

О НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМАХ ЭВОЛЮЦИИ БЛОКИРУЮЩЕГО АНТИЦИКЛОНА В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ЛЕТОМ 2010 ГОДА

В статье рассмотрены причины формирования аномального температурного режима над территорией Европы летом 2010 г. С использованием низкочастотных данных температуры и геопотенциала показано, что установление аномально высоких температур обусловлено действием антициклонического вихря с солитонными свойствами.

Ключевые слова: аномальный температурный режим, фильтр Ланцоша, частота отсечения, солитонный вихрь, область захвата частиц, нулевая адвекция.

Постановка проблемы. 2010 год побил все рекорды тепла в северном полушарии планеты, став самым теплым за всю историю наблюдений с 1891 года. Среднее значение температуры было на $0,4^{\circ}\text{C}$ выше, чем в 2005 году, который до этого был на первом месте. В целом, из последних 15 лет одиннадцать были самыми жаркими за всю историю наблюдений. Агенство Bloomberg со ссылкой на мнение экспертов и аналитиков сообщило, что по предварительным оценкам ущерб от явлений, так или иначе связанных с аномальной жарой 2010 г., составил около 15 млрд. долл. [6].

Установившись во второй декаде июня над югом России и Украины, антициклон вызвал аномальную жару, а к началу июля распространился и на средние широты России, закачивая раскалённый воздух из пустынь Туркмении. Необычно длительный срок существования этого антициклона, который существовал более 2 месяцев, и обусловил продолжительный прогрев воздуха до рекордных значений.

Положительная аномалия среднемесячной температуры мая по территории Украины была больше, чем в апреле. В ряде городов май стал одним из самых тёплых в истории. В первой половине месяца наблюдалась нетипично тёплая погода (например, температура 1 мая в некоторых городах приближалась к 30°C), которая продержалась большую часть месяца. Небольшое похолодание отмечалось во второй половине месяца.

В конце первой - начале второй декады июня 2010 года в Украине (рис. 1) был установлен ряд температурных рекордов [6].

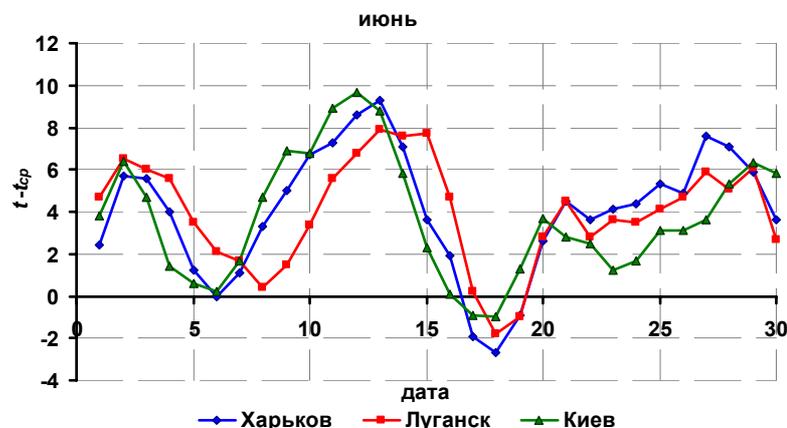


Рис. 1 – Величины аномалий температуры (июнь, 2010 г.).

В Харькове июнь 2010 года лишь на $0,1^{\circ}\text{C}$ не смог достичь исторического рекорда июня, который наблюдался в 1954 году (средние температуры соответственно были

+23,2°C и +23,3°C), аномалия составила +4°C. Осадков выпало лишь треть от нормы. Помимо этого, в июне 2010 года в Харькове зафиксированы 6 суточных рекордов жары.

В Донецке июнь 2010 года едва не стал самым тёплым в истории со средней температурой +22,9 С (против +23,0°C в 1975 г.). Было установлено три новых суточных рекорда, самый высокий из них наблюдался 14 июня и составил +34,8 С.

Аномально тепло было и в Днепропетровске, где зафиксирован температурный рекорд (13 июня температура составила +35,0°C). В Запорожье до температурного рекорда июня не хватило 0,4°C. В Луганске положительная аномалия среднемесячной температуры составила +4°C.

