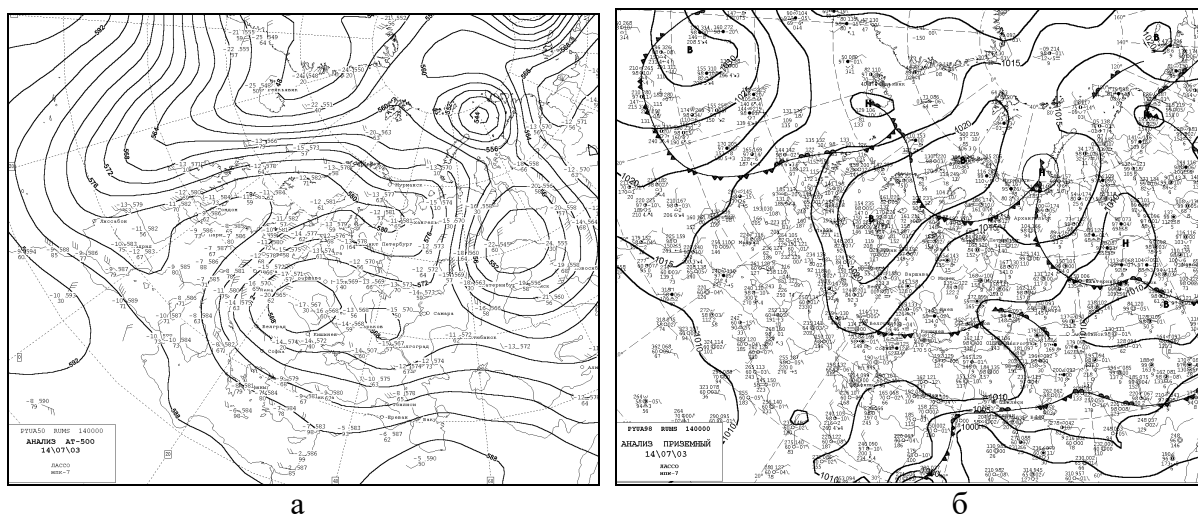


Рис. 2 – Карты АТ-500 гПа (а) и приземная (б) за 14.07.2003 г. 00 ч. СГВ.

14 июля произошла перестройка высотного барического поля. С северо-восточной части Атлантического океана на Западную Европу смещается гребень, который в области Скандинавии меняет свою ориентацию с меридиональной на зональную. Эта зонально-ориентированная часть гребня находится в области данного исследования. В районе Западной Сибири образовался мощный высотный циклон, который имеет три центра: над Карским морем, над Западной Сибирью и над Украиной и Восточной

Европой. Третий центр высотного циклона попадает в район данного исследования. В результате над исследуемой территорией в ее северной части имеет место высотный гребень, распространяющийся с Восточной Атлантики. В южной части наблюдается высотный циклон, который является отрогом от мощного циклона над Западной Сибирью. И гребень, и циклон над исследуемой областью ориентированы зонально. На приземной карте в рассматриваемом районе находится циклон над Баренцевым морем с одной замкнутой изобарой 1015,0 гПа, с минимальным давлением в центре 1014,9 гПа. С циклоном связаны теплый и холодный фронты. В юго-западной части исследуемой области наблюдается циклон с одной замкнутой изобарой 1010,0 гПа, с минимальным давлением в центре 1009,9 гПа. С циклоном также связана система фронтов. 15 июля над изучаемой территорией появляется приземный антициклон с тремя замкнутыми изобарами 1015,0, 1020,0 и 1025,0 гПа. В центре барического образования наблюдается максимальное давление 1025,8 гПа. До конца исследуемого периода в этой области стационарирует антициклон.

Для характеристики энергетики исследуемой области использовались следующие энергетические характеристики: зональная доступная потенциальная энергия P_Z , вихревая доступная потенциальная энергия P_E , зональная кинетическая энергия K_Z , вихревая кинетическая энергия K_E , а также преобразования этих энергий ($K_Z - K_E$), ($P_Z - P_E$), ($P_Z - K_Z$), ($P_E - K_E$) и интегральные переносы данных видов энергии BPZ , BPE , BKZ , BKE .

