

УДК 551.547.3

<https://doi.org/10.15407/ugz2017.03.041>**I.В. Дворецька, М.В. Савенець**

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

КОРОТКОСТРОКОВА МІНЛИВІСТЬ ВИСОТ СТАНДАРТНИХ ІЗОБАРИЧНИХ РІВНІВ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ ТА ПРИЛЕГЛИМИ ТЕРИТОРІЯМИ

Метою дослідження є оцінювання сезонної (короткострокової) мінливості висот стандартних ізобаричних рівнів та особливостей зміни кількісних показників їх сезонних моделей над територією України, що відображають найхарактерніші особливості динаміки ізобаричних поверхонь протягом року. Сезонні моделі являють собою осереднені багаторічні значення висоти рівня на кожен день року та містять інформацію про амплітуди й фази коливань, півширину та центральну частоту спектра коливань, коефіцієнти детермінації сезонного ходу. Визначено, що найкраще сезонні коливання простежуються у верхній тропосфері – нижній стратосфері та практично відсутні для ізобаричних рівнів граничного шару атмосфери. Ізобаричний рівень 1000 гПа істотно відрізняється від розташованих вище рівнів меншими амплітудами, зсувом фаз, широким спектром коливань та сезонними особливостями розташування поверхні. Отримані результати є важливими для проведення аналізу сезонної мінливості розподілу температури, вологості та вітру у вільній атмосфері за сучасних кліматичних умов; наявність багаторічно осереднених даних дає можливість перейти до розрахунків довготермінової мінливості висотного розподілу тиску.

Ключові слова: ізобаричний рівень; тропосфера; стратосфера; сезонна мінливість; амплітуда; коефіцієнт детермінації.

I. V. Dvoretzka, M. V. Savenets

Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv

SHORT-TERM VARIABILITY OF STANDARD ISOBARIC LEVELS' ALTITUDES ABOVE UKRAINE AND ADJACENT TERRITORIES

The purpose of research is evaluation of seasonal (short-term) variability of standard isobaric levels' height and features of changes in quantitative values from seasonal models above Ukraine, which represent the most typical features of annual isobaric levels' dynamics. Seasonal models show the average values of levels' altitudes for each day, and contain information about amplitudes and phases, spectrum semi-width and central frequency, determination coefficients of seasonal variations. There was identified that seasonal variations are better visible in upper troposphere – lower stratosphere and are almost absent for isobaric levels in boundary level. Isobaric level 1000 hPa sufficiently differs from upper situated levels by lower amplitudes, phases shifts, wide spectrum and seasonal features of level's situation. Obtained results are very important for analysis of temperature, moisture and wind seasonal variations in free atmosphere in current climate conditions. Moreover, availability of average data gives the opportunity to computation of long-term altitudinal pressure dynamics.

Keywords: isobaric level; troposphere; stratosphere; seasonal variability; amplitude; determination coefficient.

Актуальність теми дослідження

В умовах сучасних змін клімату дослідження висотного розподілу метеорологічних величин є необхідною умовою для розуміння тих процесів, що відбуваються безпосередньо біля земної поверхні та справляють найбільший вплив на життєдіяльність живих організмів.

Серед усіх метеорологічних величин основною величиною, що визначає фізичний стан атмосфери в певній точці, є атмосферний тиск. Атмосферний тиск відповідає вазі усіх вище

розташованих шарів атмосфери, тому з висотою він зменшується. Нерівномірний розподіл тиску призводить до утворення повітряних рухів, внаслідок чого формується циркуляція атмосфери, яка є одним із кліматоутворювальних чинників. Вертикальний розподіл метеорологічних величин недоцільно аналізувати за однаковими значеннями висоти над земною поверхнею, оскільки атмосферний тиск на одному й тому самому рівні в атмосфері може відрізнятися. Тому аналіз висотного розподілу метеорологічних величин проводять по *ізобаричних рівнях* – поверхнях з однаковими значеннями тиску. Відповідно, лінії, що

© I.В. Дворецька, М.В. Савенець, 2017

ISSN 1561-4980. Укр. геогр. журн. 2017, 3(99)

з'єднують точки з однаковими значеннями тиску в атмосфері, називають ізобарами. Будь-які коливання ізобаричних рівнів з висотою є результатом численних взаємопов'язаних метеорологічних процесів та безпосередньо визначають розподіл циркуляційних умов над окремим регіоном.