После небольшого похолодания в начале июля аномально высокая температура установилась над центральными и особенно юго-восточными областями Украины (рис. 2). Июль 2010 г. стал самым тёплым в истории в Донецке (средняя температура +25,4°C против +25,2°C в 2001 г.). В Харькове после переменного характера первой декады июля более чем месяц температура не опускалась ниже 30 С в дневное время. В целом, июль в Харькове, как и в Донецке, также стал самым теплым за период наблюдений (средняя температура +25,8°C против +25,5°C в 2001 г.). Ряд температурных рекордов также были зафиксированы в Запорожье, Днепропетровске, Луганске.

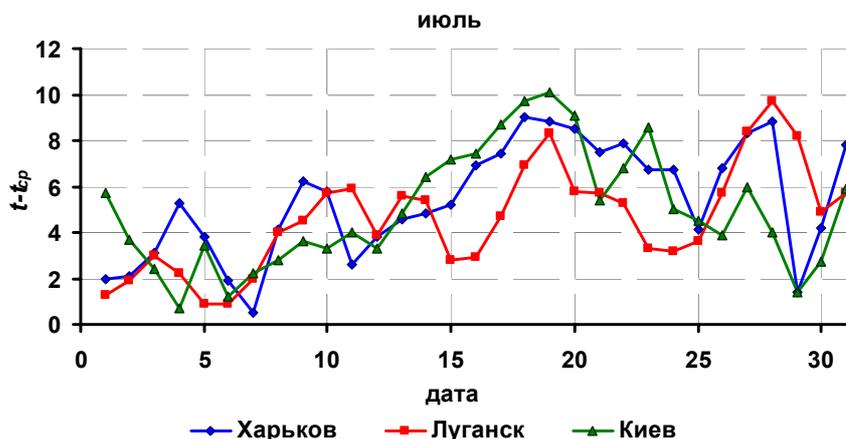


Рис. 2 – Величины аномалий температуры (июль, 2010 г.)

Своего апогея жара достигла в августе. В начале месяца температура превысила рекордные значения, превысив в некоторых городах отметку +40°C. Исторические максимумы во многих городах Украины были перекрыты (табл. 1).

Табл. 1 – Значения абсолютных максимумов температуры в августе 2010 г.

Город	Температурный максимум, °C	Дата установления
Днепропетровск	40,9	08.08.2010
Донецк	39,1	10.08.2010
Запорожье	40,2	11.08.2010
Киев	39,2	08.08.2010
Луганск	42,0	12.08.2010
Симферополь	39,5	08.08.2010
Харьков	39,8	08.08.2010
Херсон	40,7	08.08.2010

Самая высокая температура наблюдалась в Луганске, где 12 августа она достигла значения $+42,0^{\circ}\text{C}$. Эта цифра стала новым абсолютным максимумом Украины, а также самой высокой температурой, зафиксированной в крупном городе в пределах блокирующего антициклона.

Август 2010 года стал самым тёплым в истории в Донецке (средняя температура $+26,3^{\circ}\text{C}$), Днепропетровске ($+25,8^{\circ}\text{C}$), Запорожье ($+26,5^{\circ}\text{C}$), Киеве ($+24,6^{\circ}\text{C}$), Луганске ($+25,8^{\circ}\text{C}$), Симферополе ($+25,8^{\circ}\text{C}$), Харькове ($+26,1^{\circ}\text{C}$) и Херсоне ($+26,2^{\circ}\text{C}$).

