

Марія Олегівна Сліже,

аспірант, Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>;

Юссеф Ель Хадрі,

аспірант, Одеський державний екологічний університет,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

РАЙОНИ ФОРМУВАННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПОВІТРЯНИХ МАС, ЯКІ НАБУВАЮТЬ ВЛАСТИВОСТІ СУХОВІЮ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Суховій це шкідливе метеорологічне явище, яке завдає негативного впливу на розвиток агропромислового комплексу, знижуючи врожайність сільськогосподарських культур, гнітюче впливає на рослинний покрив і сприяє деградації ґрунтів. Метою дослідження є визначення районів початкового формування суховіїв в Україні в останні десятиліття, та отримання кількісних показників трансформації повітряних мас, які набувають суховійних властивостей. Були побудовані траєкторії попереднього руху повітряних частинок за період 120 ч (5 діб) біля земної поверхні та на висотах 1500 м і 3000 м для станцій на яких спостерігалось явище суховію. Отримані значення температури, потенційної температури, відносної вологості повітряної частинки та її висоти над поверхнею землі в початковій, кінцевій і проміжних точках траєкторії в термін 10 UTC (13 год за місцевим часом), та розраховані їх трансформаційні зміни. У поверхні землі основну роль у формуванні суховіїв мають синоптичні процеси східного типу. На висотах відзначається переважання західного і північно-західного видів траєкторій. У поверхні землі основний внесок в зростання температури повітряної маси в процесі її трансформації вносить приплив тепла від підстильної поверхні. На висоті причиною збільшення температури повітря служить процес адиабатичного опускання. Висушування повітря відбувається при переміщенні повітряних мас по усім видам траєкторій (виключаючи південно-східний вид) біля поверхні землі і по західному, північно-західному і північному видам на висоті.

Ключові слова: суховій, трансформація, повітряна маса, траєкторії попереднього руху, температура, потенційна температура, вологість, HYSPLIT.

М. О. Сліже, Ю. Ель Хадрі. РАЙОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС, ПРИОБРЕТАЮЩИХ СВОЙСТВА СУХОВЕЯ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ. *Суховей это вредное метеорологическое явление, которое снижает урожайность сельскохозяйственных культур, оказывает негативное влияние на растительный покров и способствует деградации почв. Целью исследования является определение районов начального формирования суховеев в Украине в последние десятилетия, и получение количественных показателей трансформации воздушных масс, которые приобретают суховейные свойства. Были построены траектории предшествующего движения воздушных частиц за период 120 ч (5 дней) для станций, на которых наблюдалось явление суховей. Получены значения температуры, потенциальной температуры, относительной влажности воздушной частицы и ее высоты над поверхностью земли, в начальной, конечной и промежуточных точках траектории в срок 10 UTC, и рассчитаны их трансформационные изменения. У поверхности земли основную роль в формировании суховеев имели синоптические процессы восточного типа. На высотах отмечалось преобладание западного и северо-западного видов траекторий. У поверхности земли основной вклад в рост температуры воздушной массы в процессе ее трансформации вносил приток тепла от подстилающей поверхности. На высоте причиной увеличения температуры воздуха служил процесс адиабатического опускания. Всушивание воздуха происходило при перемещении воздушных масс по всем видам траекторий (исключая юго-восточный вид) у поверхности земли, и по западному, северо-западному и северному видам на высоте.*

Ключевые слова: суховей, трансформация, воздушная масса, траектории предшествующего движения, температура, потенциальная температура, влажность, HYSPLIT.

Вступ. Суховій це шкідливе метеорологічне явище, яке завдає негативного впливу на розвиток агропромислового комплексу, знижуючи врожайність сільськогосподарських культур, гнітюче впливає на рослинний покрив і сприяє деградації ґрунтів [1-3]. Найбільшої шкоди суховії надають ярим культурам, які у весняно-літній період знаходяться в стадії активного розвитку. Вивчення суховіїв, як і посух, найцікавіше для України, з причини того, що більша частина території країни розташована в зоні їх щорічного розвитку [4-9]. Тому прогноз суховіїв, а так само оцінка передбачуваного збитку, що завдається цим явищем, є актуальним науково-дослідним напрямом в гідрометеорології. Ознакою суховію як шкідливого для рослин явища є випаровування, яке визначається поєднанням значень температури повітря і відносної вологості. Зараз в

Україні, за критерій явища суховію, згідно [5], приймається одночасне поєднання хоча б в один строк спостережень таких значень метеорологічних величин: температура повітря 25 °С і вище, швидкість вітру на висоті флюгера 5 м/с і більше та відносна вологість повітря в будці 30 % і нижче.

Аналіз попередніх досліджень. Результати дослідження суховіїв на території Європейської частини Росії (ЄЧР) і України [9] сходяться до висновку, що придбання повітряною масою суховійних властивостей, пов'язано з процесом трансформації мас повітря, які надходять з районів Атлантики і Арктичних морів, та з процесом опускання повітря в системах високого тиску [7, 8]. Попередні дослідження [9] процесу трансформації повітряних мас, які набувають суховійних властивостей показали, що в дні з суховієм на

рівні ізобаричних поверхонь 850 і 700 гПа повітряної маси надходили з районів Карського, Баренцевого, Норвезького, Північного морів і районів Атлантики. Далі вони переміщалися над континентом, і якщо траєкторія руху пролягала над районами Середньої Азії і Прикаспію, повітряна маса набувала суховійних властивостей. Характер трансформації повітря, що перемістилося з району Арктики, має деяку відмінність від процесу трансформації атлантичного повітря. Арктичні повітряні маси трансформуються інтенсивніше, підвищення температури в нижньому шарі атмосфери відбувається на 15-18° С, в разі атлантичних мас підвищення відбувається на 10-15° С. Відносна вологість в першому випадку зменшується на 30-40 %, у другому на 50-60 %, що призводить до досягнення досить низьких значень в районах прояву суховію. Процес трансформації повітря протікає в двох напрямках: по-перше, в результаті прогріву (який супроводжується висушуванням) від підстильної поверхні при переміщенні над континентом; по-друге, в результаті вертикального змішування, що приводить до надходження з верхніх рівнів до земної поверхні більш сухого повітря.

