

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКИРОВАНИЯ ЗАПАДНОГО ПЕРЕНОСА, ОКАЗЫВАЮЩЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОГОДУ УКРАИНЫ

У. А. ТУЧИНА

*Одесский государственный экологический университет,
Гидрометцентр Черного и Азовского морей, Украина
e-mail: odessa.pogoda@paco.net*

A brief characteristic of blocking processes in Northern hemisphere is given. As an example, the analysis of time series of aggregate duration of blocking has revealed the tendency of climatic changes in Ukraine. For description of blocking a set of equations, describing propagation of nonlinear waves is proposed.

Исследование блокирования представляет большой практический интерес для среднесрочных и долгосрочных прогнозов погоды, так как атмосферные процессы при блокировании характеризуются большой устойчивостью и сопровождаются большими аномалиями метеорологических величин.

Блокирование — это один из видов меридиональных форм циркуляции, препятствующих западному переносу воздуха в средних широтах.

В работе блокирование определялось по таким критериям: наличие замкнутых центров высокого давления у поверхности Земли и на изобарической поверхности АТ-500 гПа; разделение струйного течения на две ветви; продолжительность существования от пяти дней и более.

В Северном полушарии выявляют три области наиболее высокой блокирующей активности: Атлантико-Европейская, Евразийская, Тихий океан — Северная Америка. Климат Украины находится под влиянием двух из них — Атлантико-Европейской и Евразийской, поэтому в дальнейшем будут рассматриваться только эти области.

Для получения информации, позволяющей судить об активности блокирования, в работе использовались ежедневные карты погоды за период 1980—1999 годы и данные реанализа, поступающие из Британской метеорологической службы в коде GRIB (разрешением 0.83×0.55 град.) за период 2000—2004 годы. Для каждого дня и по каждой долготе по полю Н-500 гПа определялись локальные индексы [1]:

$$GHGS = \frac{H_{500}(\varphi_0) - H_{500}(\varphi_s)}{\varphi_0 - \varphi_s}, \quad GHGN = \frac{H_{500}(\varphi_n) - H_{500}(\varphi_0)}{\varphi_n - \varphi_0},$$

где $\varphi_0 = 60^\circ N + \Delta$, $\varphi_n = 78.75^\circ N + \Delta$, $\varphi_s = 41.25^\circ N + \Delta$; $\Delta = -3.75^\circ, 0, 3.75^\circ$.

Выбирались наименьшие индексы блокирования из трех значений, соответствующих различным Δ , удовлетворяющие условию (для трех соседних значений долготы)

$$GHGS > 0,$$

$$GHGN < -5 \text{ ДМ/}^\circ \text{ широты}.$$

Эти критерии должны сохраняться 5 дней и более.

За рассматриваемый период блокирование в Атлантико-Европейской области не выходило за границы 30° з.д.– 45° в.д, а Евразийской — 25 – 130° в.д. Среднее за весь период положение высотного антициклонического центра (по данным АТ-500 гПа) в Атлантико-Европейской области составляет 9° в.д, а Евразийской — 59° в.д, а последние 15 лет — 14° в.д и 61° в.д. Следовательно, в среднем последние 15 лет наблюдалась тенденция смещения этих областей к востоку и на погоду юга Украины увеличивалось влияние “Атлантико-Европейского” блокирования и уменьшилось влияние “Евразийского”.

Временные ряды суммарной продолжительности эпизодов блокирования, построенные для четырех сезонов, и линии тренда (рис. 1), показывают, что в период 1990 — 2004 годы в зимний и весенний сезоны наблюдалась тенденция к уменьшению продолжительности блокирования в Евразийской области. В холодное время года блокирование здесь при определенном положении высотной ложбины вызывает значительные отрицательные аномалии температуры воздуха на северном побережье Азово-Черноморского бассейна и сопровождается сильным восточным и северо-восточным ветром. Весной такие синоптические ситуации вызывают заморозки и оказывают негативное влияние на сельское хозяйство Украины. Уменьшение продолжительности блокирования в этой области вызывает сокращение продолжительности значительных похолоданий на юге Украины в холодный период года. В Атлантико-Европейской области для всех сезонов наблюдалась тенденция к увеличению продолжительности блокирования.