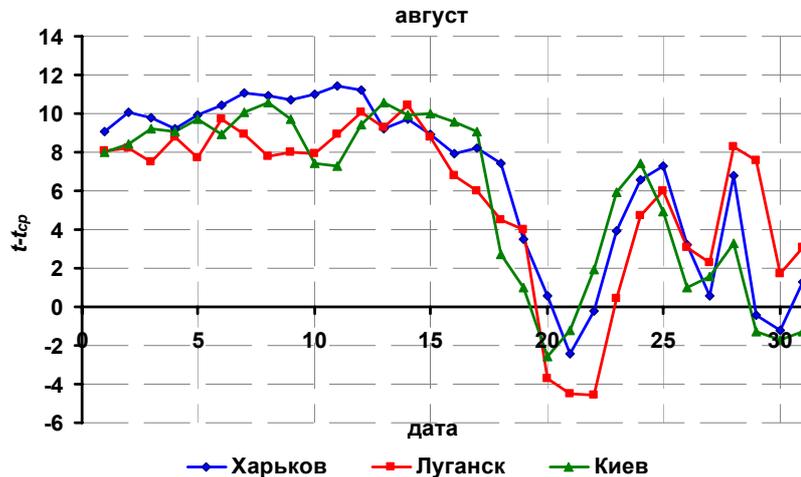


Рис. 3 – Величини аномалій температури (август, 2010 г.)

Практически на всей территории Украины, кроме западных областей, август был рекордно жарким. Если рассматривать первую половину августа, то показатели средней температуры первой половины августа находятся вблизи на 30-градусной отметки, что абсолютно нетипично для территории, располагающейся в средних широтах.

Гипотезы о причинах формирования таких аномальных погодных условий имеют достаточно широкий спектр.

Например, согласно одной из них [5, 9], предполагается, что в глобальном климатообразовании появилось новое понятие «фронтов устойчивой погоды», которые, по причине пространственно-временной стабилизации струйных течений, обуславливают своеобразный «застой» погоды в отдельных регионах земного шара.

Другая гипотеза [9] базируется на мнении межправительственной группы экспертов по климату (IPCC), которая сделала заявление, что аномальные погодные условия - жара, засуха, наводнения, наблюдавшиеся летом 2010 г. на территории от Европы до Пакистана, возвращают человечество к перспективам климатических изменений, связанных с изменением течений «Эль-Ниньо» и «Ла-Нинья».

Еще одно мнение [9] высказано руководителем программы «Климат и энергетика» WWF России Алексеем Кокориным, который полагает, что такие длительные периоды летней жары отмечались и ранее, например, в 1936 году, но в последние годы они значительно участились. Это ответ климатической системы на изменение человеком химического состава атмосферы («химический удар»).

По словам экспертов-метеорологов, возникновение блокировки атмосферных течений может быть связано с уровнем солнечной активности: анализ истории метеорологических наблюдений позволил сделать вывод, что подавляющее большинство природных катаклизмов происходило в годы, когда активность Солнца была минимальна. Если данная гипотеза окажется правильной, она послужит важнейшим инструментом диагностики и предсказания подобных природных явлений.

Результатом совещания, проведенного с участием ученых Росгидромета и РАН, на котором обсуждали причины аномальной жары лета 2010 г., явилось определенное понимание причин произошедшего [6]. Вкратце можно обозначить три главных фактора, обусловивших формирование аномальных погодных условий: приход аномально устойчивого блокирующего антициклона, чрезвычайно сильная засуха в прикаспийском регионе и общее повышение температуры, связанное с глобальным потеплением.

В свою очередь, в конце августа 2010 года NOAA опубликовала черновой вариант отчёта о причине тепловой волны в России, который, в частности, подтверждает наличие антициклонического блокинга, хотя и было отмечено, что прямой связи между блокингом и глобальным потеплением провести не удастся.

Таким образом, с точки зрения метеорологии, не подлежит сомнению факт наличия блокирующего антициклона, но вызывает расхождение мнений трактовка механизмов его длительного существования.

Целью данной работы является установление физических механизмов эволюции блокирующего антициклона, обусловившего формирование аномально жарких погодных условий над территорией Европы летом 2010 г.

Материалы исследований. Традиционный синоптический подход утверждает, что блокирующий антициклон развивается над аномально теплой подстилающей поверхностью, что как следует из рис. 4, менее ярко наблюдалось над территорией Европы в июне (рис. 4а) и более – в июле и августе (рис. 4 б, в).

Термический режим у поверхности земли свидетельствует о формировании в июле-августе поля температуры, благоприятствующего развитию и дальнейшему устойчивому существованию антициклонического вихря с его локализацией над центральными регионами России. Налицо наличие обширных очагов тепла на его западной периферии и холода на восточной. Но при этом качественная оценка не является достаточным основанием для утверждения о причинах аномально устойчивого существования антициклонического вихря, а скорее лишь идентифицирует общий фон процесса. В этом случае принципиально важно исследование структуры термобарического поля в области блокирующего антициклона, которое и определяет характер эволюции барического образования.

