

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ  
МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ**

УДК 551.515.8:551.511.61

**Галицька Є. І., Сніжко С. І., Данилевський В. О.**  
*Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка*

**НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ  
ЛАНГРАНЖЕВОЇ МОДЕЛІ HYSPLIT ДЛЯ ПОБУДОВИ ТРАЄКТОРІЙ  
РУХУ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ**

*Ключові слова:* переміщення потоків, траєкторії, підхід Ейлера, підхід Лагранжа  
HYSPLIT

**Вступ.** Моделі траєкторій, що дають детальну характеристику шляху, яким рухається об'єм повітря, набули особливої актуальності протягом останніх десятиліть, серед яких визнання набули FLEXPART, HYSPLIT, LAGRANTO, NAME, STILT та інші.

Моделі такого типу широко використовуються в синоптичній метеорології, наприклад, для визначення руху повітряного потоку навколо гір (Штайнекер, 1984), в кліматології – для визначення шляхів переміщення водяної пари (Д'Абретон, Тайсон, 1996) чи пилу пустель (Чапелло, 1997), в природничих науках – для визначення траєкторії переміщення забруднюючих домішок.

**Історія розвитку та удосконалення HYSPLIT-4.** HYSPLIT-4 є останньою із серії програм, розроблених в лабораторії повітряних мас NOAA та в австралійському Бюро метеорології.

Початкова версія моделі (розробники – Дракслер та Тейлор, 1982) використовувала дані радіозондування; для розрахунку дисперсії були прийняті наступні припущення: протягом денного часу перемішування повітря в атмосфері мало однорідний характер, вночі – перемішування не відбувалось взагалі. У наступній версії (1988) інтенсивність перемішування була заснована на часовій та просторовій мінливості коефіцієнта дифузії. У третій версії (1990, 1992), дані зондування були замінені метеорологічними даними (аналіз або короткостроковий прогноз) у вузлах сітки чисельних прогностичних моделей. Також, був оновлений алгоритм адвекції, який включав інтерполяцію у часі. Дисперсія викидів розраховувалась і для одиничного пориву вітру. Такий порив вітру обчислювався зазвичай за розподілом Гауса.

Як і в попередніх версіях, у HYSPLIT-4 одиничний порив вітру поширюється до тих пір, доки не перевищує площу метеорологічної сітки. У випадку перевищення - одиничний порив ділиться на більш дрібні. Також, була додана тривимірна дисперсія, яка розраховувала концентрацію домішок у повітрі від процесу розсіювання, маючи початкову незмінну кількість забруднюючих часток (метод частинок). Такий підхід включає модифікацію, яка об'єднує метод розрахунків для пориву вітру і метод частинок за рахунок припущення, що пориви вітру відбувається лише по горизонталі, а дисперсія часток – по вертикалі. Такі змішані розрахунки можуть бути здійснені і для однієї частки. У такому випадку більша точність у розподілі параметрів вертикальної дисперсії у поєднанні із зростаючою кількістю поривів відображають поширення забруднення у просторі при збільшенні викидів. Усі рівняння, які використовуються для обчислення інтенсивності вертикального перемішування удосконалюються з урахуванням сучасних досліджень, а величина горизонтальної дисперсії більше не

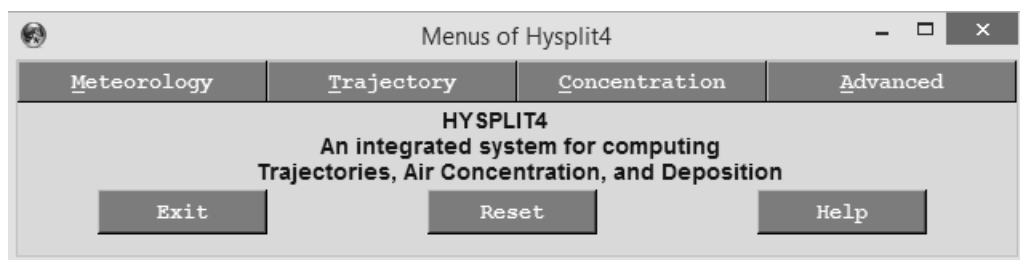
вважається постійною, оскільки може змінюватись в залежності від деформації поля вітру.