Дослідження синоптичних умов виникнення суховіїв в Україні [10], виконано на підставі аналізу побудованих траєкторій частинок повітря на рівнях 850, 700 і 500 гПа. В результаті було виділено кілька районів, з яких надходили повітряні маси. Траєкторії, що беруть початок в Арктичному басейні далі проходять через Прикаспійську низовину або Нижнє Поволжя і закінчуються в Україні були у 44 % північного і у 10 % північно-західного походження. Близько 20 % траєкторій, що потрапляли на територію України, починалися від узбережжя Атлантичного океану і проходили по північній периферії гребеня азорського антициклону. Невелика кількість траєкторій (12 %) починалася на півдні або південному сході, над Середньою Азією або Іраном. У 14 % випадків суховії були пов'язані з малорухомими антициклонами, розташованими над Східною Європою. Близько 90 % суховіїв виникали безпосередньо на території України і прилеглих до неї районах, і тільки у 10 % випадків повітряні маси, були принесені потоками з посушливих районів і надходили до України у суховійному стані. Середній приріст температури повітряної маси у поверхні землі в процесі трансформації при переміщенні над континентом становив близько 15° С, при одночасному зниженні відносної вологості від 80-100 до 20-30 %.

Вивчення процесу трансформації повітряних мас за допомогою побудови траєкторій попереднього руху надає детальну інформацію про вихідні області формування різних метеорологічних параметрів (наприклад, температури, вологості)

та кількісні показники зміни властивостей повітряної маси [11-13]. Траєкторія руху повітряного потоку являє собою набір точок у просторі. Кожна точка визначається координатами положення лагранжевої частки в певний момент часу. Траєкторія попереднього руху відображає шлях повітряної частки в моменти часу, що передують її приходу в задану географічну точку. Залежно від поставленого завдання, в різних точках траєкторії проводиться розрахунок характеристик повітряної частки. Це дозволяє більш точно виділити процеси, що впливають на її перетворення і дає можливість побудови трансформаційних моделей, які використовують для прогнозу температури та вологості повітря, хмарності та інших метеорологічних параметрів.

Метою дослідження є визначення районів початкового формування суховіїв в Україні в останні десятиліття, та отримання кількісних показників трансформації повітряних мас, які набувають суховійних властивостей.

Вихідні дані. В якості вихідних у дослідженні були використані дані щоденних строкових спостережень, які отримані з сайту агентства NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVICE [14], за період 2006-2015 рр. з квітня по серпень, на 24 метеорологічних станціях, які належать до різних агрокліматичних зон України. Для виявлення явищу суховію за вказаним критерієм, були проаналізовані дані по температурі повітря, відносній вологості, швидкості та напрямку вітру за 8 строків щоденних спостережень.

Для більш детального вивчення природи суховіїв, в сучасних умовах, за допомогою сервісу Air Resources Laboratory NOAA [15], були побудовані траєкторії попереднього руху повітряних частинок біля поверхні землі та на висотах 1500м і 3000 м. Для побудови траєкторії були відібрані дні з суховієм, в які дане явище було максимально поширене по території і мало значну тривалість. В результаті були побудовані 810 траєкторій попереднього руху повітряних частинок за період 120 ч (5 діб) для станцій на яких спостерігалось явище суховію.

Для визначення походження повітряних мас, отримані траєкторії були об'єднані у 9 основних видів (рис. 1).

Оцінка трансформації повітряних мас. Під трансформацією повітряних мас в широкому сенсі розуміють індивідуальні зміни її основних характеристик (температури, вологості, стійкості, систем конденсації (хмари, опади, тумани) і т.п.) у поверхні Землі і на різних висотах за який-небудь відрізок часу, обумовлені різними видами притоку тепла і вологи. У процесі трансформації можна виділити періоди, коли міждодові зміни відбуваються швидко або повільно. У перші дні

після надходження в даний географічний район нової повітряної маси міждодовні зміни температури складають 4-5° С, які потім зменшуються до 1-2° С. Тому в якості критерію закінчення трансформації повітряної маси приймають момент, починаючи з якого зміна середньої добової

температури на рівні підстильної поверхні та на рівні 850 гПа складає менше 1-1,5° С. Період трансформації, тобто число днів за яке будуть досягнуті умови рівноваги, становить 5-7 днів [16].