Вивчення короткострокової (сезонної) мінливості висот стандартних ізобаричних рівнів допомагає зрозуміти сезонні зміни метеорологічних умов та перейти до аналізу довгострокової мінливості висотного розподілу тиску, що є важливим ключем до розуміння генезису сучасних кліматичних змін.

Стан вивчення питання

Найповніші дослідження мінливості висотного розподілу стандартних ізобаричних рівнів було здійснено ще за часів СРСР у 1970-х – початку 1980-х рр. [1,7,8,11]. Саме тоді було отримано достатні вибірки даних радіозондування атмосфери для аналізу сезонної мінливості висотного розподілу метеорологічних величин. Показники тиску було проаналізовано в основному шляхом осереднення інформації по геопотенційних рівнях, а у [7] частково дається оцінка довгострокових коливань, а саме квазідворічної мінливості циркуляції та поля тиску.

Подальші дослідження [2-4,6,9,10,12-14] мали в основному прикладний характер. У [9,10] дані полів геопотенціалу стандартних рівнів використано для оцінювання найбільш ймовірних та екстремальних положень висотних баричних полів тропосфери та стратосфери, що формують короткочасні та різкі зміни середньої добової температури. У [6] з використанням даних аерологічного зондування було досліджено енергетику процесів коливання температури і геопотенційної висоти ізобаричних рівнів та встановлено, що загальна енергія коливального процесу геопотенційної висоти рівня в тропосфері зростає з віддаленням від земної поверхні. У [12-14] проведено дослідження з використанням аерологічної інформації для розуміння термобаричної та гідродинамічної структури нижньої тропосфери в період виникнення смерчів. Велика увага приділялася баричним утворенням, що зумовлюють виникнення несприятливих явищ над територією України [2-4].

Мета цього дослідження – оцінювання сезонної (короткострокової) мінливості висот стандартних ізобаричних рівнів та особливостей змі-

ни кількісних показників їх сезонних моделей над територією України, що відображають найхарактерніші особливості динаміки ізобаричних поверхонь протягом року.

Методи дослідження

Вихідними даними для проведення досліджень є результати радіозондування атмосфери [15] на 13 аерологічних станціях: 6 на території України (Київ, Харків, Ужгород, Чернівці, Одеса, Сімферополь) та 7 на прилеглих територіях – Легіоново (Польща), Бухарест (Румунія), Гомель (Білорусь), Ростов-на-Дону, Воронеж, Туапсе, Курськ (Росія). Завдяки такому положенню станцій стало можливим повністю охопити територію України і уникнути небажаних крайових ефектів під час проведеного аналізу. Період спостережень взято з 1979 р. з метою залучення у майбутньому отриманих результатів із супутниковою інформацією. Після 2010 р. аерологічне зондування в Україні проводилося несистематично і в даних є багато пропусків. Тому загальний період становить трохи більше 30 років, що відповідає повному періоду спостережень, необхідному для проведення багаторічного осереднення даних, а, відповідно, і визначення сезонної мінливості показників. Всього відібрано 13 стандартних ізобаричних рівнів: від 1000 гПа до 30 гПа.

Розрахунок здійснено методом гармонічного аналізу [5], що дозволяє представити функцію у вигляді рядів Фур'є та, відповідно, виявити циклічні коливання у рядах даних. Компонентами рядів Фур'є є гармоніки – тригонометричні функції, що мають періоди, кратні довжині ряду. У випадку розрахунку сезонної мінливості період першої гармоніки складає 365.24 дні, другої – близько 183 днів і так далі.