HYSPLIT-4 працює в діалоговому режимі і має детальну інструкцію для користувачів, її можна використовувати в Інтернеті з сторінки NOAA чи за допомогою програми, а результати можуть бути збереженими на персональний комп'ютер [1, 3, 6].

Програмне забезпечення знаходиться у вільному доступі (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), може бути завантажено разом з усіма необхідними для його роботи утилітами. Метеорологічні бази даних та їх характеристика також знаходяться за посиланням, вказаним вище.

Зовнішній вигляд меню HYSPLIT-4 (на рис.1), включає наступні складові:

- Метеорологія (Meteorology) – прямий зв'язок з базами метеорологічних даних, необхідних для коректної роботи програмного забезпечення; потребує попередньої реєстрації;
- Траєкторії (Trajectory) – меню для візуалізації шляху переміщення повітряної частки;
- Концентрація (Concentration) – меню для візуалізації концентрації забруднених домішок
- Більше (Advanced) – додаткові можливості.



*Рис. 1 – Зовнішній вигляд меню HYSPLIT-4*

**Обґрунтування методу.** Для розрахунку часу існування забруднюючої домішки в повітрі, траєкторії її переміщення разом із повітряним потоком за допомогою чисельних методів використовують два поширені підходи [3]:

- підхід Ейлера – розв'язок адвективно-дифузійного рівняння здійснюється у фіксованій точці простору. Зазвичай використовуються у випадках, коли розглядаються складні сценарії викидів, за яких необхідно мати розв'язок рівняння у всіх, необхідних для певної території, вузлах сітки.
- підхід Лагранжа – адвекція та дифузія розраховуються незалежно одна від одної. Мають перевагу, коли емісія від одиничного джерела забруднення обмежується обчисленнями лише для кількох точок у вузлах сітки.

Обидва методи успішно використовуються для різноманітних сценаріїв поширення домішок.

Модель HYSPLIT (**H**ybrid **S**ingle Particle **L**agrangian Integrated Trajectory Model – проінтегрована траєкторія одиничної частки за Лагранжем) є гібридною або змішаною (**HY**brid) між підходом Ейлера та Лагранжа. Розрахунки адвекції та дифузії здійснені в межах методу Лагранжа, в той час як концентрація обчислюється у кожній фіксованій точці простору.

**Основні поняття та методи розрахунку траєкторій з використанням HYSPLIT.** Основою будь-якої моделі Лагранжа є те, що розрахунки дисперсії здійснюються з припущенням, що ми слідуємо за рухом частки повітря чи пориву вітру. Саме це і означає, що адвекція та дифузія розраховуються незалежно одна від одної. Інтегрована у часі адвекція кожної забруднюючої домішки може бути

розглянута як звичайна траєкторія, яка потребує лише тривимірного поля швидкості.

Детальний опис методу Лагранжа та його застосування для побудови траєкторій руху повітряних часток наведено у [1]. Надалі будуть зазначені лише основні поняття та методи розрахунку траєкторій з використанням моделей даного типу.

Зосередимо увагу на кінематичній моделі Лагранжа, яка обчислює траєкторії руху повітряної частки у Ейлерівському полі швидкості. Кінематичною модель називається тому, що враховує лише дані поля вітру [5].

Для чіткого розуміння принципу роботи моделі Лагранжа, розв'яжемо кінематичні рівняння руху:

$$\frac{dx}{dt} = v(x, t), \quad x(0) = x_0 \quad \text{або} \quad \frac{dx}{dt} = \dot{x}[x(t)] \quad (1),$$

де  $x(t)$  – положення часточки повітря як функції від часу  $t$ ;

$v(x, t)$  – швидкість як функція від положення та часу;

$x_0$  – початкове положення частки повітря

або  $x$  – вектор положення частки,  $\dot{x}$  – вектор швидкості вітру

Маючи дані початкового положення повітряної частки  $x_0$  в початковий момент часу  $t_0$ , розв'язком рівняння (1) є той шлях, який проходить частка повітря через атмосферу (її траєкторія). Тому, рівняння (1) можна записати у наступному вигляді:

$$x(t) = x(x_0, t) \quad (2)$$

Якщо ми здійснимо зворотне перетворення, то отримаємо:

$$x_0(t = t_0) = x_0(x, t), \quad (3)$$

яке дає відомості про початкові координати частки повітря, яка в момент часу  $t$  знаходиться в точці  $x$ . Таким чином, можна розраховувати траєкторії як вперед, так і назад у часі. Просторові координати  $x_0$  в момент часу  $t_0$  забезпечують ідентифікацію повітряної частки протягом усього часу її руху. Ці початкові координати називаються матеріальними або Лагранжові [5].

