

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРІКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

УДК 551.515.9

Хоменко Г. В., Сосмій Є. В.

Одеський державний екологічний університет

ВИСОТНІ ЦИКЛОНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПОГОДНІ УМОВИ В УКРАЇНІ*Ключові слова:* гідродинамічна нестійкість, висотний циклон, опади

Відповідно до теорії гідродинамічної нестійкості, процеси цикло- і антициклогінеза пов'язані з проявом в атмосфері баротропної, бароклінної і комбінованої (баротропно-бароклінної) нестійкості. У гідродинамічно-нестійких потоках створюються умови для передачі енергії від основного потоку (в нашому випадку зонального) до збурень, що призводить до їх зростання і загострення процесів в області циклонів, антициклонів і, зокрема, на фронтах.

Баротропна нестійкість зонального потоку проявляється при наявності меридіональних зсувів вітру. Необхідною умовою нестійкості такого потоку є виконання рівності [1]

$$\frac{\partial}{\partial y}(\Omega_p + l) = 0, \quad (1)$$

де $\Omega_p = -\frac{\partial u}{\partial y}$ - відносний вихор швидкості;

$l = 2\omega \sin \varphi$ - параметр Коріоліса. Рівність (1) означає, що похідна від абсолютного вихору по координаті y дорівнює нулю, тобто змінює знак де-небудь в широтні смугі, яка є обмеженою.

Бароклінна нестійкість реалізується в потоках з вертикальними зсувами вітру, тобто в потоках зі значними горизонтальними градієнтами температури. Одним з критеріїв бароклінної нестійкості є критерій Філіппа [1]

$$\delta p = (u_1 - u_2) - \sigma \cos \varphi (\sin^2 \varphi)^{-1}, \quad (2)$$

де u_1, u_2 - швидкість зонального потоку на ізобаричних поверхнях 300 і 700 гПа, φ - широта,

- параметр статичної стійкості, $\delta \theta = \theta_1 - \theta_2$ - різниця

потенціальних температур на вказаних ізобаричних поверхнях; σ - питома теплоємність при постійному тиску; R - радіус Землі; ω - кутова швидкість Землі. Критичним значенням δp є $10 \text{ М} \cdot \text{с}^{-1}$ в літній період і $20 \text{ М} \cdot \text{с}^{-1}$ взимку. [2]

Критерії (1), (2) використані для оцінки ролі баротропної і бароклінної нестійкості в формуванні зон опадів, пов'язаних з висотним циклоном. Для розрахунку критеріїв використані дані об'єктивного аналізу полів вітру і температури на ізобаричних поверхнях 700 і 300 гПа за 21-24 липня 2014 року. Область розрахунку обмежена меридіанами 15-45° сх.д. і паралелями 35-55° пн.ш. Крок сітки 2,5° по широті та довготі. До аналізу залучалися приземні карти, карти баричної топографії, а також карти добових сум опадів та атмосферних явищ за відповідні дні.

Аналіз карт погоди показав, що на початку розглянутого періоду поле приземного тиску відрізнялося малими градієнтами, як в областях підвищеного тиску, так і в улоговині, орієнтованої з південного сходу на північний захід (рис. 1). Проте в середній та верхній тропосфері відбуваються активні процеси циклогенезу, завдяки чому в глибокій улоговині над Західною Європою сформувався висотний циклон, який на карті АТ₃₀₀ окреслюється двома замкненими ізогіпсами.

На рисунку 2а видно, що циклон являє собою холодний відсічений вихор і на карті відносної топографії йому відповідає улоговина з чітко вираженим осередком холоду (рис. 2б).

На протязі усього періоду циклон зміщувався в східному напрямку і разом з ним переміщувалась зона опадів, яка увесь час перебувала під його передньою частиною. Так, 21 липня слабкі опади (з

добовими сумами до 2 мм) спостерігались під східною периферією висотної улоговини, в якій сформувався циклон (рис. 1); область, де в багатьох пунктах зафіксовані опади інтенсивністю 10-26 мм за добу, розташована під південно-східною частиною висотного циклону. Такий розподіл опадів за інтенсивністю відповідає узагальненій схемі розташування зон опадів в області висотних циклонів (рис. 3).