Следует отметить, что численные модели, позволяющие прогнозировать развитие атмосферных процессов, недостаточно удовлетворительно отражают блокирующие процессы [1]. Линейный подход Россби — Блиновой [2] не может объяснить некоторые характерные особенности блокирующих процессов. Следовательно, для описания блокирования необходимо применять уравнения, описывающие процессы распространения нелинейных волн, что показано в книге А.С. Мониной [3]. Л. Редекопп показал, что зонально распространяющиеся длинные планетарные волны в атмосфере удовлетворяют уравнению Кортвега де Фриза (КдФ) или модифицированному уравнению КдФ (МКдФ) в случае стратифицированной атмосферы, и, используя теорию возмущений, из уравнения завихренности получил уравнение КдФ [4]:

$$A_\tau + \mu A A_\zeta + \gamma A_{\zeta\zeta} = 0.$$

Однако существует ограничение применения этого уравнения. Оно связано с тем обстоятельством, что интегралы, определяющие коэффициенты этого уравнения, на некоторых уровнях становятся расходящимися. Для описания этих процессов необходимо использовать другие уравнения, например уравнение sin-Gordon [5]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial t} = \sin \varphi.$$

Это уравнение является эволюционным по отношению $\partial\varphi/\partial x$:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \int_{-\infty}^x \sin(\varphi(x', t)) dx'.$$