Зональная потенциальная энергия P_Z рассматриваемой области вначале исследуемого периода 9 июля максимальна и составляет $11,67 \cdot 10^5$ Дж/м² (рис. 3). При этом на приземной карте имеет место холодный антициклон, по его южной периферии проходит теплый фронт. За теплым фронтом образовался теплый сектор, который занимает всю центральную и южную части исследуемого района. Данная синоптическая ситуация усиливает меридиональный градиент температуры у земли. В антициклоне температура воздуха составляет 4,4°C, а в теплом секторе 18,1°C. На карте АТ – 500 гПа при этом наблюдается адвекция холода с севера в переднюю часть гребня. Разность температур на периферии гребня и в его центральной части составляет 7,0°C. Затем значение P_Z резко уменьшается и к концу исследуемого периода 13 июля равно $2,49 \cdot 10^5$ Дж/м². Возможно, это связано с появлением в рассматриваемой области циклона у земли и перестройкой высотного барического поля. Зональная потенциальная энергия P_Z (рис. 3) исследуемой области 14 июля при перестройке высотного барического поля имела минимальное значение $1,93 \cdot 10^5$ Дж/м². 18 июля P_Z увеличивается, так как на изобарической поверхности 500 гПа имеет место адвекция холода от высотного циклона над Западной Сибирью в исследуемую область. Перепад температур составляет 8,0°C. На приземной карте наблюдается антициклон с одной замкнутой изобарой 1020,0 гПа и максимальным давлением 1022,8 гПа. Антициклон находится на стадии регенерации. В передней части барического образования наблюдается адвекция холода. Поэтому в области антициклона имеет место перепад температур от 7,5°C до 15,2°C. К 21 июля значение P_Z уменьшается до $2,35 \cdot 10^5$ Дж/м². Видимо, это связано с адвекцией тепла, которое переместил в исследуемую область гребень с Восточной Атлантики. На АТ-500 гПа наблюдается заполнение высотного циклона и 21 июля его центру соответствует высотная ложбина, которая распространяется с Западной Сибири. Минимум зональной потенциальной энергии за весь период исследования имеет место 24 июля $0,78 \cdot 10^5$ Дж/м², когда обширная область теплого воздуха вытеснила холодный на АТ-500 гПа. У земли в это время антициклон ослабляется и смещается на юг исследуемой области. Центральная и северная части рассматриваемой территории находятся под влиянием теплого фронта от циклона над Норвегией и обширного теплого сектора, образовавшегося в результате прохождения

этого фронта. 3 августа уменьшение P_Z и дальнейший ее рост можно объяснить очередной перестройкой барического поля.

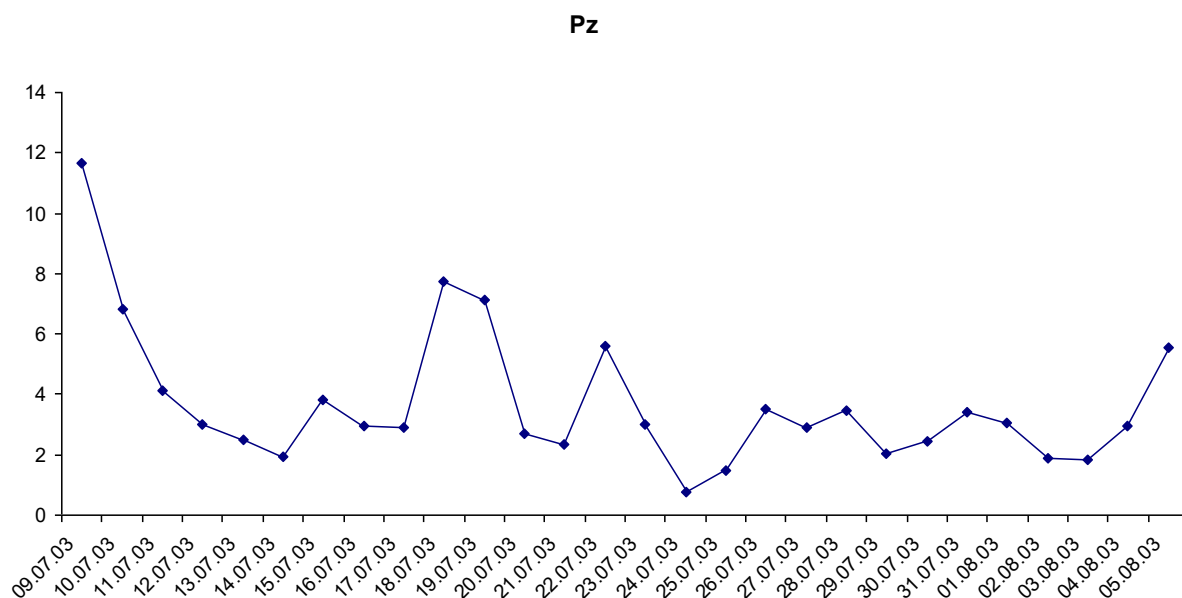


Рис. 3 – Запасы $P_Z \times 10^5$ Дж/м² за исследуемый период.