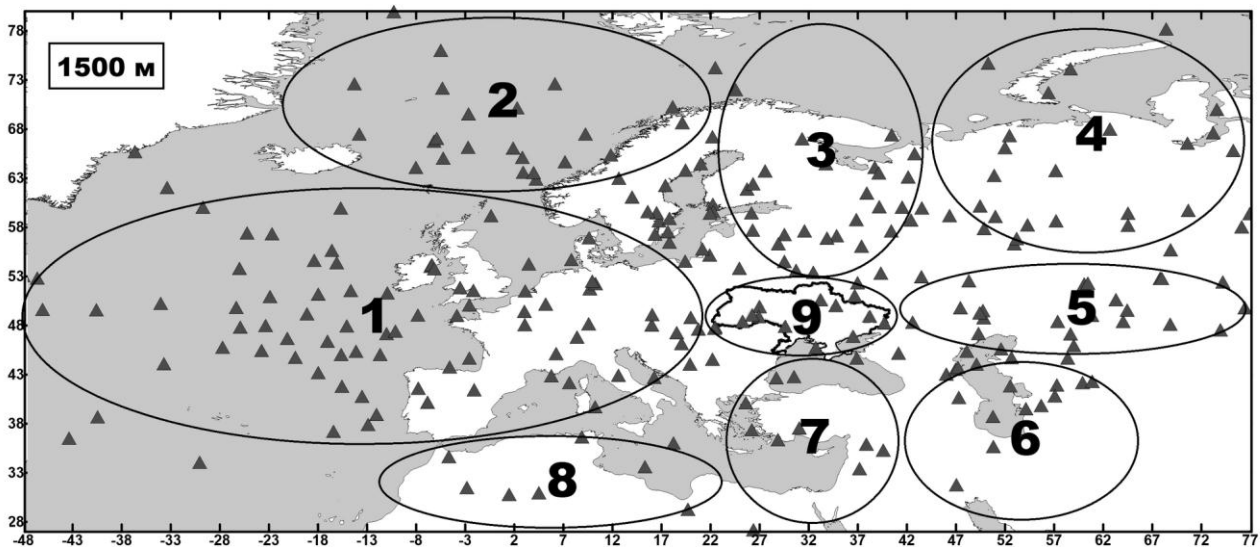


Рис. 1. Схематичне зображення районів формування повітряних мас за якими виділені види траєкторій: 1 – західний, 2 – північно-західний, 3 – північний, 4 – північно-східний, 5 – східний, 6 – південно-східний, 7 – південний, 8 – південно-західний, 9 – місцевий (трикутниками зображені початкові точки траєкторій побудованих для висоти 1500 м над поверхнею землі)

У вузькому сенсі під трансформацією розуміють зміну теплових властивостей фіксованої частки повітря. Оскільки при адиабатичному процесі потенційна температура частки не змінюється при зміні її висоти, індивідуальні зміни властивостей частки під впливом її вертикальних переміщень зазвичай не включають в поняття «трансформація» у вузькому сенсі. Вертикальні швидкості впливають на зміну стійкості повітряної маси і на системи конденсації. Тому, при аналізі трансформації, необхідно розглядати вплив вертикальних рухів на зміну властивостей повітряної маси [16].

В процесі переміщення повітряної маси відбувається турбулентний теплообмін між нею та підстильною поверхнею. Швидкість вітру значно впливає на протікання процесу теплообміну. При сильному вітрі зростає число частинок повітря, які стикаються з поверхнею, але кожна частинка незначно нагрівається або охолоджується від підстильної поверхні. При слабкому вітрі турбулентне перемішування ослаблене і буде більш сильно нагріватися або охолоджуватися тонкий шар повітря, що безпосередньо прилягає до земної поверхні. Тому трансформаційна зміна температури в приземному шарі обернено пропорційна швидкості вітру на шляху перенесення [17]. З іншого боку трансформаційна зміна температури залежить від зміни радіаційного балан-

су підстильної поверхні на шляху переміщення частинки повітря, тобто (при слабкій зміні випаровування та альбедо підстильної поверхні) від зміни кількості хмарності. Збільшенню хмарності відповідає зменшення величини трансформаційної зміни температури [18]. Процеси конденсації змінюють температуру повітря (T) на позитивну величину.

Теоретичні розрахунки трансформації повітряних мас засновані на застосуванні рівнянь припливу тепла, водяної пари і перенесення променистої енергії. Відповідно до рівняння припливу тепла [16]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{RT(\gamma_a - \gamma)}{pg} w + \frac{\varepsilon}{c_p \rho}, \quad (1)$$

де T – температура повітря, t – час, u і v – складові швидкості повітря, R – питома газова стала, γ_a – сухоадіабатичний градієнт, γ – вертикальний градієнт температури, p – тиск, g – прискорення вільного падіння, w – вертикальна швидкість, ε – приплив тепла, c_p – питома теплоємність повітря при постійному тиску, ρ – густина повітря.

Перший доданок праворуч характеризує локальні зміни під впливом адвекції, тобто в зв'язку з переміщенням повітряної маси. Адвективні зміни температури не характеризують трансформацію повітряних мас і повинні бути виключені.

Другий доданок визначає локальні зміни температури під впливом вертикальних рухів. Третя складова дозволяє оцінювати вплив на трансформацію повітряних мас турбулентного перенесення тепла, радіаційного теплообміну і фазових перетворень води в атмосфері.