Сделаем небольшое теоретическое отступление. В работе [2] автором экспериментальным путем получены результаты, показывающие, что при определенных режимах (компенсация дисперсионного расплывания, свойственного линейным режимам, нелинейным самосжатием) в сплошных средах возможно образование антициклонических вихрей, способных длительное время сохранять свою форму (солитоны Россби). Кроме того, автором было высказано предположение, что такие вихри в атмосфере Земли могут вызывать длительные засухи.

Экспериментально была установлена различная природа формирования и, как следствие, различные виды солитонов. В нашем случае представляет интерес автосолитон Россби, т.е. самоорганизующийся и самоподдерживающийся в системе течений стационарный антициклонический одиночный вихрь.

Характерно, что в монополюсном солитоне Россби имеется область захваченных частиц, заключенная внутри его характерного размера a (рис. 5). Соответственно солитон весьма эффективно – не выпуская из себя – переносит частицы среды заключенные в нем с момента образования и не пропускает внутрь себя частицы, которые попадают по пути его дрейфа. Область захвата частиц внутри вихря Россби существует лишь при условии

$$V_{\text{вр}} > V_{\text{др}}$$

где $V_{\text{вр}}$ – скорость вращения частиц в вихре; $V_{\text{др}}$ – скорость дрейфа вихря.

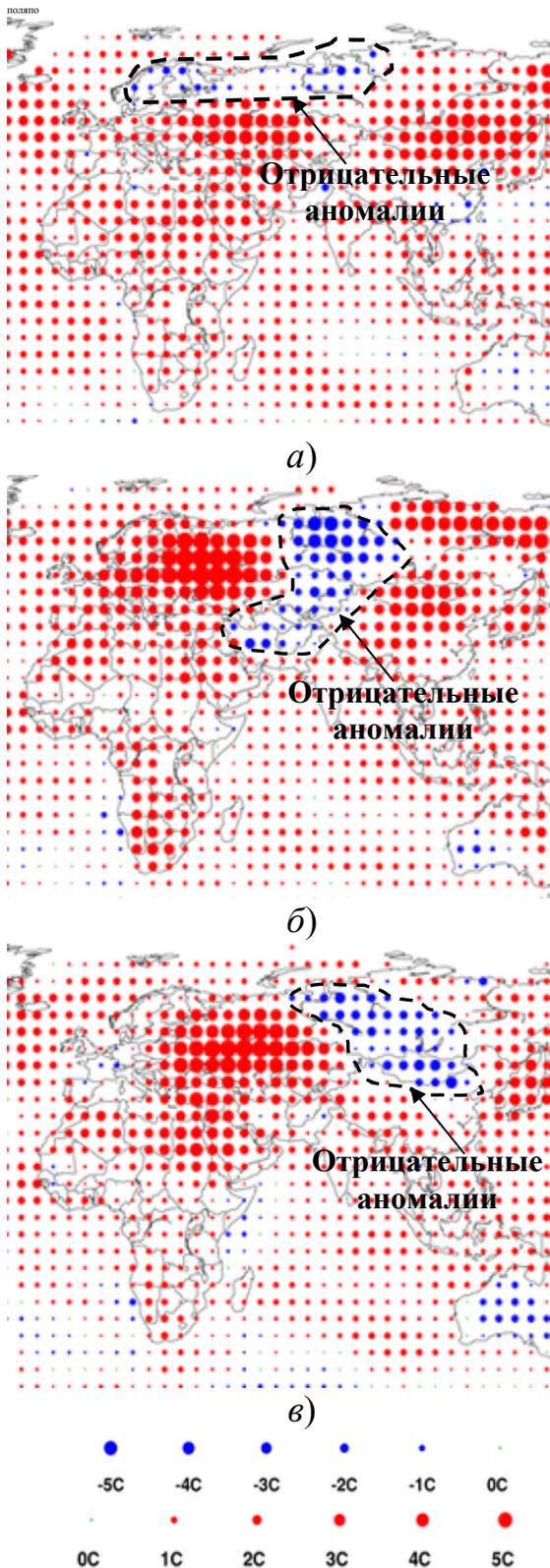


Рис. 4 – Аномалии температуры воздуха (°C) у поверхности земли и поверхности моря относительно базового периода 1971-2000 гг. (по данным National Climatic Data Center /NESDIS / NOAA) летом 2010 г. [8].
 а – июнь; б – июль; в – август.