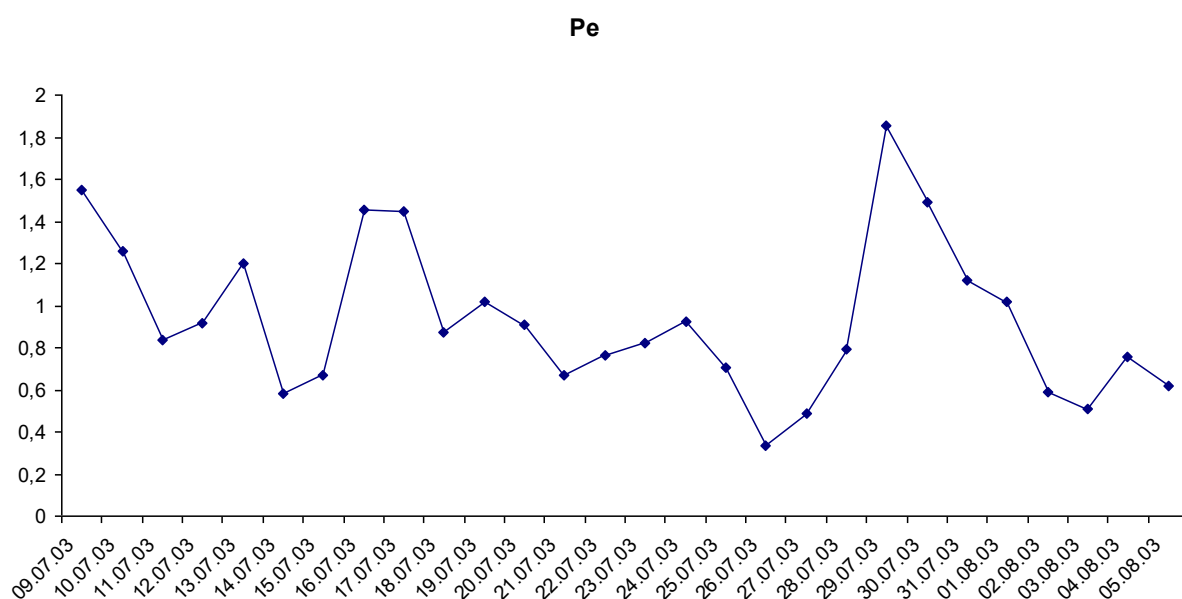


Рис. 4 – Запасы $P_E \times 10^5$ Дж/м² за исследуемый период.

Вихревая потенциальная энергия P_E в среднем повторяет ход зональной и изменяется от $1,55 \cdot 10^5$ Дж/м² 9 июля до $0,84 \cdot 10^5$ Дж/м² 11 июля (рис. 4). Небольшой скачок P_E до значения $1,20 \cdot 10^5$ Дж/м² 13 июля возможно связан с повышением температуры в циклоне у поверхности земли.

Увеличение вихревой потенциальной энергии P_E (рис. 4) 16 июля до значения $1,49 \cdot 10^5$ Дж/м², вероятно, связано с понижением температуры в передней части приземного и высотного антициклонов. При этом значение давления у земли и геопотенциала на АТ-500 гПа увеличивается. Максимум вихревой потенциальной

энергии P_E наблюдается 29 июля $1,85 \cdot 10^5$ Дж/м², когда антициклон у земли находится на максимальной стадии развития и давление в его центре равно 1030,3 гПа. Минимум P_E $0,33 \cdot 10^5$ Дж/м² наблюдается, когда антициклон у земли ослабевает и становится более теплым.

Зональная кинетическая энергия K_Z первого процесса увеличивается при усилении антициклона у земли и гребня на АТ-500. Ее значение меняется от $9,71 \cdot 10^5$ Дж/м² до $10,78 \cdot 10^5$ Дж/м² (рис. 5). Уменьшение K_Z наблюдается на стадии максимального развития антициклона у земли и на высоте, а также при максимальном углублении и заполнении высотного и приземного циклона. Зональная кинетическая энергия K_Z уменьшается и при перестройке барического поля на АТ-500 гПа. Результаты расчета зональной кинетической энергии K_Z второго процесса показали, что ее значение увеличивается при смещении в исследуемую область струйного течения, как это происходит 15, 18, 21, 31 июля (рис.5). Значения K_Z в эти дни могут увеличиваться от $12,45 \cdot 10^5$ Дж/м² до $15,68 \cdot 10^5$ Дж/м². Когда над рассматриваемым районом отсутствует струйное течение значение K_Z резко уменьшается. Зональная кинетическая энергия может увеличиваться на стадии усиления и стадии максимального развития антициклон, а также на стадии углубления и стадии максимального развития циклона. На стадии разрушения антициклона или заполнения циклона зональная кинетическая энергия уменьшается.