Розраховані сезонні моделі являють собою осереднені багаторічні значення висот ізобаричних рівнів для кожного дня року, отриманих шляхом додавання значущих гармонік. Моделі включають також низку параметрів: амплітуди сезонних коливань, фази, переведеної із кутових одиниць у юліанські дні (порядковий день від початку року), що стало збігатися з датою настання максимуму коливань, а також півширини та центральної частоти спектра, коефіцієнтів детермінації сезонного ходу. Перевірку значущості гармонік проведено за критерієм Стюдента на 95% рівні забезпеченості результатів.

Побудову карт здійснено в середовищі Surfer з використанням крігінг-інтерполяції.

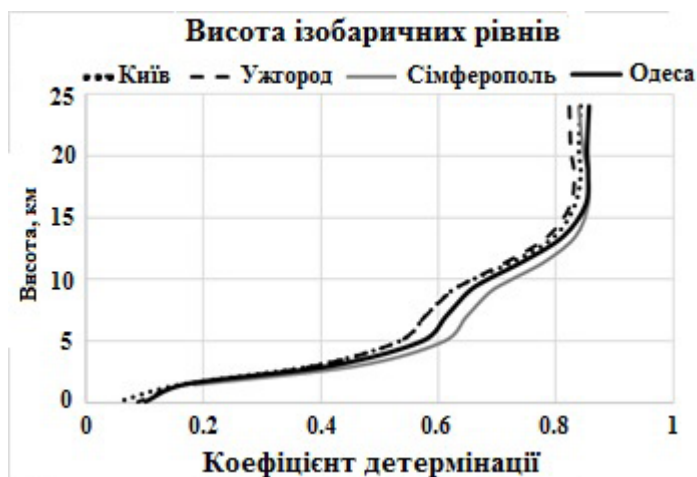


Рис. 1. Вертикальний розподіл коефіцієнта детермінації сезонного ходу висоти ізобаричних рівнів

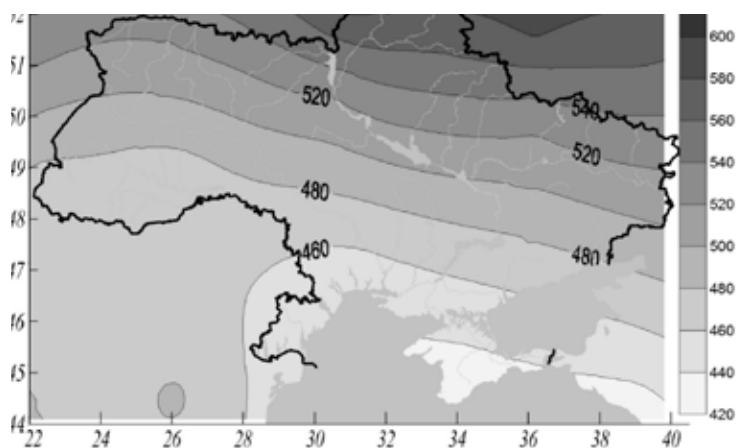


Рис. 2. Просторовий розподіл амплітуди першої гармоніки (м) ізобаричного рівня 30 гПа

Виклад основного матеріалу

Проведені розрахунки показали, що чіткість виділення сезонних коливань висот ізобаричних рівнів у тропосфері та нижній стратосфері різна (рис. 1). До висоти 5 км (ізобаричні рівні 1000, 850, 700 та 500 гПа) короткострокові коливання слабо простежуються. Лише у верхній тропосфері – нижній стратосфері сезонні коливання стають істотними і коефіцієнти детермінації, що вказують на ступінь прояву коливань, досягають значень $R^2=0.8$.

Це характерно для рівнів 100, 70, 50 та 30 гПа.

Основною причиною слабо виражених сезонних змін у нижніх шарах тропосфери та наявності сильних коливань, починаючи з верхніх шарів тропосфери, є складність процесів розподілу тепла, що формують поле тиску на різних

висотах. У нижній стратосфері, де всі процеси залежать, в основному, від змін у надходженні сонячного випромінювання протягом року, сезонність проявляється чіткіше. В нижній тропосфері процеси формування полів тиску набагато складніші, що призводить до розмивання сезонності.