Приземні карти показують, що зони опадів пов'язані з холодною та теплою ділянками полярного фронту, який проходить в широтній смузі 35-50° пн.ш., але розміри зон опадів, їх характер та інтенсивність вказують на вплив ще і інших факторів, одним з яких може бути гідродинамічна нестійкість атмосферних течій.

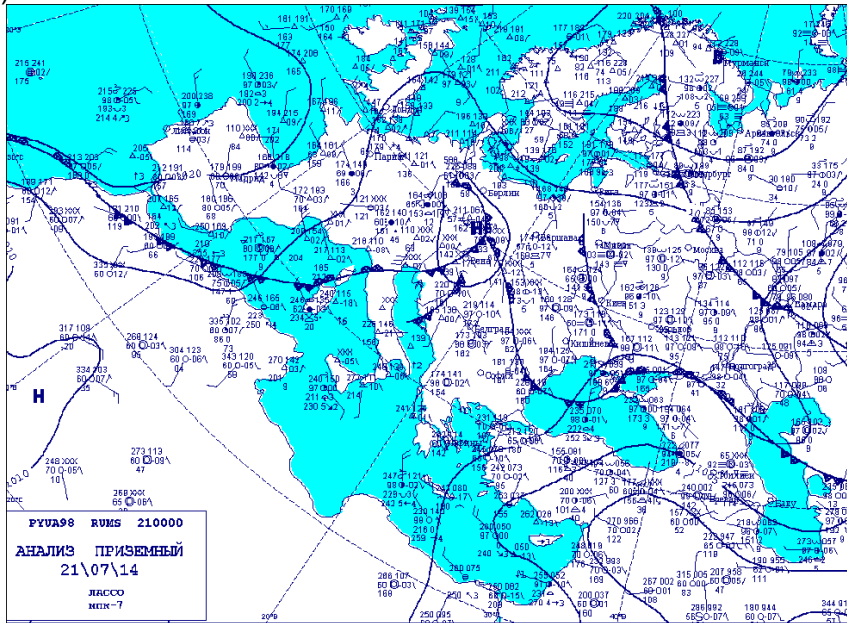


Рис. 1 – Аналіз приземний за 21.07.14 р.

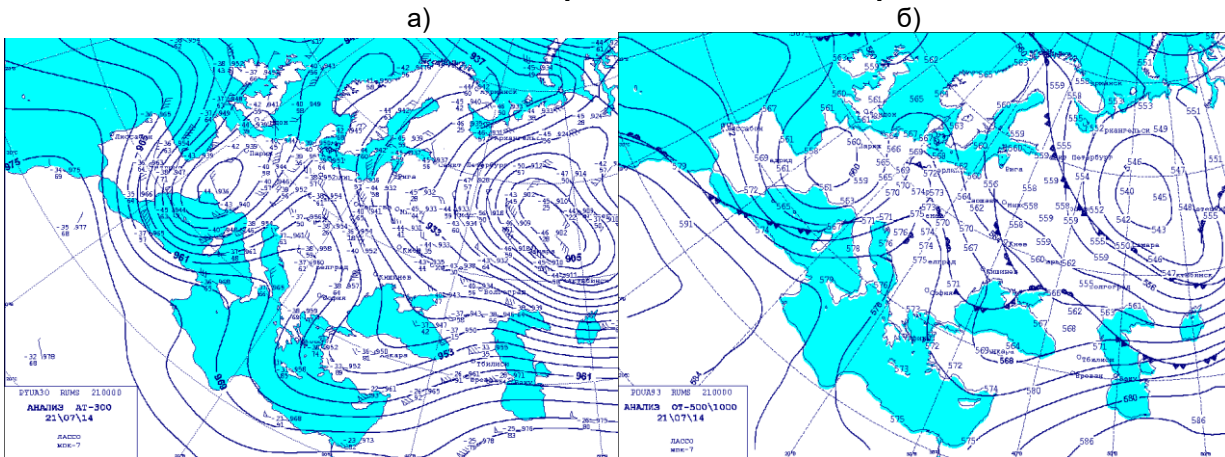


Рис. 2 – а) Карта АТ₃₀₀; б) Карта ОТ_{500/1000} за 21.07.14 р.