Наближено можна вважати, що трансформаційна зміна температури ΔT_{mp} прямо пропорційна різниці температур в початковій (T_n) і кінцевій (T_k) точках переміщення повітряної маси [16]:

$$\Delta T_{mp} = T_k - T_n. \quad (2)$$

Зміну термодинамічного стану в більшості атмосферних рухів можна наближено вважати адиабатичною. Зокрема, при вертикальних рухах внаслідок значних перепадів тиску, що спостерігаються в реальних рухах, робота розширення набагато перевершує приплив тепла ззовні та їм можна знехтувати. Значні відхилення можна очікувати лише в нижньому стометровому шарі через приплив тепла від земної поверхні, температура якої значно відрізняється від температури повітря, і в стратосфері, де істотно позначається променистий приплив тепла [19]. Температура і тиск при адиабатичному процесі пов'язані співвідношенням Пуассона (3):

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{c_p}, \quad (3)$$

де c_p – питома теплоємність при постійному тиску, T_0 і p_0 – температура повітря і тиск у початковому стані, а T і p – температура повітря і тиск у кінцевому стані.

Формула Пуассона широко застосовується для порівняння термодинамічного стану різних повітряних мас або при оцінці зміни стану однієї повітряної маси. Для спрощення процесу зіставлення параметрів повітряних мас, їх температури призводять до стандартного тиску термодинамічних шляхом. У метеорології прийнято порівнювати температури повітря, приведеного адиабатичним процесом до тиску 1000 гПа, отримана таким чином температура називається потенційною температурою (Θ):

$$\Theta = T_0 \left(\frac{1000}{p_0} \right)^{c_p}. \quad (4)$$

Рівняння 1-го початку термодинаміки можна записати у вигляді:

$$dQ = c_p \frac{T}{\Theta} d\Theta, \quad (5)$$

де dQ – приток тепла. З (5) випливає, що зміни потенційної температури однозначно пов'язані з

величиною $\frac{dQ}{T}$ [19].

Одним з основних прийомів емпіричного вивчення трансформації повітряних мас є метод траєкторій [16, 20, 21]. Суть методу зводиться до побудови траєкторій руху повітряної частки і визначення зміни її властивостей в процесі переміщення, і таким чином в цілому напрямку трансформації повітряної маси. В процесі переміщення уздовж траєкторії відбувається зміна висоти повітряної частки над землею поверхнею, це супроводжується її адиабатичним нагріванням при опусканні та охолодженням при підйомі. У програмі HYSPLIT [15, 21] значення температури повітряної частки розраховані для різних висот над поверхнею землі, тому для аналізу змін стану повітряної частки, які відбуваються під впливом припливу тепла ззовні або за рахунок фазових перетворень, у дослідженні аналізувалися значення потенційної температури. Виходячи з міркувань, що в процесі трансформації зміна температури повітряної частки включає зміну за рахунок припливу тепла ззовні, та зміну за рахунок вертикального переміщення, трансформаційну зміну температури повітряної частки можна записати у вигляді [17, 22]:

$$\Delta T_{mp} = \Delta T_{ad} + \Delta T_q, \quad (6)$$

де ΔT_{mp} – трансформаційна зміна температури, ΔT_{ad} – зміна за рахунок адиабатичного переміщення по вертикалі, ΔT_q – зміна за рахунок припливу тепла внаслідок турбулентного обміну з підстильної поверхнею ззовні. Так, як ΔT_q характеризує зміну потенційної температури повітряної частки, то (6) можна записати у вигляді:

$$\Delta T_{mp} \approx \Delta T_{ad} + \Delta \Theta. \quad (7)$$

Величина $\Delta \Theta$ розраховується, як різниця потенційної температури частинки в кінцевій і початковій точці траєкторії

$$\Delta \Theta = \Theta_k - \Theta_n. \quad (8)$$

В результаті побудови траєкторій, були отримані значення температури (T), потенційної температури (Θ), відносної вологості (F) та висоти над поверхнею землі (H) повітряної частки в початковій, кінцевій і проміжних точках траєкторії в термін 10 UTC (13 год за місцевим часом). Наведені у таблиці 1 значення ΔT_{mp} і $\Delta \Theta$ розраховані за допомогою програми HYSPLIT, величина ΔT_{ad} розрахована за рівнянням (7).

Результати дослідження. Райони почат-

кового формування суховіїв. У поверхні землі значну повторюваність мають траєкторії (рис. 2): північно-східного (20%), західного і східного (по 19%) видів, у 16% випадків повітряна маса формувалася безпосередньо на території України, та 14% траєкторій відносяться до північного

виду. На висоті 1500 м спостерігається значна повторюваність: західного (30%), північно-західного (18%), північно-східного (14%), східного (11%) і північного (10%) видів. На висоті 3000 м над поверхнею землі найбільшу повторюваність має західний (45%) вид.