Найбільш значущою для усіх стандартних ізобаричних рівнів є перша гармоніка, яка вказує на глобальні чинники формування полів тиску (сезонність надходження сонячної радіації). Проте, значущість показали й більш високочастотні гармоніки, що свідчить про наявність чинників формування полів тиску менших просторових та часових масштабів. На різноманіття чинників формування коливань ізобаричного рівня вказують також і півширина та центральна частота спектра коливань. Центральна частота спектра на ізобаричних рівнях 850 – 30 гПа мало змінюється в просторі та з висотою і варіює в межах 3.4 – 4.0 доба⁻¹. Ізобаричний рівень 1000 гПа є єдиним рівнем, на якому для центральної частоти спектра характерна значна просторова відмінність: від 0.4 доба⁻¹ на станції Туапсе до 5.6 доба⁻¹ на станції Бухарест, що свідчить про різноманітність та складність процесів формування полів тиску в найближчому до земної поверхні рівні. Півширина спектра коливань загалом по Україні варіює у межах 0.6 – 0.7 доба⁻¹, а з урахуванням суміжних територій – 0.5 – 1 доба⁻¹.

Амплітуда першої гармоніки зростає зі збільшенням висоти (рис. 2), причому різке зростання спостерігається в тропосфері вище граничного шару (від рівня 700 гПа). Різниця у значеннях амплітуди між різними станціями не істотна біля поверхні, але зі зростанням висоти спостерігаються значні відмінності просторового розподілу.

Наприклад, якщо для ізобаричного рівня 1000 гПа найменша амплітуда становить 8 м (Легіоново), а найбільша – 32 м (Ростов-на-Дону), то для ізобаричного рівня 30 гПа відмінність у просторовому розподілі амплітуди першої гармоніки варіює у межах від 427 м (Туапсе) до 593 м (Гомель). Ізолінії характеризуються широтним спрямуванням.

Фаза першої гармоніки незмінна на всіх стан-

ціях вище граничного шару атмосфери. Настання максимумів припадає на 210 – 230 дні року. Проте, на рівні 1000 гПа спостерігаються зовсім інші значення фаз. Настання максимумів на станціях Туапсе та Гомель відбувається у перші дні січня, на решті станцій – у грудні.

Загалом спостерігається меридіональний напрям зміни фази першої гармоніки з більш раннім настанням максимумів на північному сході, та пізнім – на північному заході.

Розгляд середніх багаторічних значень висот, на яких знаходяться окремі ізобаричні рівні, подібний на усіх висотах, за винятком рівня 1000 гПа – найближчого до земної поверхні. У просторовій динаміці ізобаричного рівня 1000 гПа простежуються постійні коливання нахилу поверхні. В період з вересня до лютого над південним заходом України ізобаричний рівень 1000 гПа розташовується на найбільших висотах. У цей час поверхня зазвичай нахилена в напрямку з південного заходу на північний схід (рис. 3). Середні значення висоти рівня над усією територією України знаходяться у межах 130 – 180 м.

Поступово область з найвищим розташуванням ізобаричного рівня переміщується на південний-схід, але висоти, на яких спостерігається тиск 1000 гПа, значно зменшуються, не досягаючи навіть 140 м. У березні – травні ізобарична поверхня 1000 гПа нахилена з південного сходу на північний захід. У червні – першій половині липня на північному сході спостерігаються найменші висоти ізобаричного рівня в сезонному ході (80 – 90 м). У другій половині липня – серпні нахил ізобаричної поверхні набуває повністю меридіонального напрямку із заходу на схід (рис. 4).