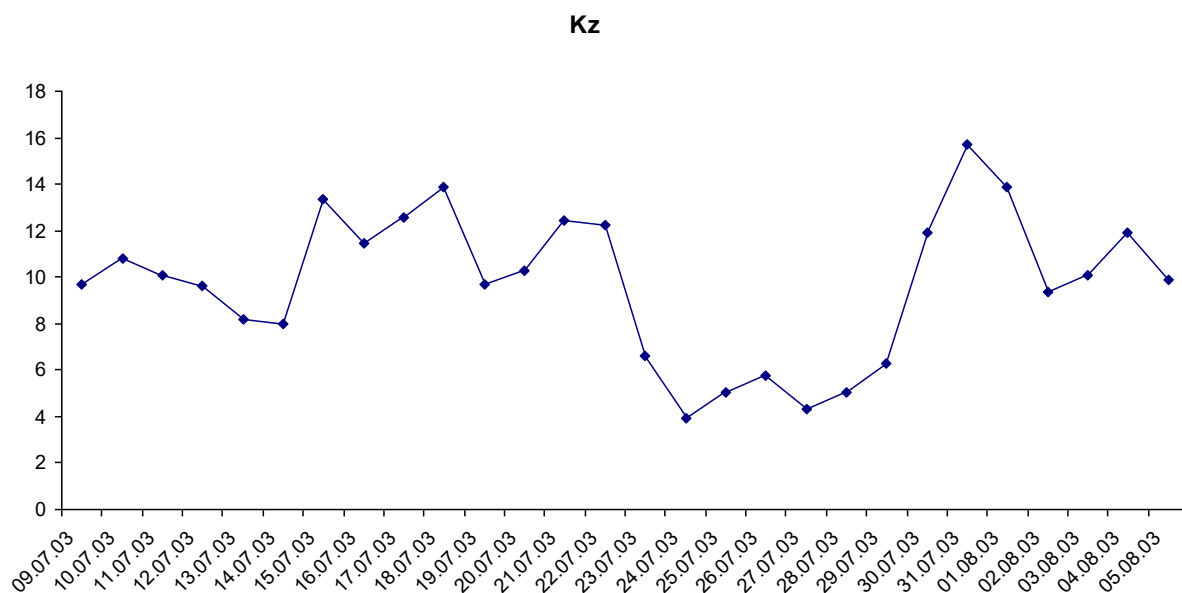


Рис. 5 – Запасы $K_Z \times 10^5$ Дж/м² за исследуемый период.

Вихревая кинетическая энергия K_E исследуемого первого процесса (рис.6) увеличивается при усилении антициклогенеза как у земли, так и на высотах. Значения K_E изменяются от $1,59 \cdot 10^5$ Дж/м² до $3,38 \cdot 10^5$ Дж/м². Максимуму K_E соответствует совпадение приземного и высотного циклона. Уменьшение вихревой K_E происходит при заполнении циклона и при перестройке высотного барического поля. Вихревая кинетическая энергия K_E второго процесса (рис. 6) увеличивается при усилении и на стадии максимального развития приземного и высотного антициклонов, а также при перемещении в исследуемую область циклона, находящегося в стадии максимального развития. Увеличение K_E также происходит при усилении фронтальной деятельности на северной и южной перифериях приземного антициклона. Уменьшается вихревая кинетическая энергия K_E при уменьшении давления в антициклоне и при заполнении антициклона.