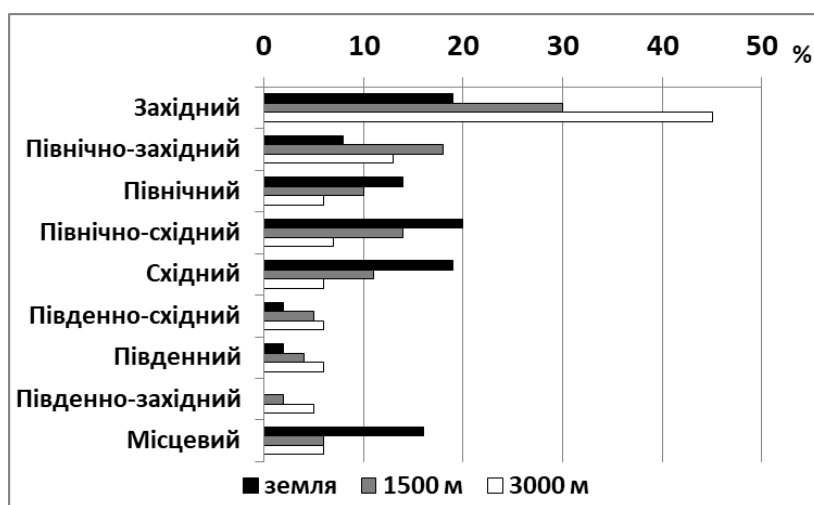


Рис. 2. Повторюваність (%) видів траєкторій

З метою виявлення сезонних особливостей у формуванні повітряних мас, які придбають суховійних властивостей, була розрахована повторюваність видів траєкторій повітряних частинок для кожного місяця вегетаційного періоду (квітень-серпень). Аналіз показав, в квітні найбільшу повторюваність мав західний вид (55%), в травні – східний (36%), в червні – північний (23%), в липні і серпні – північно-східний (27% і 29%, відповідно). На висоті 1500 м над поверхнею землі найбільшу повторюваність в квітні, травні і липні мав західний вид траєкторій (50%, 34% і 36%, відповідно), в червні – північно-західний (32%) і в серпні – східний (26%). У середній тропосфері, на висоті 3000 м, в усі місяці переважала повторюваність західного виду траєкторій (в квітні – 72%, в травні – 40%, в червні – 38%, в липні – 60%, в серпні – 36%). У літні місяці відбувається посилення азорського максимуму і поширення його площі в північному та західному напрямках, тому повітряні частинки, що переміщуються по його північній периферії, приходять на територію України з більш високих широт, ніж у весняні місяці. Цей процес простежується у вигляді збільшення повторюваності північно-західного виду траєкторій в червні-липні. У поверхні землі його найбільший відсоток відзначається в липні (12%), на висоті 1500 м і 3000 м в червні (32% і 24%, відповідно). Північний вид демонструє збільшення відсотка повторюваності в червні-липні, його значення у поверхні землі досягає в червні 23%, на висоті 1500 м в липні 17%. В липні-серпні частина суховіїв на території України пов'язана з форму-

ванням над ЄЧР і Уралом обширного антициклону, в ці місяці відзначається значний відсоток повторюваності північно-східного виду траєкторій (27-29% – у поверхні землі і 18% на висоті 1500 м).

Східний вид траєкторій має у поверхні землі два піки повторюваності: в травні (36%) і серпні (25%), а на висоті 1500 м в серпні (26%). Зростання повторюваності даного виду в травні місяці пов'язане із формуванням областей високого тиску над Україною і півднем ЄЧР, а в серпні з процесами, які викликають переміщення повітряних мас з північного-сходу.

Повторюваність траєкторій, що мають південну складову, не перевищує 17%. У поверхні землі найбільш високий відсоток становить 11% (південний вид в квітні), на висоті 1500 м по 17% (південний і південно-західні види в квітні), на рівні 3000 м – 17% (південно-західний вид в квітні) та 15% (південний в травні).

У другій половині літа відзначається збільшення відсотка повторюваності (27-29%) північно-східного виду траєкторій. Значну повторюваність протягом вегетаційного періоду має вид траєкторій, що бере свій початок на території України (місцевий), його відсоток відносно постійний і складає від 13% в червні до 17% в квітні, травні і серпні. На рівнях 1500 м і 3000 м повторюваність даного виду зменшується, і його максимальне значення складає 10-11% в серпні місяці.

Для більш детального вивчення процесів призводять до виникнення суховіїв в різних частинах території України, була розрахована по-

вторюваність видів траєкторій для різних агрокліматичних зон. Аналіз показав, що в зоні Полісся у поверхні землі та на висотах найбільшу повторюваність має західний вид траєкторій (24 % – у земної поверхні, 33 % – на висоті 1500 м, 40 % – на висоті 3000 м). Другим за кількістю у поверхні землі є східний (22 %), на висоті 1500 м – північно-західний (18%), на висоті 3000 м – південно-західний (13 %) види. У Лісостеповій зоні найбільшу повторюваність на всіх висотах має так само західний вид траєкторій (23 %, 37 % і 50 %, відповідно). Другим по повторюваності у поверхні земля є місцевий (18 %), на висотах 1500 м і 3000 м – північно-західний (20 % і 14 %, відповідно) вид. У зоні Степу найбільший відсоток траєкторій у землі відноситься до північно-

східного виду (27 %), на висотах 1500 м і 3000 м до західного (28 % і 45 %, відповідно). Другим по повторюваності у поверхні землі є східний вид (18 %), на висоті 1500 м – північно-східний (18 %), на 3000 м – північно-західний (13 %) вид.

Трансформація повітряних мас. Аналіз зміни температури повітряних частинок ΔT_{mp} у земної поверхні показав (табл. 1), що для усіх видів траєкторій вона має позитивну величину. Найбільше зростання температури відбувається при переміщенні повітряних частинок по північно-східному (17,9° С), північно-західному (17,6° С) і південному (16,4° С) видам траєкторій. При цьому найбільше зростання температури за рахунок припливу тепла ззовні $\Delta \Theta$ від-

Таблиця 1

Трансформаційна зміна температури та відносної вологості повітряної частинки, для різних видів траєкторій