Важливою характеристикою траєкторій є те, що ті повітряні частки, які сусідніми були з початку, залишаються сусідніми протягом усього часу руху повітряного потоку. Переміщення ряду сусідніх часток в часі  $t_0$  залишається незмінним рядом в  $t$  часі, яким складним би не був повітряний рух. Цю тезу можна виразити за допомогою рівняння:

$$\lim_{\Delta x_0 \rightarrow 0} |x(x_0 + \Delta x_0, t) - x(x_0, t)| = 0 \quad (4)$$

Характерною особливістю (4) є те, що часточки всередині замкненої поверхні в момент часу  $t_0$  є відділеними від аналогічних часток ззовні. Замкнена поверхня, яка рухається разом із потоком називається матеріальною поверхнею.

Необхідно зазначити різницю між траєкторіями та струминними течіями: струминна течія вказує на напрям потоку в конкретний момент часу і, таким чином, є дотичною до вектора швидкості. В конкретний момент часу частка повітряного потоку рухається вздовж траєкторії, і тому струминні течії є паралельними траєкторіям. Але після певного проміжку часу, струминні течії впорядковують повітряний потік, і, як результат, струминні течії та траєкторії більше не паралельні. Умова паралельності притаманна для незмінних, стаціонарних умов в атмосфері. Така ідеалізована концепція вказує на обмеженість розрахунків у часі моделями Лагранжа.

Отже, рівняння руху (1) включає парні, диференціальні рівняння першого порядку для кожного компоненту руху. І якщо компонент швидкості ( $v$ ) може бути виведений теоретично, то цілком ймовірно отримати близький до реальності результат розв'язку рівняння (1) аналітичним шляхом. Але використання спрощеного рівняння (1) притаманне для простих повітряних потоків.

Необхідно зазначити, що навіть для відносно простого поля вітру рух частки може виявитись складним або хаотичним. Саме тому необхідно здійснювати чисельні розрахунки. Для реальних повітряних потоків, де дані поля швидкості отримуються в результаті метеорологічних спостережень, також необхідно здійснювати чисельний розв'язок.

Чисельний розв'язок рівняння (1) складається із 2 компонентів:

- метод інтерполяції дискретного поля вітру у вузлах сітки  $v(x_i, t_s)$  у випадковій точці  $x$  та часі  $t$ , які нас цікавлять;
- чисельний розрахунок для інтегрування (1) вперед та назад у часі з інтерпольованими швидкостями та набором початкових умов.

Для застосування даного методу в метеорології, необхідно використовувати скінчено-різницеву апроксимацію. Так, розклавши  $x(t)$  в ряд Тейлора при  $t = t_0$ , і оцінивши при  $t_1 = t_0 + \Delta t$ , тоді:

$$x(t_1) = x(t_0) + (\Delta t) \frac{dx}{dt} |_{t_0} + \frac{1}{2} (\Delta t)^2 \frac{d^2x}{dt^2} |_{t_0} + \dots \quad (5)$$

Перше наближення рівняння (5) має вигляд:

$$x(t_1) \approx x(t_0) + (\Delta t) \dot{x}(t_0) \quad (6)$$

і є «нульовим наближенням» рівняння (1). Є достовірним для першого порядку, що означає, що різниця між реальними даними та чисельними розрахунками виникає з похибки, що вноситься членами другого та вищого порядків. Якщо траєкторії розраховуються при малих часових проміжках, рівняння (6) достовірно відображає усі процеси. Тим не менше, існує і більш чітке наближення для складніших атмосферних процесів. Розклад  $x(t)$  в ряд Тейлора при  $t = t_1$ , і при  $t = t_0$ , маємо:

$$x(t_0) = x(t_1) - (\Delta t) \frac{dx}{dt} |_{t_1} + \frac{1}{2} (\Delta t)^2 \frac{d^2x}{dt^2} |_{t_1} - \dots \quad (7)$$