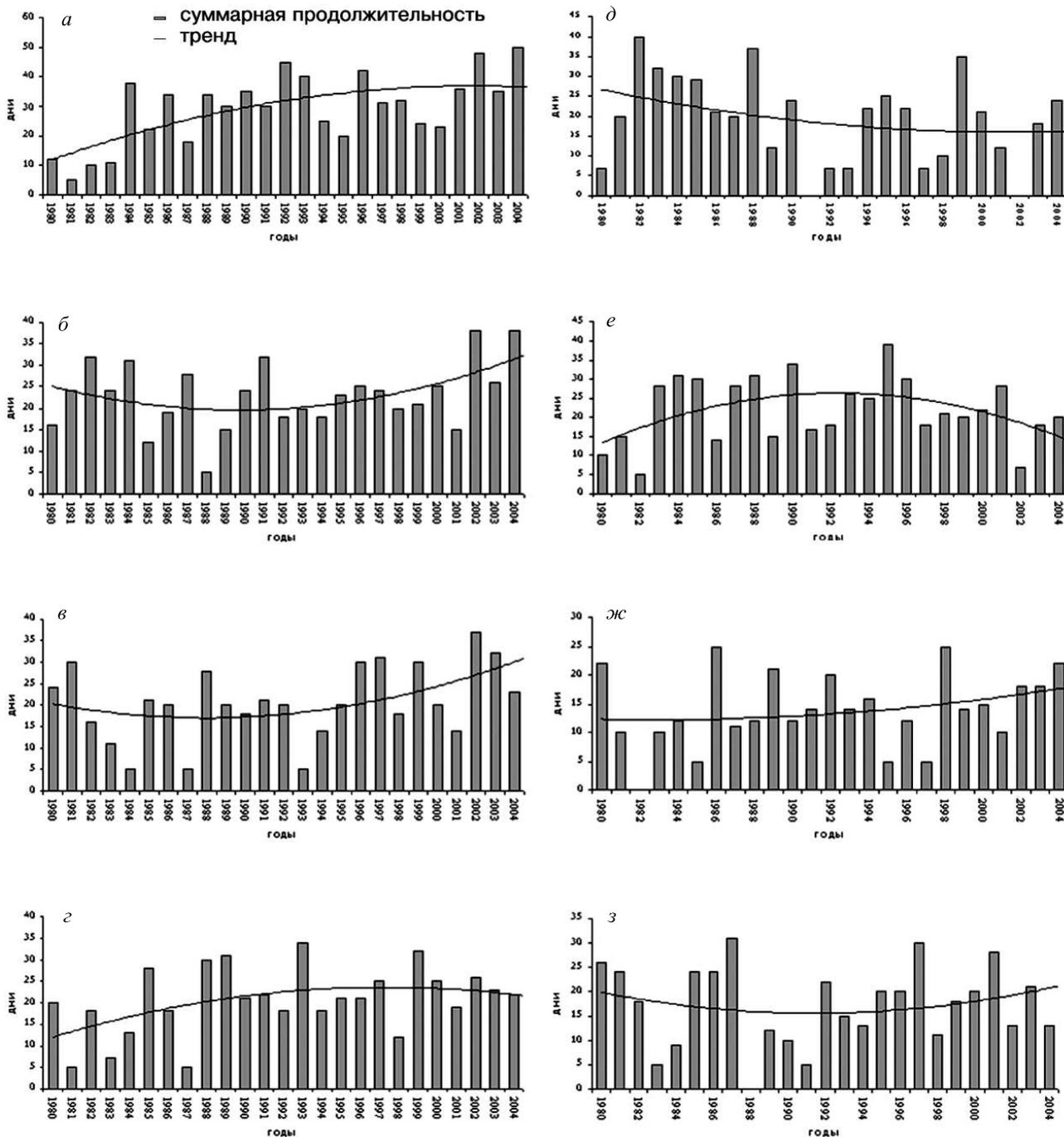


Рис. 1. Временной ход суммарной продолжительности эпизодов блокирования и линии тренда за различные сезоны за период 1980–2004 годы (*а* — зима, *б* — весна, *в* — лето, *г* — осень в Атлантико-Европейском секторе; *д* — зима, *е* — весна, *ж* — лето, *з* — осень в Евразийском секторе).

При

$$\varphi(x, t) \rightarrow \varphi_0 \equiv 0(\text{mod}2\pi), \quad \varphi_x, \varphi_{xx} \rightarrow 0, \quad |x| \rightarrow \infty,$$

односолитонное решение имеет вид

$$\varphi = 4 \arctan \exp(kx + \delta t + c_0),$$

где k , δ , c_0 — числа. Уравнение sin-Gordon имеет точное односолитонное решение при условии, что сохраняется соотношение $k\delta = 1$, c_0 — любое число. Если это условие не выполняется, то уравнение имеет квазисолитонные решения.

Был исследован экстремальный процесс блокирования, который длился в течение всего октября 1987 года на территории Восточной Европы. Ему предшествовала интенсивная зональная циркуляция в Атлантико-Европейском секторе. Барическое поле над Центральной и Восточной Европой в течение этого процесса на высотах характеризовалось устойчивым блокирующим гребнем большой амплитуды и стационарным антициклоном у поверхности Земли. Этот процесс сопровождался сухой погодой на Украине и обширной областью положительных аномалий приземной температуры в районе от Северной Африки до Центральной Европы, северо-западных и северных районов Восточной Европы. На территории Казахстана и Средней Азии, на юго-востоке Закавказья отмечались заметные отрицательные аномалии приземной температуры, которые были обусловлены затокном холодного воздуха в систему высотной ложбины, расположенной на востоке от гребня.

Значения Н-500 гПа за октябрь 1987 года в разрезе по меридиану от экватора до полюса сравнивались с функцией односолитонного решения sin-Gordon. Для этого был использован гармонический анализ. Значения Н-500 гПа представлялись двумерной функцией $H500(x, t)$, заданной в узлах регулярной сетки периода $2l$ относительно x (ось ox направлена по меридиану от экватора к полюсу) и периода $2m$ относительно t (время). Для нахождения коэффициентов ряда Фурье была применена кубатурная формула типа Симпсона:

$$f(x, t) = \sum_{\tau, \delta}^{\infty} (a_{\delta, \tau}^{(1)} \cos \delta \chi \cos \tau y + a_{\delta, \tau}^{(2)} \cos \delta \chi \sin \tau y + a_{\delta, \tau}^{(3)} \sin \delta \chi \cos \tau y + a_{\delta, \tau}^{(4)} \sin \delta \chi \sin \tau y),$$

где $a_{\delta, \tau}^{(1)}$, $a_{\delta, \tau}^{(2)}$, $a_{\delta, \tau}^{(3)}$, $a_{\delta, \tau}^{(4)}$ — коэффициенты ряда Фурье; δ , τ — номера гармоник; χ , y — аргументы;

$$a_{\delta, \tau}^{(1)} = 4/9np \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^p \lambda_{ij} f_{ij} \cos \delta i \cos \tau j;$$

$$a_{\delta, \tau}^{(2)} = 4/9np \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^p \lambda_{ij} f_{ij} \cos \delta i \sin \tau j;$$

$$a_{\delta, \tau}^{(3)} = 4/9np \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^p \lambda_{ij} f_{ij} \sin \delta i \cos \tau j;$$

$$a_{\delta, \tau}^{(4)} = 4/9np \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^p \lambda_{ij} f_{ij} \sin \delta i \sin \tau j;$$

$$c_{\delta, \tau} = \sqrt{\left(a_{\delta, \tau}^{(1)}\right)^2 + \left(a_{\delta, \tau}^{(2)}\right)^2 + \left(a_{\delta, \tau}^{(3)}\right)^2 + \left(a_{\delta, \tau}^{(4)}\right)^2}.$$