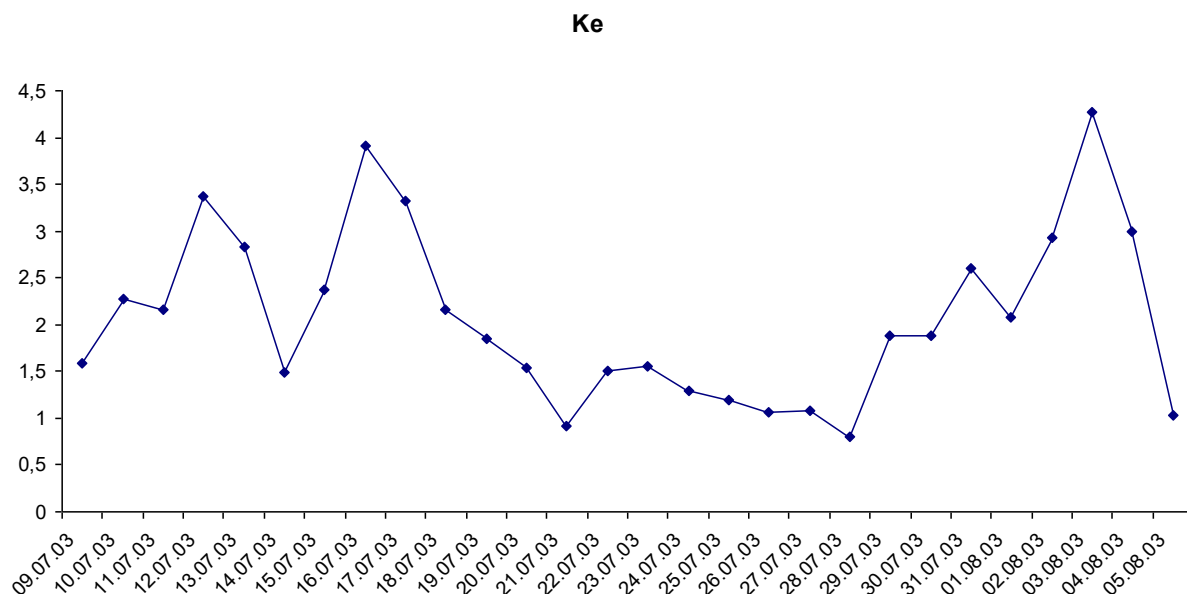


Рис. 6 – Запасы $K_E \times 10^5$ Дж/м² за исследуемый период.

Положительные значения преобразования K_Z в K_E говорят о том, что вихревая кинетическая энергия K_E подпитывается за счет зональной K_Z (рис. 7). Максимальное значение данного превращения составляет 12,08 Вт/м² и наблюдается, когда в исследуемую область 10 июля переместился циклон. Далее переход K_Z в K_E уменьшается, что соответствует заполнению приземного и высотного циклона. Преобразование ($K_Z - K_E$) имеет положительные значения в периоды появления струйного течения в области исследования в период второго рассматриваемого процесса (рис. 7). Это говорит о том, что зональная кинетическая энергия передает количество движения вихревым составляющим ветра. Также данные превращения положительны и максимальны в периоды образования, усиления барических образований, как у земли, так и на высотах. Отрицательные значения преобразования ($K_Z - K_E$) характерны для ослабления антициклонов и заполнения циклонов.

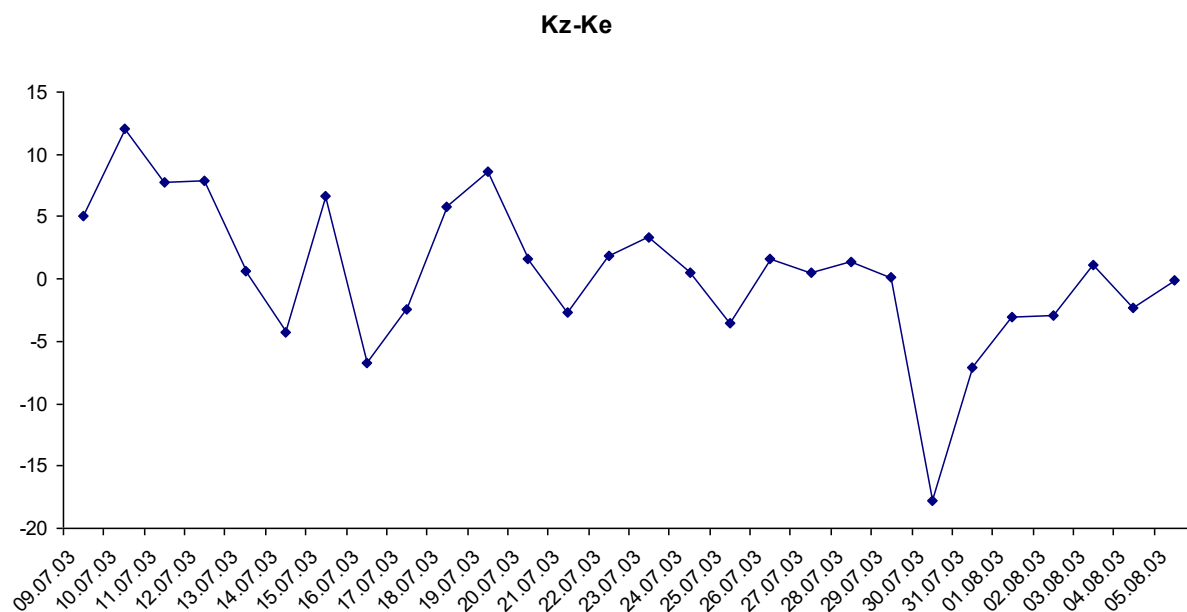


Рис. 7 – Преобразование ($K_Z - K_E$) Вт/м² за исследуемый период.