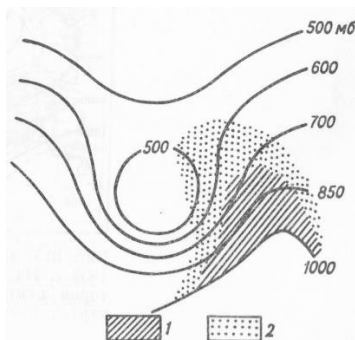


Рис. 3 – Схема розподілу опадів відносно ізогіп поверхні куполу холодного повітря. 1 – сильні опади, 2 – слабкі опади [2]

Теоретичні дослідження, висновки яких підтверджуються численними результатами аналізу реальних атмосферних процесів, показують, що гідродинамічна нестійкість відіграє велику роль в загостренні широкого класу процесів в області фронтальних зон, циклонів, антициклонів та інших синоптичних об'єктів [3]. Загострення атмосферних процесів відбувається за рахунок кінетичної або доступної потенціальної енергії, яка звільнюється при реалізації того чи іншого виду нестійкості.

Як вказувалось вище, розрахунки абсолютного вихору Ω_a виконані для вузлів сітки з кроком $2,5^\circ$ на меридіанах від $17,5$ до $42,5^\circ$ сх..д. між широтами $37,5$ - $52,5^\circ$ пн..ш.. Розрахунки показують, що в усій широтній смузі, де перебував висотний циклон, зональний потік є баротропно нестійким,

тому що в меридіональному напрямку абсолютний вихор змінюється немонотонно. Для наочності на рис. 4 представлені меридіональні профілі Ω_a для окремих довгот.

Видно, що на всіх профілях, крім довготи 40° , є одна або дві точки перегину. Це означає, що в цьому потоці збурення, тобто хвилі, вихори, конвективні рухи отримують додаткову кінетичну енергію і зростають. Цей процес в свою чергу може сприяти посиленню інтенсивності опадів і навіть привести до зміни облогових опадів на зливові з грозами. Як показує карта атмосферних явищ (рис. 5) за 24.07.14 на території України, як і над районами Західної Європи в попередні дні, переважали зливові опади, які супроводжувалися грозами.

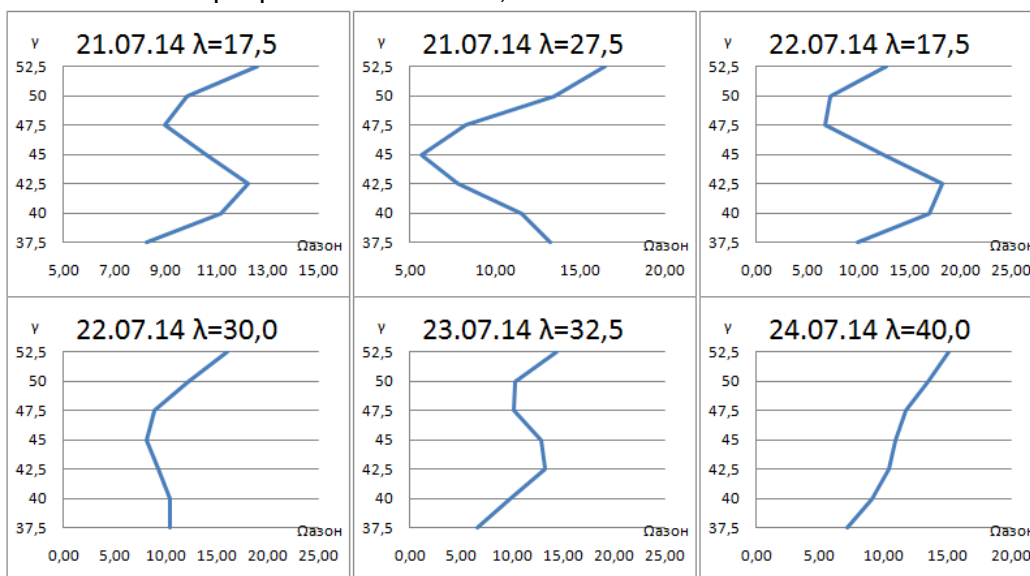


Рис. 4 – Меридіональні профілі абсолютного вихору, розрахованого за формулою (1)