Для удобства при сравнении введем относительную комплексную амплитуду:

$$P_{\delta, \tau} = \frac{c_{\delta, \tau}}{c_{0,0}} \cdot 100 \%.$$

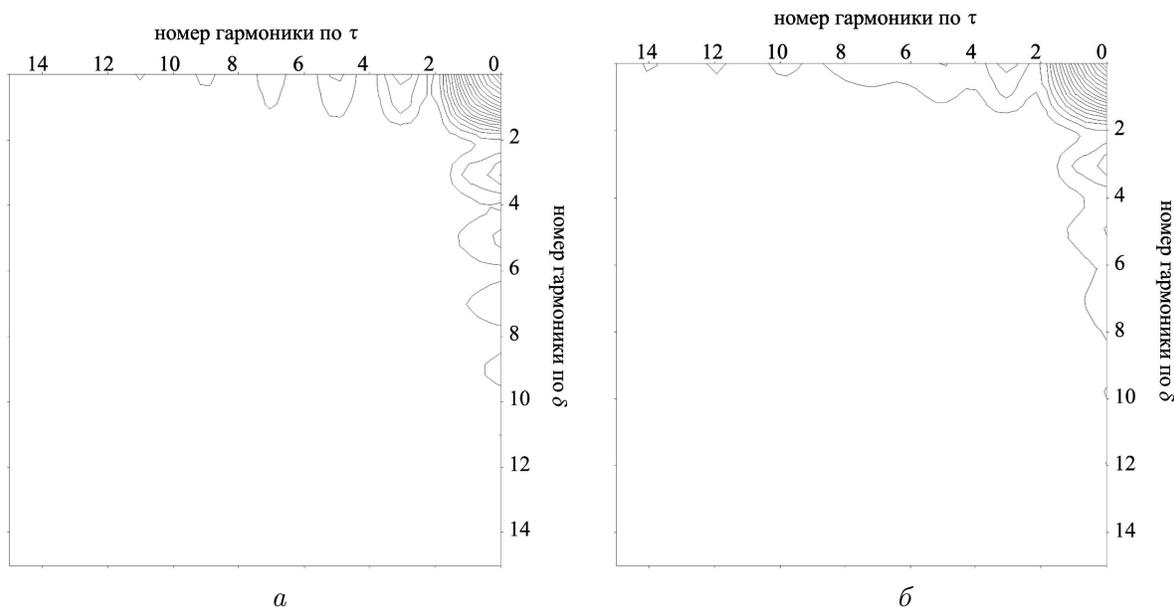


Рис. 2. Распределение по волновым числам функции H-500 (а) и односолитонного решения уравнения sin-Gordon (б) в ряд Фурье (изолинии относительной комплексной амплитуды).

Разложив функции H-500 и односолитонное решение уравнения sin-Gordon в ряды Фурье до двадцатой гармоники по каждой координате, получили идентичные результаты для каждой долготы. На рис. 2 изображен спектр этого разложения. Разложения H-500 и односолитонного решения уравнения sin-Gordon в целом похожи. Основные максимумы для обоих разложений приходятся на гармоники с номерами (0, 0), (0, 3), (3, 0), (0, 5), (5, 0).

В данном эксперименте изучалось поведение классического односолитонного решения уравнения sin-Gordon (взятого из справочника), естественно, оно не может точно отражать реальные атмосферные процессы. Несмотря на всю сложность атмосферных процессов, выявлено их сходство с решением уравнения sin-Gordon.

Список литературы

- [1] NORTHERN Hemisphere atmospheric blocking as simulated by atmospheric general circulation models in the period 1979–1988 // WMO TD. 1996. N 784. P. 110–116.
- [2] ТОМПСОН Ф. Анализ и предсказание погоды численными методами: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. 239 с.
- [3] МОНИН А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 423 с.
- [4] РЕДЕКОРР L.G. On the theory of solitary Rossby waves // J. Fluid Mech. 1977. Vol. 82. P. 725–745.
- [5] ДОДД Р., ЭЙЛБЕК Дж., ГИБВОН Дж., МОРРИС Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М.: Мир, 1988. 694 с.

Поступила в редакцию 10 июня 2005 г.