Вид траєкторії	ΔT_{mp} , °С	$\Delta \Theta$, °С	$\Delta T_{ад}$, °С	ΔH , м	ΔF , %	
Земля						
1	Західний	15,7	9,4	6,3	-663	-36
2	Північно-західний	17,6	13,6	4,0	-503	-39
3	Північний	13,9	10,4	3,5	-346	-33
4	Північно-східний	17,9	9,0	8,9	-908	-23
5	Східний	8,7	5,3	3,4	-416	-3
6	Південно-східний	9,1	5,4	3,7	-486	3
7	Південний	16,4	13,0	3,4	-467	-18
8	Південно-західний	-	-	-	-	-
9	Місцевий	10,0	7,8	2,2	-242	-17
1500 м						
1	Західний	16,3	4,0	12,3	-1852	-4
2	Північно-західний	22,2	-2,9	25,1	-2504	-5
3	Північний	13,9	-0,3	14,2	-1443	-5
4	Північно-східний	23,2	-0,1	23,3	-2302	-20
5	Східний	4,4	2,0	2,4	-178	4
6	Південно-східний	5,9	-4,7	10,6	-837	0
7	Південний	2,7	-5,3	8,0	-600	19
8	Південно-західний	7,6	-7,5	15,1	-1285	32
9	Місцевий	9,0	1,2	7,8	-727	-3
3000 м						
1	Західний	12,4	-5,3	17,7	-1777	-6
2	Північно-західний	18,1	-4,7	22,8	-2249	-23
3	Північний	15,0	-4,6	19,6	-1966	-10
4	Північно-східний	11,5	-2,0	13,5	-1206	4
5	Східний	9,5	-3,8	13,3	-1246	9
6	Південно-східний	-3,9	-4,4	0,5	449	3
7	Південний	9,0	-6,8	15,8	-1254	12
8	Південно-західний	-5,4	-4,2	-1,2	460	28
9	Місцевий	16,2	-5,1	21,3	-1971	2

значаються при пересуванні по північно-західному (13,6° С), південному (13,0° С) і північному (10,4° С) видам траєкторій. Як видно з таблиці 1, для всіх видів траєкторій відзначаються низхідні рухи при переміщенні повітряних частинок. Найбільші значення ΔH характерні для

північно-східного і західного видів (-908 м і -663 м, відповідно). Це призводить до додаткового збільшення температури повітряних частинок у наслідку адіабатичного процесу. Найбільше значення $\Delta T_{ад}$ мають частки, що переміщуються

по північно-східному (8,9° С) і західному (6,3° С) виду траєкторій.

На висоті 1500 м над землею поверхнею при переміщенні за всіма видами траєкторій в середньому відзначається зростання температури повітряних частинок. Найбільші значення ΔT_{mp} спостерігаються при переміщенні повітряних мас по північно-східному (23,2° С), північно-західному (22,2° С) і західному (16,3° С) видам. Аналіз $\Delta \Theta$ показав, що за винятком східного і місцевого видів іншим траєкторіям характерне зменшення температури повітряних частинок. Найбільші від'ємні $\Delta \Theta$ характерні для південно-західного (-7,5° С), південного (-5,3° С) і південно-східного (-4,7° С) видів. З цього випливає, що основний внесок в нагрів повітряних частинок на висоті 1500 м вносить збільшення їх температури за рахунок адіабатичного опускання при переміщенні уздовж траєкторії. Так, наприклад, для північно-західного виду траєкторій середнє значення ΔH становить -2504 м, чому відповідає величина $\Delta T_{ad} = 25,1^\circ \text{C}$.

На висоті 3000 м відзначаються позитивні значення ΔT_{mp} для всіх видів траєкторій виключаючи південно-західний і південно-східний види, при яких в результаті трансформації температура повітряних частинок зменшується в середньому на -5,4° С і -3,9° С, відповідно. Найбільше зростання температури відбувається при переміщенні частинок по північно-західному (18,1° С), місцевому (16,2° С) і північному (15,0° С) виду траєкторій. При цьому для всіх видів траєкторій відзначається зменшення потенційної температури повітряних частинок на від -6,8° С для південного до -2,0° С для північно-східного видів траєкторій. Прогрів повітряних мас на цій висоті, як і на висоті 1500 м, відбувається за рахунок адіабатичного нагрівання. Додатні значення ΔT_{ad} відзначаються для всіх видів траєкторій, виключаючи південно-західні. У разі траєкторій південно-західного виду, як і південно-східного, при якому відзначається найменші додатні значення, спостерігаються висхідні вертикальні переміщення повітряних частинок.

Аналіз відносної вологості повітряних часток показав, що у поверхні землі її найбільше зменшення спостерігається при переміщенні по північно-західному (-39%), західному (-36%) і

північного (-33%) виду траєкторій. На висоті 1500 м для траєкторій північного, західного та місцевого видів характерне зменшення F , з найбільшою величиною -20% для північно-східного виду. Для повітряних мас, що переміщуються за траєкторіями східного, південно-східного, південного і південно-західного видів спостерігається збільшення F з найбільшим значенням 32% для південно-західного виду. На висоті 3000 м для західного, північно-західного і північного видів траєкторій має місце зменшення F (від -23% до -6%), для всіх інших видів траєкторій величина F зростає, з максимальним значенням $\Delta F = 28\%$ для південно-західного виду траєкторій.

Висновки. У поверхні землі основну роль у формуванні суховіїв мають синоптичні процеси східного типу. На висотах відзначається переважання західного і північно-західного видів траєкторій, причиною чого є західний перенос помірних широт.

Аналіз сезонних змін повторюваності видів траєкторій показав, що у поверхні землі в квітні в більшості випадків повітряні маси приходили з районів Західної Європи і Північної Атлантики, а з травня по серпень найбільший відсоток траєкторій брав свій початок в північних і північно-східних районах ЄЧР і північно-західній частині Азіатського континенту.