Такая область появляется в солитоне, начиная с некоторой его амплитуды h , поэтому величина h не предполагается малой и может достигать до 1. Захваченные частицы, обращающиеся вокруг оси вихря со скоростями $V_{вр}$, превышающими скорость его дрейфа, придают солитону новые свойства. Среди них прежде всего следует отметить наличие в области захвата памяти о начальном возмущении (вследствие которого был сформирован солитон), или, иначе говоря, отсутствие определенного соотношения между амплитудой солитона и его характерным размером при котором частицам, покидающим вихрь (или входящим в него извне в направлениях x, y), пришлось бы пересекать линии тока, чего не происходит.

Таким образом, можно предположить, что существование области захвата частиц в антициклоне способно обусловить длительное нахождение одного и того же воздуха над районом его стационарирования, что в свою очередь вызовет его разогрев в летнее время (рис. 6).

Анализируя временной ход давления в центре антициклона на протяжении периода с 01.05.2010 г. по 01.09.2010 г. (рис. 7), видим, что в течение июня-августа наиболее выраженная антициклоническая циркуляция наблюдалась именно в июле и августе, т.е. в периоды формирования максимальных значений положительных аномалий средней месячной температуры и периоды установления абсолютных максимумов средней суточной температуры на многих станциях. Предположение наличия в блокирующем антициклоне свойств солитонного вихря, подразумевает доказательство существования области захвата. Очевидно, что в подобной области адвекция температуры или значение температурных контрастов должно быть близким к нулю, что в свою очередь, приведет к отсутствию зон, характеризующихся повышенной степе-

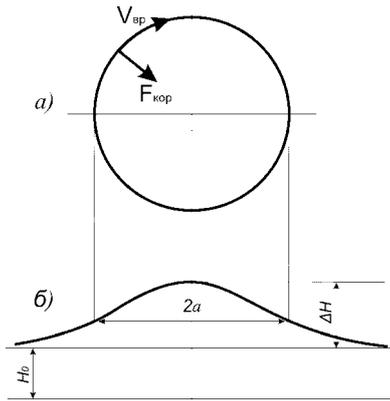


Рис. 5 – Схема антициклона как равновесного возвышения сплошной среды.

ную бароклинности. Следовательно, будет исключен главный механизм эволюции синоптического вихря. При этом важно рассмотреть характеристики, отражающие поле температурной адвекции, которое бы, одновременно, не являлось одномоментной характеристикой процесса, а отображало осредненный за период времени процесс, являющийся характерным для барического образования синоптического масштаба.

Это подразумевает выделение низкочастотных составляющих полей температуры и геопотенциала, которое выполним с использованием процедуры фильтрации временных рядов при помощи фильтра Ланцоша. В качестве исходных данных для проведения расчетов использовались ежесуточные данные ре-анализа NCEP-NSCAR за 00 СГВ полей геопотенциала и

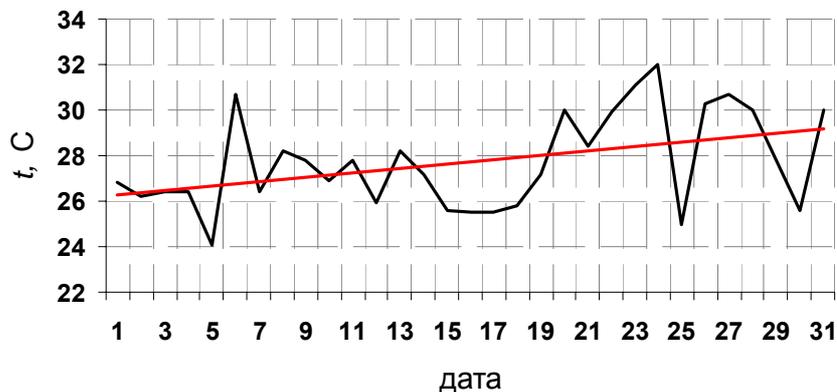


Рис. 6 – Временной ход максимальной температуры за срок 00 СГВ по данным приземного анализа в пределах антициклона в августе 2010 г.