Значения преобразования P_Z в P_E положительны на протяжении всего первого периода (рис. 8). Максимум 1,22 Вт/м² наблюдается 10 июля, когда ярко выражена меридианальность высотного термобарического поля: далеко на север простирающийся гребень, несущий к полюсам более теплый воздух, и ложбина, направленная к югу и несущая с собой холодный воздух к экватору. 13 июля данное меридиональное распределение высотного термобарического поля исчезает и превращение ($P_Z - P_E$) резко уменьшается до значения 0,40 Вт/м². Преобразование ($P_Z - P_E$) во втором процессе максимально и положительно, когда усиливается адвекция холода с севера и ложбина от высотного циклона над Западной Сибирью углубляется и распространяется далеко на юг, при этом усиливается холодный антициклон у земли и увеличивается его площадь. Теплый высотный гребень с Восточной Атлантики ориентирован к полюсам и приносит в полярные районы тепло. Отрицательные значения данного превращения характерны для усиления фронтальной деятельности и ослабления приземного антициклона (рис. 8).

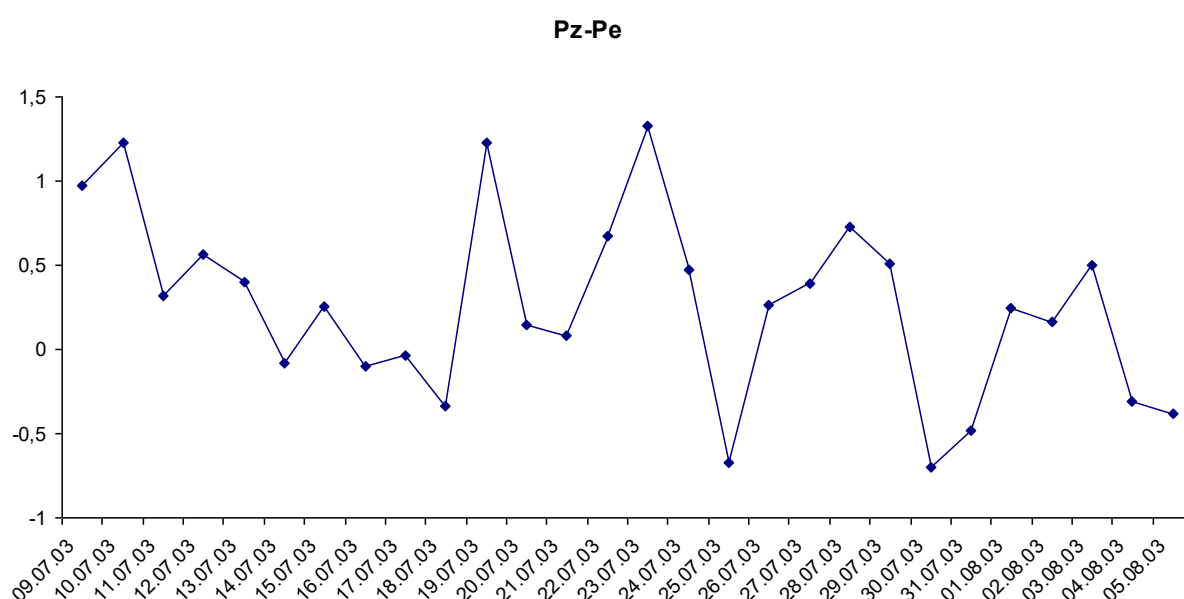


Рис. 8 – Преобразование ($P_Z - P_E$) Вт/м² за исследуемый период.

Преобразования ($P_Z - K_Z$) возникают при меридиональной циркуляции, когда наблюдается неоднородность поля температуры. В результате этого происходит подъем теплого воздуха и опускание холодного на одной широте. В данном исследовании переход P_Z в K_Z максимален 10 июля (рис. 9), когда высотный антициклон и циклон совпали с соответствующими приземными барическими образованиями. Это значит, что усилились вертикальные движения в атмосфере: в антициклоне – нисходящие, в циклоне – восходящие. Превращения ($P_Z - K_Z$) уменьшаются при заполнении циклона и ослаблении антициклона. Преобразования P_Z в K_Z второго процесса увеличиваются при увеличении температуры у поверхности земли и на АТ-500 гПа, уменьшаются при уменьшении температуры на указанных поверхностях (рис. 9). Данное описание перехода ($P_Z - K_Z$) подчеркивает неоднородность поля температуры. Также преобразования ($P_Z - K_Z$) ярко выражены в тех случаях, когда приземные барические образования территориально совпадают с высотными. Это усиливает вертикальную структуру барического образования, и, следовательно, способствует усилению вертикальных нисходящих в антициклонах и восходящих в циклонах движений.