На висотах з квітня по липень основними районами формування повітряних мас, були райони Західної, Північної та Південної Європи і Північної Атлантики, в серпні значний відсоток повітряних мас надходили з південних районів ЄЧР, Північного Кавказу і Казахстану.

У поверхні землі основний внесок в зростання температури повітряної маси в процесі її трансформації вносить приплив тепла від підстильної поверхні. У разі значного опускання повітряної частки при її переміщенні уздовж траєкторії величина її адіабатичного нагрівання стає порівнянна з прогріванням ззовні, що призводить до максимальних значень трансформаційної зміни температури. На висоті причиною збільшення температури повітря служить процес адіабатичного опускання. Висушування повітря відбувається при переміщенні повітряних мас по усім видам траєкторій (виключаючи південно-східний вид) біля поверхні землі і по західному, північно-західному і північному видам на висоті.

Література

1. Туманян, А. Ф. Засухоустойчивость сортообразцов ярового ячменя / А. Ф. Туманян, Хандам Васим, Н. В. Тютюма // Вестник РУДН. – 2010. – № 2. – С. 43-49.
2. Михеева, М. А. Влияние высоких температур на устойчивость древесных растений в городской среде / М. А. Михеева., А. И. Фёдорова // Вестник ВГУ. – 2011. – № 2. – С. 166-175.
3. Паиштецкий, В. С. Влияние неблагоприятных природных явлений на деградацию почв и агропромышленный комплекс Крыма / В. С. Паиштецкий, К. Г. Женченко, А. В. Приходько // Бюллетень Почвенного института

- им. В. В. Докучаєва. – 2015. – Вып. 77. – С. 94-105.
4. Татарчук, О. Г. Дослідження просторово-часового розподілу суховіїв на території України в умовах сучасного клімату / О. Г. Татарчук, М. Б. Барабаш // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 2007. – Вып. 256. – С. 140-154.
 5. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
 6. Семёнова, И. Г. Оценка пространственно-временного распределения засух на Украине в вегетационный период // *Труды ГГО.* – 2014. – Вып. 571. – С. 134-146.
 7. Бучинский, И. Е. Засухи и суховеи. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 214 с.
 8. Бучинский, И. Е. Засухи, суховеи и пыльные бури на Украине и борьба с ними. – К.: Урожай, 1970. – 236 с.
 9. Волеваха, В. О. Суховії на Україні / В. О. Волеваха, В. І. Ромушкевич. – К.: Вид-во Київ. ун-ту, 1972. – 172 с.
 10. Волеваха, В. А. О режиме метеозаэментов в малоподвижных антициклонах, с которыми связано возникновение засух на Украине. // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 1971. – Вып. 108. – С. 52-65
 11. Kodama, Y. M. Air mass transformation along trajectories of airflow and its relation to vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events / Y. M. Kodama, Y. Tomiya, S. Asano // *J. of the Met. Society of Japan.* – 2009. – Vol. 87. no. 4, – pp. 665-685. DOI:10.2151/jmsj.87.665
 12. Fuhrmann, C. M. A trajectory approach to analyzing the ingredients associated with heavy winter storms in Central North Carolina / C. M. Fuhrmann, C. E. A KONRAD II // *Weather and Forecasting.* – 2013. – Vol. 28. №. 3. – pp. 647-667. doi.org/10.1175/WAF-D-12-00079.1
 13. Holtzlag, A. A. M. A high-resolution air-mass transformation model for short-range weather forecasting / A. A. M. Holtzlag, E. I. F. De Bruijn, H.-L. Pan // *Monthly Weather Review.* – 1990. – Vol. 118. – pp. 1561-1575. doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2
 14. Електронна база кліматичних даних URL:<https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo> (дата звернення: 10.08.2016)
 15. Air Resources Laboratory NOAA. URL:<https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtime=archive> (дата звернення: 10.03.2018)
 16. Зверев, А. С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 711 с.
 17. Воробьев, В. И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 616 с.
 18. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1 / под ред. С. Л. Белоусова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 702 с.
 19. Динамическая метеорология. Теоретическая метеорология / под ред. Д. Л. Лайхтмана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 608 с.
 20. A back-trajectory and air mass climatology for the Northern Shenandoah Valley, USA. / M. H. David, S. Luke, E. D Robert etc // *Int. J. Climatol.* – 2010. – no. 30. – pp. 569-581/
 21. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system / A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph etc // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 2015. – №. 96. – pp. 2059-2077.
 22. Практикум по синоптической метеорологии. Руководство к лабораторным работам по синоптической метеорологии и атлас учетных синоптических материалов / под ред. В. И. Воробьева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 268 с.

UDC 551.524, 551.571

Mariia Slizhe,

PhD student, Odessa State Environmental University,
Lvivska str., 15, Odessa, 65016, Ukraine,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>;

Youssef El Hadri,

PhD student, Odessa State Environmental University,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

FORMATION AREAS AND TRANSFORMATION OF AIR MASSES ACQUIRING PROPERTIES OF DRY WIND IN THE TERRITORY OF UKRAINE

Formulation of the problem. Dry wind is a widespread dangerous phenomenon which reduces the yield of crops in Ukraine. The hot and dry winds inflict a special harm to spring grain crops. Active development of these crops falls during the spring-summer period. Dry wind can significantly reduce or completely destroy future harvests in a short time.