температуры с пространственным разрешением $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ на изобарической поверхности 500 гПа в период с 01.05.2012 г. по 02.09.2012 г.



Рис. 7 – Временной ход давления в центре антициклонического вихря с 01.05.2010 г. по 01.09.2010 г. (стрелками указаны моменты, соответствующие формированию максимальных аномалий температуры).

Используя результаты [1, 3, 4], представим весовую функцию для низкочастотного фильтра Ланцоша

$$w_k = \frac{\sin 2\pi f_c k \Delta}{2\pi f_N k \Delta}, \quad (1)$$

умножение которой на сигма-фактор Ланцоша

$$\sigma(n, k) = \frac{\sin 2\pi k f_N \Delta / n}{2\pi k f_N \Delta / n}, \quad k = -n, \dots, 0, \dots, n - \text{сигма факторы,}$$

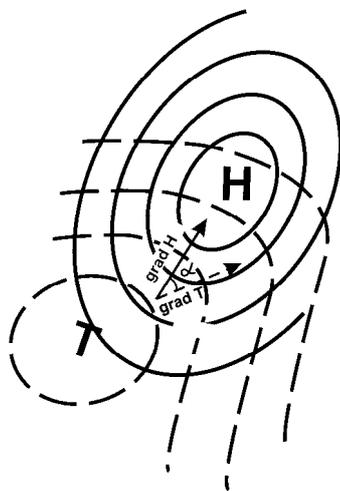
даст её окончательный вид

$$\bar{w}_k = \frac{\sin 2\pi f_c k \Delta}{2\pi f_N k \Delta} \sigma, \quad (2)$$

где f_c – граничная частота интервала; Δ – интервал дискретности; n – количество весов; f_N – частота Найквиста (или её аналог).

Единичный интервал дискретности принимаем $\Delta = 1$, соответственно частота Найквиста составит $f_N = 0,5$. Значение граничной частоты отсечения выбираем исходя из необходимости выделения движений с периодом менее 10 сут. (для процессов синоптического масштаба наиболее актуально [3]) т.е. $f_c = 1/10$.

Из приведенной на рис. 8 схемы расчета величины S следует, что её поле, построенное на фильтрованных полях температуры и геопотенциала, будет отображать



$$S = |\text{grad}H| |\text{grad}T| \sin \alpha$$

Рис. 8 – Схема расчета величины S , К/м (обозначения общеприняты).

некий вектор, характеризующий степень бароклинности атмосферы на определенном уровне (при расчетах использовались плоские градиенты). Очевидно, что его нулевые значения будут указывать на коллинеарность векторов температуры и геопотенциала, т.е. область «нуля» данного вектора будет указывать как на отсутствие адвекции температуры, так и на кинематические характеристики поля геопотенциала, которые не обуславливают генерацию крупномасштабных термических неоднородностей. Из рассматриваемого периода с мая по сентябрь 2010 г. выберем в качестве исходных два периода, которые характеризовались формированием наиболее значительных положительных аномалий температуры над территорией Украины – с 25 по 28 июля и с 10 по 13 августа (на рис. 7 отмечены стрелками).

Анализ расчетных полей (рис. 9) показывает, что в обоих случаях на уровне средней тропосферы в центральной области антициклона, очерченной замкнутыми изогипсами, наблюдалась область нулевых значений величины S , которую в первом приближении назовем «низкочастотной адвекцией». Это дает возможность утверждать, что в антициклоническом вихре устойчиво существовала область «захвата» частиц, что