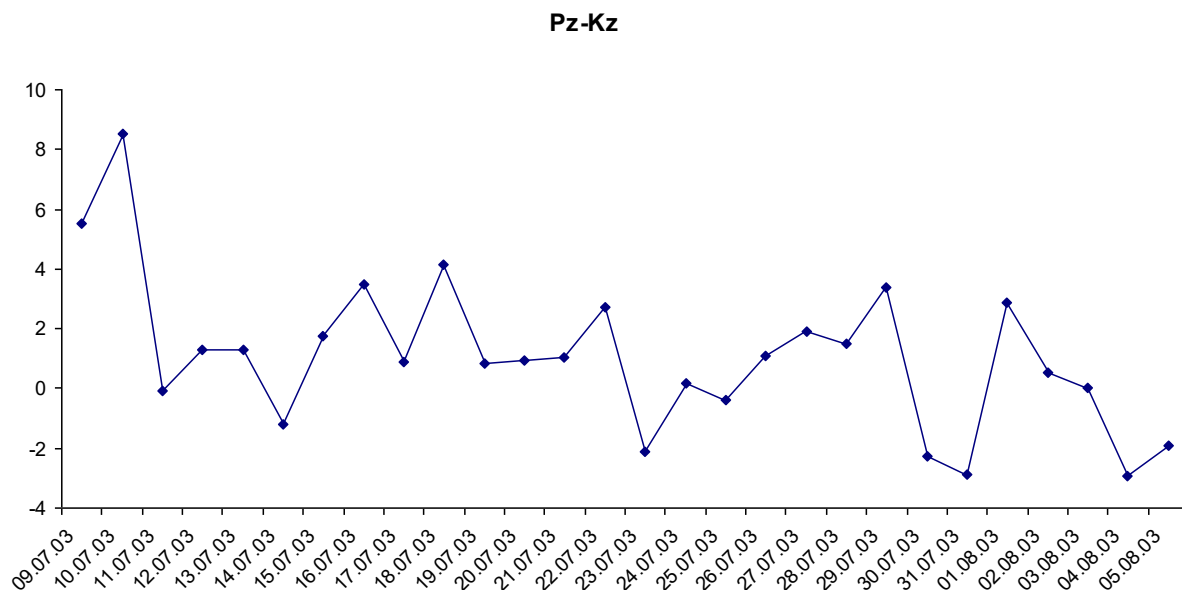


Рис. 9 – Преобразование ($P_z - K_z$) Вт/м² за исследуемый период.

Превращения ($P_E - K_E$) за первый исследуемый период уменьшаются и имеют положительные значения (рис. 10). Это говорит о том, что кинетическая вихревая энергия питается за счет вихревой потенциальной энергии. Преобразования ($P_E - K_E$) второго периода положительны при повышении температуры у земли и АТ-500 гПа, а также при усилении антициклона у земли. Отрицательны превращения ($P_E - K_E$) при уменьшении температуры и давления в области исследования (рис. 10).