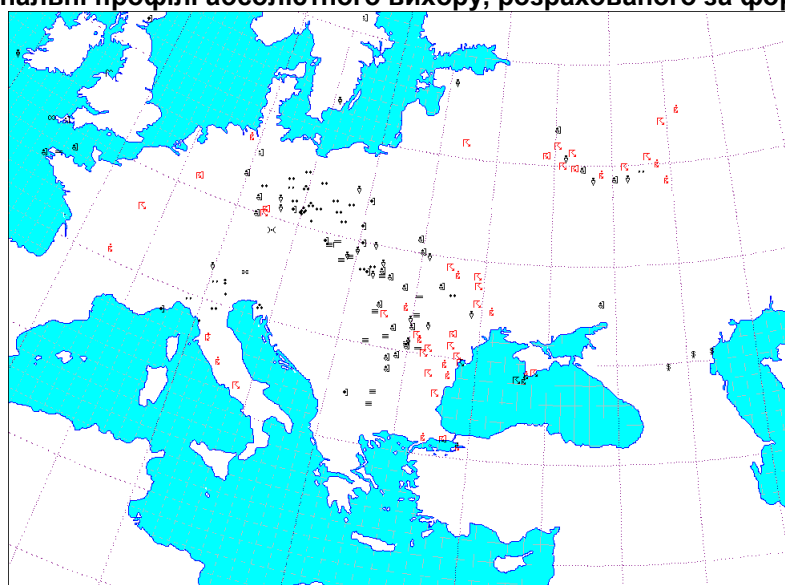


Рис. 5 – Карта атмосферних явищ за 24.07.14 р.

Як відзначається в роботі [5], критерій барокліної нестійкості δr , незважаючи на великі обмеження моделі, із якої він отриманий, дає досить реалістичні результати, і за його допомогою можна виявити найбільш активні зони, де реалізується бароклінна нестійкість. Зокрема, дослідження [4] показують, що найбільше загострення процесів (навіть зародження циклонів) здійснюється в тій частині висотної улоговини, яка розташована на деякій відстані від точки з максимальним значенням δr униз по потоку.

За результатами розрахунків δr для розглянутої ситуації зона, де δr перевищує критичне значення в 1,5-2 рази знаходиться в північно-східній частині висотної улоговини, як показано на рис. 6. Біля поверхні землі під цією частиною улоговини з висотним циклоном знаходиться хвиля на полярному фронті, з якою пов'язані зливові опади з грозами (рис. 5). Можна вважати, що згідно з висновками [5] виникненню хвилі сприяла бароклінна нестійкість, оскільки хвиля розташована західніше області вузла, де значення критерія Філіпса змінюються від 15,0 до

16,7 $m \cdot s^{-1}$. Це добре видно на рисунку 6. Таке розташування зон опадів і барокліної нестійкості зберігається протягом майже всього періоду. Інакше кажучи, наявність зон барокліної нестійкості в північній частині області дослідження сприяла тому, що опади спостерігалися не тільки під східною та південно-східною частинами висотного циклону, а і під його північно-східною і навіть північною периферією. Отже, в даному випадку бароклінна нестійкість не тільки посилювала інтенсивність опадів, а і збільшувала охоплену їм територію.