Починаючи з ізобаричного рівня 850 гПа нахил поверхонь набуває чіткого зонального спрямування з максимальними значеннями висоти на півдні, що зменшується у напрямку на північ. Найнижче розташування ізобаричного рівня 850 гПа

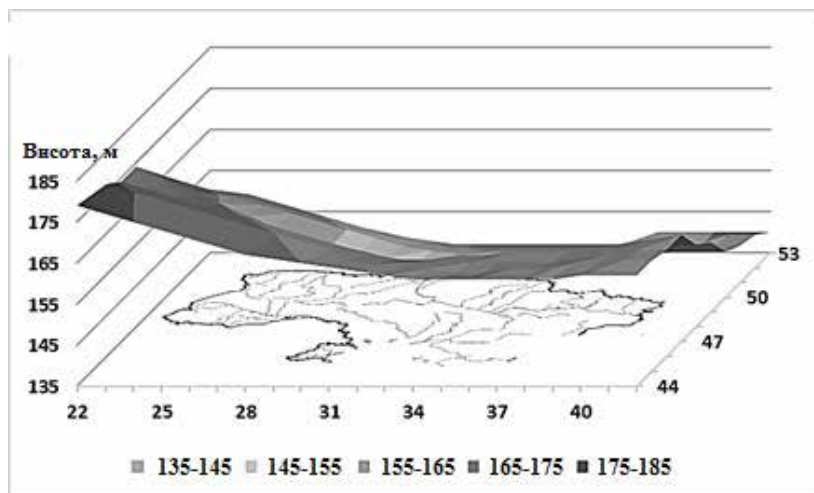


Рис. 3. Просторовий розподіл висоти ізобаричного рівня (м) 1000 гПа на 15 січня

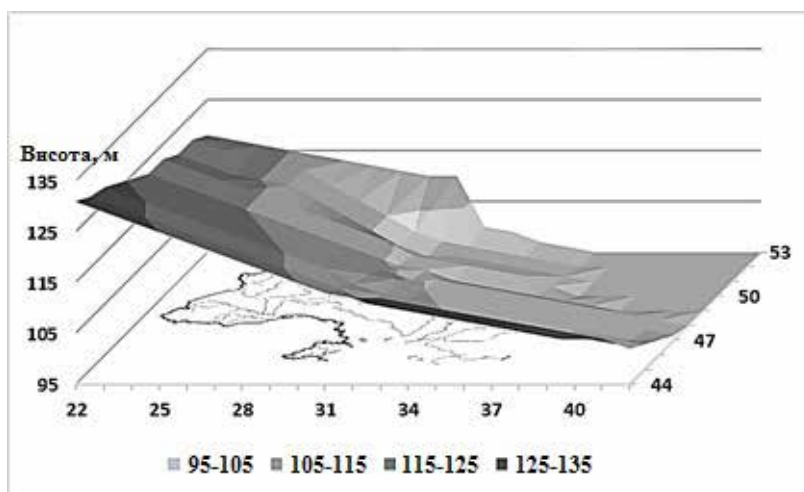


Рис. 4. Просторовий розподіл висоти ізобаричного рівня (м) 1000 гПа на 15 липня

спостерігається в грудні – січні з мінімальними значеннями 1400 м на півночі України. В цей час поле тиску найбільш неоднорідне в широтному напрямку, і різниця між північними і південними територіями досягає 90 м. Це пов'язано з переважанням зональної циркуляції взимку. Поступово широтні різниці висот вирівнюються і вже в квітні – травні по всій території України ізобаричний рівень 850 гПа розташовується на висотах 1490 – 1500 м.

У червні – серпні широтне спрямування дещо порушується і спостерігається нахил поверхні з південного заходу на північний схід. Поле тиску стає менш однорідним з максимальними значеннями 1550 м на південному заході та мінімальними 1490 м – на північному сході. Знову широтним нахил ізобаричного рівня стає в середині вересня.

Таблиця 1.

Зміни висот розташування ізобаричних рівнів 700 – 100 гПа протягом року

Ізобаричний рівень	Найнижче розташування		Найвище розташування	
	Період	Висоти, м	Період	Висоти
700	січень	2880 – 2980	липень	3100 – 3150
500	січень – лютий	5340 – 5490	липень – серпень	5750 – 5800
400	лютий	6900 – 7050	липень – серпень	7400 – 7500
300	лютий	8780 – 9000	серпень	9450 – 9500
250	лютий	9940 – 10100	липень – серпень	10700 – 10850
200	лютий	11340 – 11600	липень – серпень	12100 – 12300
150	лютий	13150 – 13400	липень – серпень	14000 – 14300
100	лютий	15700 – 16000	липень	16700 – 16850