The purpose of the article. The aim of the study is to determine the areas of initial formation of dry winds in Ukraine in recent decades and to obtain quantitative transformation value of air masses acquiring properties of dry wind on the territory of Ukraine.

Methods. Daily observations at 24 meteorological stations for the period 2006-2015 were used as the initial dataset and were obtained from NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVICE. To determine

the dry wind according to the specified criteria the data for 8 sets of daily observations of air temperature, relative humidity and wind speed were analyzed. To define the place where the formation of an air mass begins, taking dry wind properties on the territory of Ukraine, backward trajectories of the previous movement of air particles were constructed for the period of 120 hours (5 days) for the following heights: at the earth's surface, 1500 m and 3000 m. For construction of the backward trajectories, the Air Resources Laboratory NOAA, HYSPLIT program were used. As a result of trajectories construction, temperature values, potential temperature, relative humidity of the air particle and its height above the ground, at the initial, final and intermediate points of the trajectory within 10 UTC were obtained and their transformational changes were calculated.

Results. On the earth's surface, synoptic processes of the eastern type played the main role in the formation of the dry winds. At the heights, the predominance of the western and north-western types of trajectories was noted. At the earth's surface the main contribution to air mass temperature rise in the process of its transformation was made by the inflow of heat from the earth's surface. At height, the reason for the increase in air temperature was the process of adiabatic descent. Dry air occurred when air masses moved through all kinds of trajectories (excluding the south-eastern form) at the surface of the earth and along the western, north-western and northern types at height.

Scientific novelty and practical significance. The results of the analysis provide additional information that can be used to develop a method for forecasting dry winds on the territory of Ukraine in modern climatic conditions.

Keywords: dry wind, transformation, air mass, temperature, potential temperature, humidity, back-trajectory, HYSPLIT.

References

1. Tumanjan, A. F., Handam Vasim, Tjutjuma, N.V. (2010). *Drought resistance of varieties of spring barley*. RUDN University, 2, 43-49.
2. Miheeva, M. A., Fjodorova, A. I. (2011). *Effect of high temperatures on stability of woody plants in urban environments*. Voronezh: VSU, 2, 166-175.
3. Pashtekij, V. S., Zhenchenko, K. G., Prihod'ko, A. V. (2015). *Influence of adverse natural phenomena on soil degradation and agro-industrial complex in Crimea*. Moskva: Počvennyj institut im. V.V. Dokučeva, 77, 94-105.
4. Tatarchuk, O. H., Barabash, M. B. (2007). *Investigation of the spatial-temporal distribution of dry winds on the territory of Ukraine in the conditions of the modern climate*. Scientific Proc. UkrSRGMI, 256, 140-154.
5. Lipins'kyy, V. M., Dyachuk, V. A., Babichenko, V. M. (Eds.) (2003). *Climate of Ukraine*. Kiev: Raevsky Publ, 343.
6. Semenova, I. G. (2014). *An estimation of spatial and temporal distribution of drought in Ukraine during the vegetation period*. Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory, 571, 135-147.
7. Buchinskii, I. E. (1976). *Droughts and hot dry winds*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 214.
8. Buchinskii, I. E. (1970). *Droughts, hot dry winds and dust storms in Ukraine and the fight against them*. Kiev: Harvest, 236.
9. Volevakha, V. O., Romushkevych, V. I. (1972). *The dry winds in Ukraine*. Kiev: Publ. Of Kiev University, 172.
10. Volevakha, V. O. (1971). *The mode of meteorological elements in sedentary anticyclones, which are associated with the occurrence of droughts in Ukraine*. Scientific Proc. UkrSRGMI, 108, 52-65.
11. Kodama, Y.-M., Tomiya, Y., Asano, S. (2009). *Air mass transformation along trajectories of airflow and its relation to vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events*. J. of the Met. Society of Japan. 87(4). 665-685. DOI:10.2151/jmsj.87.665
12. Fuhrmann, C. M., Konrad II, C. E. (2013). *A trajectory approach to analyzing the ingredients associated with heavy winter storms in Central North Carolina*. Weather and Forecasting. 28(3). 647-667. doi.org/10.1175/WAF-D-12-00079.1
13. Holtzlag, A. A. M., De Bruijn, E. I. F., Pan, H.-L. (1990). *A high-resolution air-mass transformation model for short-range weather forecasting*. Monthly Weather Review. 118. 1561-1575. doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2
14. *Electronic climatic database*. Available at : <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>
15. *Air Resources Laboratory NOAA*. Available at : <https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive>
16. Zverev, A. S. (1977). *Synoptic meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 711.
17. Vorob'ev, V. I. (1991). *Synoptic meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 616.
18. Belousov, S. L. (Ed.) (1986). *Guide to short-term weather forecasts. Part 1*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 702.
19. Lajhtman, D. L. (Ed.) (1976). *Dynamic meteorology. Theoretical meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 608.
20. David, M. H., Luke, S., Robert, E. D., David, B. K., Stephen, D. G., Michael, L. D., Temple, R. L., Caroline, P. N., Philip, J. S. (2010). *A back-trajectory and air mass climatology for the Northern Shenandoah Valley, USA*. Int. J. Climatol, 30, 569-581.
21. Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., Ngan, F., (2015). *NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 96, 2059-2077.
22. Vorob'ev, V. I. (Ed.) (1983). *Workshop on synoptic meteorology. Manual for laboratory work on synoptic meteorology and atlas of accounting synoptic materials*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 268.