Висновки. Таким чином із сумісного аналізу полів абсолютного вихору та критерію Філіпса можна зробити наступні висновки: на формування зон опадів в області висотного циклону впливала як баротропно, так і бароклінна нестійкість зонального потоку. Баротропна нестійкість сприяла загостренню процесів, таких як, утворення опадів з грозами в східній та південно-східній частинах висотного циклону, а бароклінна – на фронтах, вона також сприяла поширенню зон опадів.

	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45
55	13,0	14,1	13,0	10,0	6,1	2,6	0,5	0,4	2,1	4,8	7,5	9,0	8,6
52,5	12,2	15,4	16,0	14,6	12,3	9,3	7,1	6,0	5,5	6,3	7,7	8,8	9,3
50	4,5	9,6	13,3	15,7	16,7	16,6	15,0	12,9	10,7	8,8	8,0	8,3	9,7
47,5	-5,5	-0,1	4,9	9,3	12,1	13,7	13,2	11,6	9,5	8,2	8,1	9,8	12,2
45	-9,1	-6,0	-2,9	-0,4	0,8	0,9	0,6	0,4	2,0	4,8	9,3	13,8	18,1
42,5	-2,8	-3,4	-3,6	-4,9	-7,4	-9,3	-10,0	-7,7	-2,6	4,9	12,7	19,4	24,4
40	6,0	3,4	0,6	-2,8	-6,1	-8,1	-7,3	-3,9	1,9	9,1	14,2	31,0	23,0
37,5	8,2	5,4	2,7	0,8	-0,1	0,9	3,2	6,4	8,9	10,3	10,4	10,6	11,9
35	3,1	1,0	-0,1	0,3	2,7	6,4	9,2	10,3	8,9	4,6	-0,4	-3,7	-3,7

Рис. 6 – Поле критерію δr за 21.07.2014 р.

Список літератури

1. Пальмен Э. Циркуляционные системы атмосферы / Пальмен Э., Ньютон Ч. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 615 с. 2. Петерсен С. Анализ и прогноз погоды / С. Петерсен. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 652 с. 3. Шакина Н. П. Гидродинамическая неустойчивость в атмосфере / Н.П. Шакина. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 309 с. 4. Шакина Н. П. Лекции по динамической метеорологии / Н. П. Шакина. – М.: Триада, 2013. – 160 с. 5. Шакина Н. П. Динамика атмосферных фронтов и циклонов / Н. П. Шакина. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 263 с.

Хоменко Г. В., Сосмії Є. В. Висотні циклони та їх вплив на погодні умови в Україні.

Теоретичне вивчення закономірностей, які керують всіма атмосферними рухами та їх перебудовою, визначило і розвиток теорії циклонів та антициклонів помірних широт, фронтальних зон і фронтів. Особливий інтерес до проблем виникнення і еволюції циклонів і фронтів обумовлений головним чином цих об'єктів в формуванні погодних умов в середніх широтах.

З середини минулого сторіччя вивчення циклонів та антициклонів почалося з дослідження нестійких збуджень, що розвиваються на зональному потоці, в якому швидкість вітру змінюється по широті (баротропна нестійкість) або по висоті (бароклінна нестійкість). Це було пов'язано з тим, що синоптичний досвід певно вказував на зв'язок циклогенезу з бароклініними зонами, і отже, на головну роль барокліної нестійкості в процесах виникнення циклонів середніх широт. Проте можливості циклогенезу в баротропних потоках також не виключались із поля зору, оскільки, по-перше,

спостереження показували, що в певних випадках в атмосфері можливе виникнення великомасштабних вихорів поза межами фронтальних зон. По-друге, йшов швидкий розвиток чисельних методів прогнозу метеорологічних полів, який йшов спочатку головним чином по шляху побудови і експлуатації баротропних моделей атмосфери, обумовив необхідність вивчення властивостей гідродинамічної стійкості таких моделей.

У даній роботі досліджується еволюція висотного циклону, з яким пов'язані інтенсивні опади над районами Західної Європи і України в період 21-24 липня 2014 року. Мета роботи полягає в тому, щоб з'ясувати яку роль в цих процесах опадоутворення грає гідродинамічна нестійкість атмосферних течій. Дослідження виконано з використанням основних результатів лінійної теорії гідродинамічної нестійкості зонального потоку. Показано, що гідродинамічна нестійкість розширює зони опадів та збільшує їх інтенсивність.