Динаміка ізобаричних рівнів 700 гПа – 100 гПа істотно не відрізняється від попереднього рівня. Спостерігається лише незначне зміщення часу настання найнижчого розташування ізобаричних поверхонь. У шарах, близьких до граничного, мінімальні значення спостерігаються у січні. В середній тропосфері починається зміщення періоду на кінець січня – початок лютого, у верхній тропосфері – нижній стратосфері – на лютий. У червні – серпні чіткого зміщення періоду з максимальними значеннями висот не спостерігається. Зміни висот розташування ізобаричних рівнів протягом року наведено в *табл. 1*.

Починаючи з ізобаричного рівня 70 гПа значно видозмінюються поля тиску в літній період порівняно з нижчими висотами. Це проявляється у більш однорідному просторовому розподілі середніх багаторічних значень для всієї території України.

Окрім того, разом із максимумами висот на півдні з'являються максимуми на сході. Протягом року висоти ізобаричних рівнів варіюють: від 17950 до 19000 м для ізобаричного рівня 70 гПа, від 20000 до 21200 м для рівня 50 гПа та від 23150 до 24600 м для рівня 30 гПа.

Referenses [Література]

1. *Atlas of climatic characteristics of temperature, air density and air pressure, wind and geopotential in troposphere and lower stratosphere of Northern hemisphere.* (1974). Moscow. [In Russian].
[Атлас климатических характеристик температуры, плотности и давления воздуха, ветра и геопотенциала в тропосфере и нижней стратосфере северного полушария. Москва, 1974.]
2. Balabukh V. (2005). Objective identification of synoptic scale's systems. *Herald of Kyiv University.* 51, 16-35. [In Ukrainian].
[Балабух В.О. Об'єктивна ідентифікація систем синоптичного масштабу. Вісник Київського університету, 2005. №51. С.16 – 35.]

Висновки

Сезонна мінливість висот стандартних ізобаричних поверхонь найчіткіше простежується у верхній тропосфері – нижній стратосфері. Стандартний ізобаричний рівень 1000 гПа, що розташовується найближче до земної поверхні, характеризується найбільшими відмінностями короткострокових коливань від усіх рівнів, розташованих вище.

Це проявляється у незначних амплітудах, зміщеннях фаз на грудень – початок січня, ширшим спектром коливань та відмінностями у розташуванні рівня протягом року. У середній та верхній тропосфері ізобаричні поверхні зазвичай нахилені з півдня та північ, а настання максимумів спостерігається раніше на північному сході території України. В стратосфері поля тиску в літній період стають більш однорідними з вищим розташуванням на південному сході.

Отримані результати є важливими для проведення аналізу сезонної мінливості розподілу температури, вологості та вітру у вільній атмосфері за сучасних кліматичних умов; наявність багаторічно осереднених даних дає можливість перейти до розрахунків довготермінової мінливості висотного розподілу тиску.