Поєднуючи рівняння (5) та (7), отримаємо:

$$x(t_1) = x(t_0) + \frac{1}{2} (\Delta t) [\dot{x}(t_0) + \dot{x}(t_1)] + \frac{1}{4} (\Delta t)^2 \left[ \frac{d\dot{x}}{dt} |_{t_0} - \frac{d\dot{x}}{dt} |_{t_1} \right] + \dots \quad (8)$$

Якщо брати до уваги перші дві складові правої частини рівняння (8), отримаємо розв'язок для «постійного прискорення»:

$$x(t_1) \approx x(t_0) + \frac{1}{2} (\Delta t) [\dot{x}(t_0) + \dot{x}(t_1)] \quad (9)$$

Це наближення є ідентичним до схеми Петерсена – графічного методу побудови ізобаричних траєкторій з синоптичних карт. Для розв'язку рівняння (9), використаємо (6), та з умовою, що  $\dot{x}(t_1)$  є невідомим:

$$x_1(t_1) \approx x(t_0) + (\Delta t) \dot{x}(t_0)$$

$$x_2(t_1) \approx x(t_0) + \frac{1}{2} (\Delta t) [\dot{x}(t_0) + \dot{x}_1(t_1)]$$

⋮

$$x_i \approx x(t_0) + \frac{1}{2} (\Delta t) [\dot{x}(t_0) + \dot{x}_{i-1}(t_1)]. \quad (10)$$

Нижні індекси визначають кількість повторів і  $\dot{x}^i(t_1)$  взяті з  $x^i(t_1)$ .

Іноді третій член правої частини рівняння (8) також використовується (так званий «метод змінного прискорення»). Цей метод є більш точним, але незручністю є те, що прискорення повинне бути оціненим двічі. Іноді ж, метод змінного прискорення може бути менш ефективним за метод постійного прискорення. Такі випадки спостерігаються при лінійній інтерполяції поля вітру, коли третій член правої частини рівняння (8) зникає, і змінне прискорення переходить у постійне.

При будь-яких розрахунках траєкторій, існує ймовірність виникнення похибок. Для реальних атмосферних потоків виділяють 3 основні типи похибок [2]:

- похибки у даних вітру у вузлах сітки, як результат людського фактору при метеорологічних спостереженнях або як результат апроксимації моделі Ейлера;
- похибки, які виникають в результаті інтерполяції полів швидкості (які обмежені як в часі, так і в просторі) відповідно до місця знаходження повітряної частки;
- похибки, що виникають в результаті інтегрування (1) у часі чисельними схемами.

Найпоширенішими при розрахунку траєкторій є помилки 1 та 2 типу. Похибки, що виникають в результаті часової та просторової інтерполяції поля вітру можуть бути визначені при запуску моделі з високою роздільною здатністю з використанням метеорологічних даних з меншою роздільною здатністю. Важливим відкриттям є те, що часова та просторова роздільна здатність поля вітру мають бути в рівновазі для зменшення кількості похибок при розрахунку траєкторій [1]. Так, це стало поширеною проблемою для моделей Лагранжа, оскільки більшість прогностичних центрів збільшили просторову роздільну здатність чисельних моделей (кожні 10 км), в той час як жодних удосконалень у часі не відбулось: дані отримуються кожні 3 або 6 годин. При виникненні таких ускладнень, були здійснено ряд удосконалень у чисельних моделях, в результаті яких роздільна здатність даних як в часі, так і в просторі знаходяться в рівновазі. Відсутність рівноваги розподілу даних у часі та просторі ускладнює роботу моделей Лагранжа.

**Метеорологічні дані.** Для обчислень траєкторій та дисперсії використовуються метеорологічні дані (аналіз або прогноз), які є результатами розрахунків чисельних метеорологічних моделей. Зазвичай ці розрахунки потребують попередньої обробки перед використанням у HYSPLIT, оскільки дані інтерпольовані у різних системах координат [4].

Для більшості програм розрахунку траєкторій, оперативні моделі та результати реаналізу є ключовими елементами. Прогностичні центри здійснюють суворий контроль за якістю великих об'ємів даних. Асиміляційні дані поєднуються з прогностичними даними чисельних моделей для впровадження високоякісного аналізу та глобальної тривимірної візуалізації отриманих результатів.