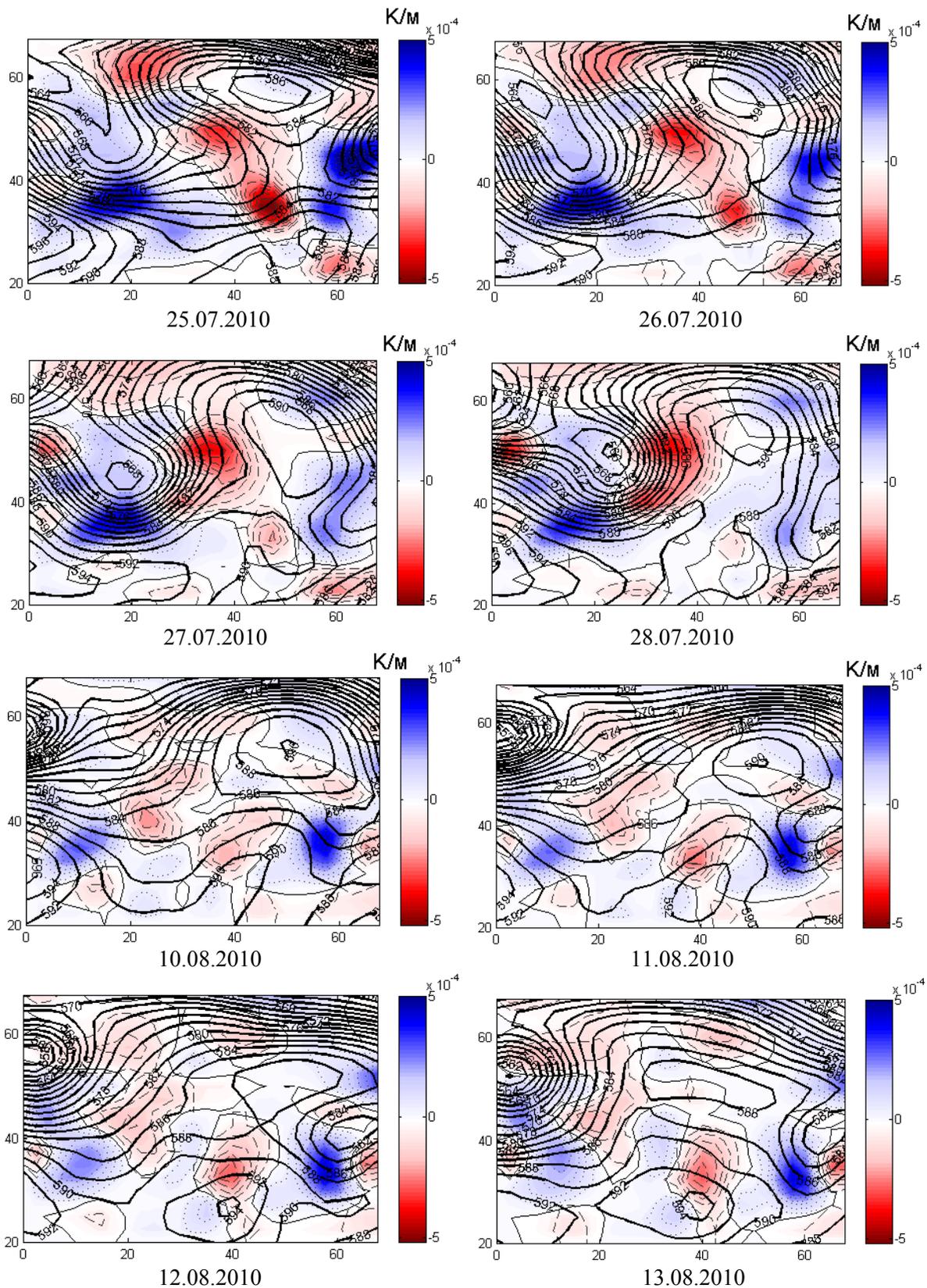


Рис. 9 – Расчетные поля величины S , $\text{K/m} \times 10^{-4}$ на уровне 500 гПа при $f_c = 1/10$, интервале дискретности $\Delta = 1$, $n = 15$ (границы расчетной области $\varphi = 20^\circ - 70^\circ$ с.ш.; $\lambda = 0^\circ - 70^\circ$ в.д., пунктирными линиями обозначены зоны с адвекцией тепла, точечным пунктиром – зоны с адвекцией холода, сплошные линии – изогипсы нефильтрованного поля).

и определяло возможность разогрева воздуха до аномально высоких значений.