Ключові слова: гідродинамічна нестійкість, висотний циклон, опади.

Khomenko G. V., Sosmii E. V. Cold-core low and their impact on weather conditions in Ukraine.

Theoretical study of the patterns that govern all atmospheric motions and their restructuring determined the development of the theory of cyclones and anticyclones of temperate latitudes, frontal zones and fronts. Particular interest in the problems of the origination and evolution of cyclones and fronts is due mainly to participation of these objects in the formation of weather conditions in the mid-latitudes.

The study of cyclones and anticyclones began with the study of unstable perturbations developing on a zonal flow in which the wind speed varies by latitude (barotropic instability) or by height (baroclinic instability) since the middle of the past century. This was due to the fact that the synoptic experience is probably pointed to the link between cyclogenesis and baroclinic zones, and consequently, the main role of baroclinic instability in the processes of the formation of cyclones of mid-latitudes. However, the capacity of cyclogenesis in the barotropic streams was also not excluded from the field of view, because, firstly, observations showed that in certain cases, the appearance of large-scale vortices outside the frontal zones is possible. Secondly, there was a rapid development of numerical methods for the prediction of meteorological fields, which first proceeded primarily along the path of constructing and operating barotropic models of the atmosphere, which necessitated the study of the properties of the hydrodynamic stability of such models.

In the paper, the evolution of a cold-core low, that caused heavy precipitation during the period of 21-24 July 2014 over the area of Western Europe and Ukraine, is studied. The purpose of the investigation is to find out what role hydrodynamic instability plays in processes of precipitation formation. The study was carried out using the main results of the linear theory of hydrodynamic instability of zonal atmospheric currents. It is shown that hydrodynamics instability extend precipitation zones and make precipitation more intensive.

Keywords: hydrodynamics instability, cold-core low, precipitation.

Хоменко Г. В., Сосмий Е. В. Высотные циклоны и их влияние на погодные условия в Украине. Теоретическое изучение закономерностей, которые управляют всеми атмосферными движениями и их перестройкой, определило и развитие теории циклонов и антициклонов умеренных широт, фронтальных зон и фронтов. Особый интерес к проблемам возникновения и эволюции циклонов и фронтов обусловлен главным образом этих объектов в формировании погодных условий в средних широтах.

С середины прошлого столетия изучения циклонов и антициклонов началось с исследования неустойчивых возмущений, развивающихся на зональном потоке, в котором скорость ветра меняется по широте (баротропная неустойчивость) или по высоте (бароклиническая неустойчивость). Это было связано с тем, что синоптический опыт вероятно указывал на связь циклогенеза с бароклиническими зонами, и следовательно, на главную роль бароклинической неустойчивости в процессах возникновения циклонов средних широт. Однако возможности циклогенеза в баротропных потоках тоже не исключались из поля зрения, поскольку, во-первых, наблюдения показывали, что в определенных случаях в атмосфере возможно возникновение крупномасштабных вихрей вне фронтальных зон. Во-вторых, проходило быстрое развитие численных методов прогноза метеорологических полей, которое проходило сначала главным образом по пути построения и эксплуатации баротропных моделей атмосферы, что обусловило необходимость изучения свойств гидродинамической устойчивости таких моделей.

В данной работе исследуется эволюция высотного циклона, с которым связаны интенсивные осадки над районом Западной Европы и Украины в период 21-24 июля 2014 года. Цель работы состоит в том, чтобы выяснить какую роль в этих процессах осадкообразования играет гидродинамическая неустойчивость. Исследование выполнено с использованием основных результатов линейной теории гидродинамической неустойчивости атмосферных течений. Показано, что гидродинамическая неустойчивость расширяет зоны осадков и увеличивает их интенсивность.

Ключевые слова: гидродинамическая неустойчивость, высотный циклон, осадки.

Надійшла до редколегії 23.03.2017