HYSPLIT підтримує 3 різні картографічні проекції: полярну стенографічну, Меркатора та конформну Ламберта, використовуючи набір універсальних трансформацій зображень. При моделюванні можна використовувати кілька файлів з метеорологічними даними, кожний з яких у різній проекції.

Для розрахунку траєкторій HYSPLIT вимагає файл з метеорологічними даними, який включає:  $u$ ,  $v$  (горизонтальні складові вітру),  $T$  (температуру),  $Z$  (висоту),  $P$  (тиск), та тиск біля земної поверхні  $P_0$ . Якщо процеси вологого осадження включені в модель, то необхідно також враховувати поле опадів. Більшість метеорологічних моделей включають дані поля вітру на висоті  $\leq 10$ м. У тих випадках, коли дані поля вітру відсутні, такі результати оцінюються шляхом використання логарифмічного профілю для нейтральних умов.

У більшості випадків метеорологічні дані включають поле вертикальних рухів. Якщо дані поля вертикальних рухів відсутні або для розрахунків необхідно враховувати особливі умови, HYSPLIT у такому випадку має функцію заміни цих полів вертикальної швидкості, які розраховані на основі припущення, що забруднююча домішка переноситься на будь-яку іншу поверхню. Швидкість ( $W_h$ ), яка утримує забруднюючу частку на певній поверхні ( $h$ ) розраховується наступним чином:

$$W_h = \left( -\frac{\partial h}{\partial t} - u \frac{\partial h}{\partial x} - v \frac{\partial h}{\partial y} \right) / \left( \frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (13)$$

**Графічне представлення результатів.** Для коректної роботи програми, спершу були завантажені метеорологічні дані (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) з ftp серверу університету Аляски за березень 2014 року. Дані GDAS (Global Data Assimilation System) – одна із серій баз даних комп'ютерного аналізу та прогнозу Національної служби погоди національного центру з прогнозування навколишнього середовища (NCEP). Архів складається з даних приземних, супутникових вимірювань а також даних радіозондування. За наявності вимірювань, архів поповнюється кожні 3 години. З більш детальною характеристикою можна ознайомитись за наступним посиланням: <http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php> або на веб-сторінці NCEP (<http://www.emc.ncep.noaa.gov/modelinfo/index.html>).

Для початку роботи з програмою, після її запуску, звертаємось в меню Trajectory (Траєкторія) і обираємо Setup Run для визначення основних параметрів роботи моделі.

В діалоговому вікні (рис. 2) спершу обираємо початковий час в порядку (рр мм дд гг). На прикладі, було обрано 14 рік 03 місяць 10 число 00 год. (години вказуються в UTC) або 10 березня 2014 року 00 UTC.

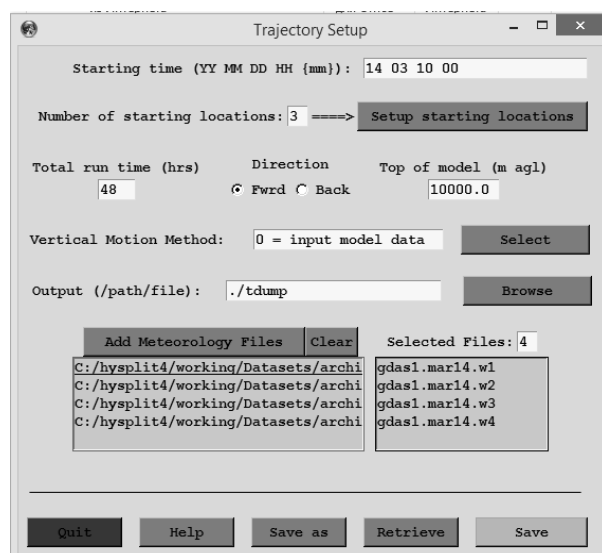
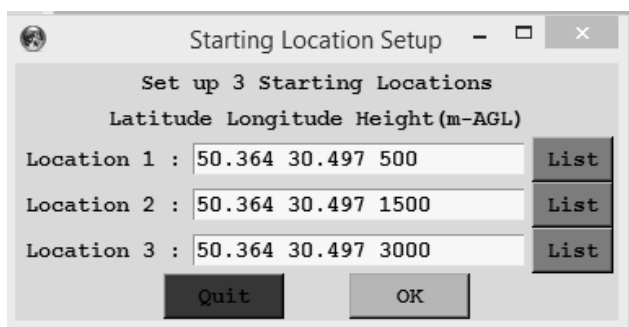