Анализ полей величины S в течение периода с мая по сентябрь показывает (расчетные поля в статье не приводятся), что в периоды формирования наибольших аномалий центральная часть блокующего антициклона в подавляющем большинстве случаев располагалась в зоне нулевой адвекции. Варьирование частоты отсечения до $1/5$ принципиальных изменений в структуру расчетных полей не вносит.

Кроме того, в обоих случаях отчетливо видно, что на юго-западной (для первого периода) и на южной периферии (для второго периода) антициклонического вихря наблюдаются очаги повышенной температуры, что в условиях не проникновения частиц в центральную часть вихря обуславливает их интенсивную адвекцию – по направлению общей циркуляции – на восточные и центральные области Украины. Это определенно перекликается с гипотезой, высказанной на совещании с участием ученых Росгидромета и РАН.

Выводы. Проведенное исследование позволяет сделать заключение о том, что существование блокующего антициклона летом 2010 г. над центральными регионами России характеризовалось периодами, в течении которых антициклон приобретал свойства солитонного вихря. Во время этих периодов его центральная часть имела нулевую степень бароклинности и нулевые значения низкочастотной (при частоте отсечения характерной для синоптических процессов) адвекции температуры. Это указывает на формирование области захвата частиц в центре антициклона, возможности разогрева воздуха до рекордных значений и, помимо этого, на формирование устойчивого выноса воздуха с южной периферии по направлению циркуляции.

Развитие методики прогнозирования низкочастотных полей температуры и геопотенциала позволит выявлять потенциально возможные состояния атмосферы, благоприятствующие возникновению в зональном потоке «самостоятельных» структур, к которым относятся солитонные монополюсные вихри синоптического масштаба.

Литература

1. Грушевский О.Н. Применение цифрового фильтра Ланцоша с переменным спектральным окном для трансформации пространственно-временных рядов // УГМЖ. – 2011. – Вып. 8. – С. 44-50.
2. Незлин М.В. Солитоны Россби // УФН, 1986. — Вып. 1, т.150.— С. 3-60.
3. Пашкевич А.Р. Расчет характеристик энергообмена в струйных течениях с применением фильтра Ланцоша // Труды Гидрометцентра СССР. – 1988. – Вып. 296. – С. 135-144.
4. Duchon Claude E. Lanczos filtering in one and two dimensions // J. of Appl. Meteor. – 1979. – Vol. 18, N 8. – P. 1016-1022.
5. Pelly J. L., Hoskins B. J. A New perspective on blocking // JAS. – 2003. – Vol. 60. – P. 743-755.
6. Аномальная жара в России (2010) [Электронный ресурс]. – Способ доступа: <http://infox.ru/business/finances/2010/08/10>
7. Аномальная жара на Украине (2010) [Электронный ресурс]. – Способ доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
8. State of the climat global analysis [Электронный ресурс]. – Способ доступа: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2010/>
9. Аномальная жара – 2010: причины и последствия [Электронный ресурс]. – Способ доступа: <http://www.worldwarming.info/article337.html>

Про деякі фізичні механізми еволюції блокуючого антициклону в період формування аномальних погодних умов влітку 2010 року. Грушевський О.М., Міщенко Н.М.

У статті розглянуто причини формування аномального температурного режиму над територією Європи влітку 2010 р. З використанням низькочастотних полів температури та геопотенціалу показано, що встановлення аномально високих температур зумовлено дією антициклонічного вихору з солітонними властивостями

Ключові слова: аномальний температурний режим, фільтр Ланцоша, частота відсікання, солітонний вихор, область захоплення частинок, нульова адвекція.

On some physical mechanisms of evolution of the blocking anticyclone during the formation of the anomalous weather conditions in the summer of 2010. Hrushevsky O., Mischenko N.

The reasons for the development of the anomalous temperature regime over European territory in the summer of 2010 are dealt with in the article. By using the low-frequency temperature and geopotential data it is shown that the emergence of the anomalously high temperatures is due to the influence of the anticyclonic vortex with solitary features.

Keywords: anomalous temperature regime, Lanczos filtering, cutoff frequency, solitary vorticity, catchment area for particles, zero advection.