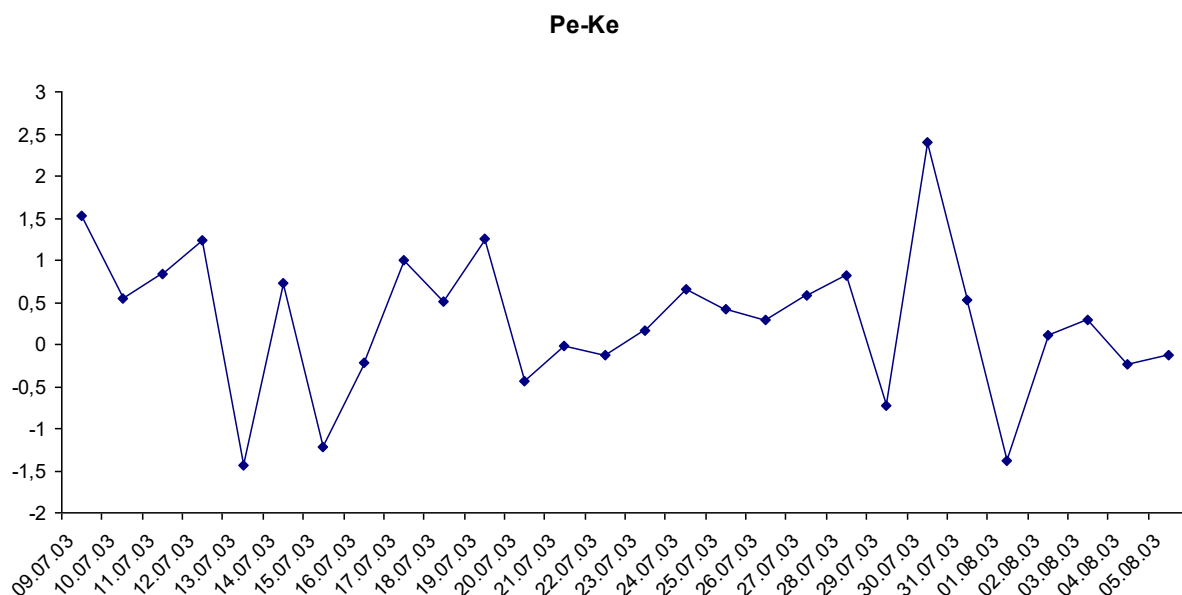


Рис. 10 – Преобразование ($P_E - K_E$) Вт/м² за исследуемый период.

Выводы. По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

Запасы зональной потенциальной энергии P_z увеличиваются при адвекции холода, а следовательно, при увеличении меридионального градиента температуры как у земли, так и на высотах. Уменьшение P_z происходит при появлении в исследуемой области приземного циклона и при увеличении площади теплого сектора. Запасы зональной

кинетической энергии увеличиваются при появлении в области исследования струйного течения, а также при усилении антициклона или гребня как у земли, так и на высотах.

Запасы вихревой потенциальной энергии P_E и вихревой кинетической энергии K_E увеличиваются на максимальных стадиях барических образований.

Преобразование ($K_Z - K_E$) имеет положительные значения в периоды появления струйного течения в области исследования. Также данные превращения положительны и максимальны в периоды образования, усиления барических образований, как у земли, так и на высотах. Отрицательные значения перехода K_Z в K_E характерны для ослабления антициклонов и заполнения циклонов. Преобразование ($P_Z - P_E$) максимально и положительно, когда усиливается адвекция холода, при этом усиливается холодный антициклон у земли и увеличивается его площадь. Отрицательные значения данного превращения характерны для усиления фронтальной деятельности и ослабления приземного антициклона. Преобразования ($P_Z - K_Z$) увеличиваются при увеличении температуры у поверхности земли и на АТ-500 гПа, уменьшаются при уменьшении температуры на указанных поверхностях. Данное описание превращения ($P_Z - K_Z$) подчеркивает неоднородность поля температуры. Также преобразования P_Z в K_Z ярко выражены в тех случаях, когда приземные барические образования имеют квазивертикальную ось. Это усиливает вертикальную структуру барического образования, и, следовательно, способствует усилению вертикальных нисходящих в антициклонах и восходящих в циклонах движений. Переход P_E в K_E положителен при повышении температуры у земли и АТ-500 гПа, а также при усилении антициклона у земли. Отрицательны преобразования ($P_E - K_E$) при уменьшении температуры и давления в области исследования.

Список литературы

1. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 259 с.
2. Rex D.F. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate: part I // Tellus. – 1950. – Vol. 2. – P.275-301.
3. Austin J.F. The blocking of middle latitude westerly winds by planetary scale waves // Q.J.R. Meteorol. Soc. – 1980. – Vol. 106. – P. 327-350.
4. Lejenas H., Okland H. Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data // Tellus. – 1983. – Vol. 35A. – P.350-362.
5. Tibaldi S., Monteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus. – 1990. – Vol. 42A. – P.343-365.
6. Lorenz E.N. Available potential energy and the maintenance of the general circulation // Tellus, 1955. – Vol. 7. – P. 157-167.
7. Michaelides S.C., Prezerakos N.G., Flocas Y.A. Quasi-Lagrangian energetics of an intense Mediterranean cyclone // Q. J. R. Meteorol. Soc., 1999. – Vol. 125. – P. 139-168.
8. Хохлов В.М. Энергетика атмосферы: Конспект лекций. – Одеса: Екологія, 2008. – 62 с.
9. Хохлов В.Н. Энергетический бюджет антициклонов в процессе их эволюции // Метеорология, климатология и гидрология, 1999. – Вып. 38. – С. 47-54.

Енергетика блокуючого процесу. Недострелова Л.В.

*Розглядається ситуація з блокуючим антициклоном, яка спостерігалася з 9 липня по 5 серпня 2003 р. Досліджуються енергетичні характеристики атмосфери в зазначений період. Показано, що має місце зв'язок між змінами енергетичних характеристик та розвитком блокуючого процесу.
Ключові слова: енергетика атмосфери, перетворення енергії, блокуючий антициклон.*

Energetics of blocking high. Nedostrelova L.V.

*The situation with blocking high from July 9 to August 5, 2003 is considered. The Atmospheric energetics during this period is investigated. It is shown that there is a relationship between changes of energetics and evolution of blocking high.
Keywords: atmospheric energetics, energy conversion, blocking high.*