3. Balabukh V.O., Bazaleieva Yu.O., Yagodynets S.M. (2016). Impact of blocking processes on repeatability and intensity of anomalous weather conditions in Ukraine, connected with air temperature. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 3, 85-94. [In Ukrainian].
[Балабух В.О., Базалєєва Ю.О., Ягодинець С.М. Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря. Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія. 2016. №3. С. 85 – 94.]
4. Balabukh V.O., Lashchenko V.V., Kobzystyi P.I. (2003). Baro-circulative processes of 2002 – 2003 winter formation. Thesis of the Conference *Geographical education and science in Ukraine*, Kyiv, 133-134. [In Ukrainian].
[Балабух В.О., Лашченко В.В., Кобзистий П.І. Барико-циркуляційні процеси формування зими 2002-2003 рр. Тези доповідей другої міжнар. наук.-практ. конф. „Географічна освіта і наука в Україні”, Київ. 2003. С. 133 – 134.]
5. Belotserkovskii A. V. (1993). *Spectral analysis in hydrometeorology*. Saint-Petersburg. [In Russian].
[Белоцерковский А.В. Спектральный анализ в гидрометеорологии. СПб, 1993. 64 с.]
6. Voloshyna O.V. (2006). Wave character and energy of fluctuation processes for heopotential height and temperature if isobaric levels. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 1, 55-62. [In Ukrainian].
[Волошина О.В. Хвильовий характер і енергетика процесів коливання геопотенціальної висоти і температури ізобаричних поверхонь. Український гідрометеорологічний журнал. 2006. №1. С. 55 – 62.]
7. Navrilova L. (1982). *Aeroclimatology (climate of free atmosphere)*. Leningrad. [In Russian].
[Гаврилова Л. Аэроклиматология (климат свободной атмосферы). Ленинград, 1982. 156 с.]
8. *Climate of free atmosphere and boundary level above the territory of USSR*. (1978). Papers of Soviet Union scientific-research institute of hydrometeorological information. World Data Center: Moskov. [In Russian].
[Климат свободной атмосферы и пограничного слоя над территорией СССР. Труды Всесоюз. научно-исслед. ин-та гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. Москва. 1979. 148 с.]
9. Martazinova V.F., Ostapchuk V.V. (2004). Relationship of circulation in troposphere and stratosphere during the short-term and long-term warming and cooling in Ukraine. *Scientific Papers of UkrGMI*. Vol.253, 27-36. [In Russian].
[Мартазинова В.Ф., Остапчук В.В. Взаимозависимость процессов циркуляции в тропосфере и стратосфере при кратковременных и длительных потеплениях и похолоданиях в Украине. Наукові праці УкрНДГМІ. 2004. Вип.253. С.27 – 36.]
10. Martazinova V.F., Ostapchuk V.V. (2001). Features of tropospheric and stratospheric atmospheric processes during the sharp warming and cooling in Ukraine in warm season. *Scientific papers of UkrGMI*. Vol.249, 24-34. [In Russian].
[Мартазинова В.Ф., Остапчук В.В. Особенности тропосферных и стратосферных атмосферных процессов при резких потеплениях и похолоданиях на территории Украины в теплый период года. Наукові праці УкрНДГМІ. 2001. Вып.249. С. 24-34.]
11. *New aeroclimatic manual of free atmosphere above USSR*. (1979). Moscow. [In Russian].
[Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Москва, 1979. 27 с.]
12. Semergei-Chumachenko A.B. (2007). Hydrodynamic characteristics of lower troposphere above Ukraine during the tornado formation. Thesis of the Second International Scientific-Technical Conference *Environmental – 2007: actual problems of ecology and hydrometeorology; education and science integration*. Odesa, 176-177. [In Russian].
[Семергей-Чумаченко А.Б. Гидродинамические характеристики нижней тропосферы над Украиной перед возникновением смерчей // Тези доповідей другої міжнар. наук.-техн. конф. „Навколишнє природне середовище – 2007: актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграції освіти і науки”. Одеса, 2007. С. 176 – 177.]
13. Semergei-Chumachenko A.B. (2007). Termobaric and hydrodynamic atmospheric structure during the tornado formation in Odessa region in 2002 and 2005. *Proceedings of Scientific Conference Lomonosov Readings*. Sevastopol: ECOSY-gidrophisica. [In Russian].
[Семергей-Чумаченко А.Б. Термобарическая и гидродинамическая структура атмосферы в период возникновения смерчей в Одесской области в 2002 и 2005 гг. Материалы научной конференции «Ломоносовские чтения» 2007 года. Севастополь, 2007. С. 25 – 27.]
14. Semergei-Chumachenko A.B. (2009). Characteristics of termobaric and hydrodynamic structure of lower troposphere during the tornado formation above the south of Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 5, 96-106. [In Ukrainian].
[Семергей-Чумаченко А.Б. Характеристика термобаричної та гідродинамічної структури нижньої тропосфери в період виникнення смерчів над півднем України. Український гідрометеорологічний журнал. 2009. №5. С.96 – 106.]
15. Upper air soundings. Wyoming University electronic databases. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Стаття надійшла до редакції 21.06.2017