Рис. 2 – Встановлення основних параметрів роботи моделі

Number of starting locations – кількість початкових точок; на прикладі обрано 3 точки. При зверненні до меню Setup starting locations (установка початкових точок) необхідно вказати координати та висоту кожної точки. Відтак, на рис. 3 зазначені координати міста Києва для дослідження переміщення повітряного потоку на 3 різних висотах: 500, 1500 та 3000 м.



**Рис. 3 – Визначення координат та висот початкових точок**

Top of model - (верхня межа розрахунку даної моделі) залишається за замовчуванням – 10 км над рівнем моря.

Direction – напрям траєкторії повітряного потоку. Буває прямою та зворотною.

Fwrд – пряма траєкторія – вказує на напрям переміщення повітряного потоку від зазначеної точки.

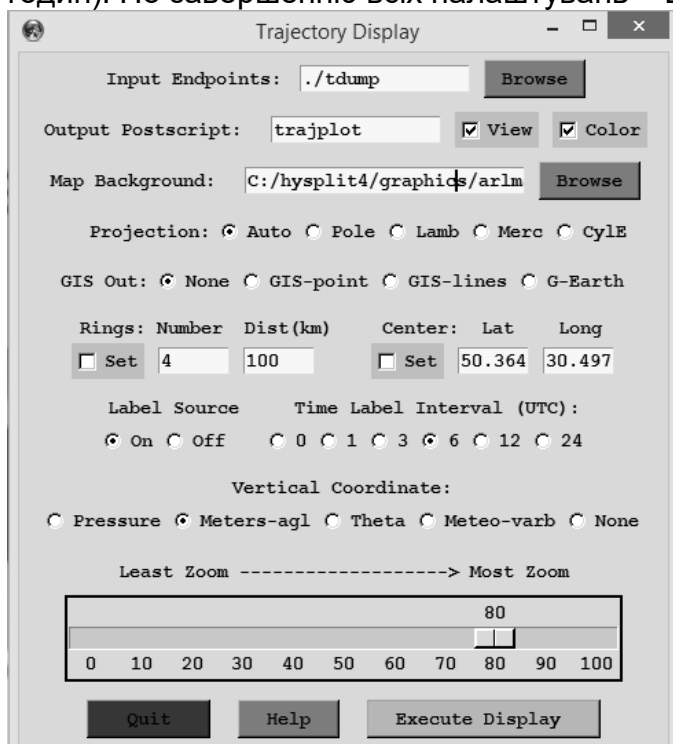
Back – зворотня траєкторія - вказує на напрям переміщення повітряного потоку до зазначеної точки.

Total run time (hrs) – вказуємо у годинах періоду розрахунку траєкторій.

На рис. 2 було обрано пряму траєкторію на 48 годин.

Для здійснення розрахунків додаємо архіви метеорологічних даних (Add Meteorology Files). Усі налаштування зберігаємо (Save).

Для запуску моделі звертаємось в меню Trajectory (Траєкторія) і обираємо Run Model. В результаті чого розпочинається процес розрахунку. По завершенню даної процедури для візуалізації даних заходимо в меню Display та обираємо Trajectory. Звернемо увагу на важливі моменти (рис. 4), наприклад, GIS-Out дає можливість зберегти результат у форматі (kml) для візуалізації в Google Earth. Time Label Interval – інтервал часу, на якому буде зазначатись географічне розташування та висота повітряного потоку окремою точкою (у прикладі кожні 6 годин). По завершенню всіх налаштувань – Execute Display.



**Рис. 4 – Налаштування для графічного виведення результатів розрахунків HYSPLIT**

На рис. 5 представлений приклад прямих (а) та зворотніх (б) траєкторій за 10 березня 2014 року. Перевагою даного методу є візуалізація переміщення окремої повітряної частки в просторі не лише по горизонталі, а й по вертикалі.

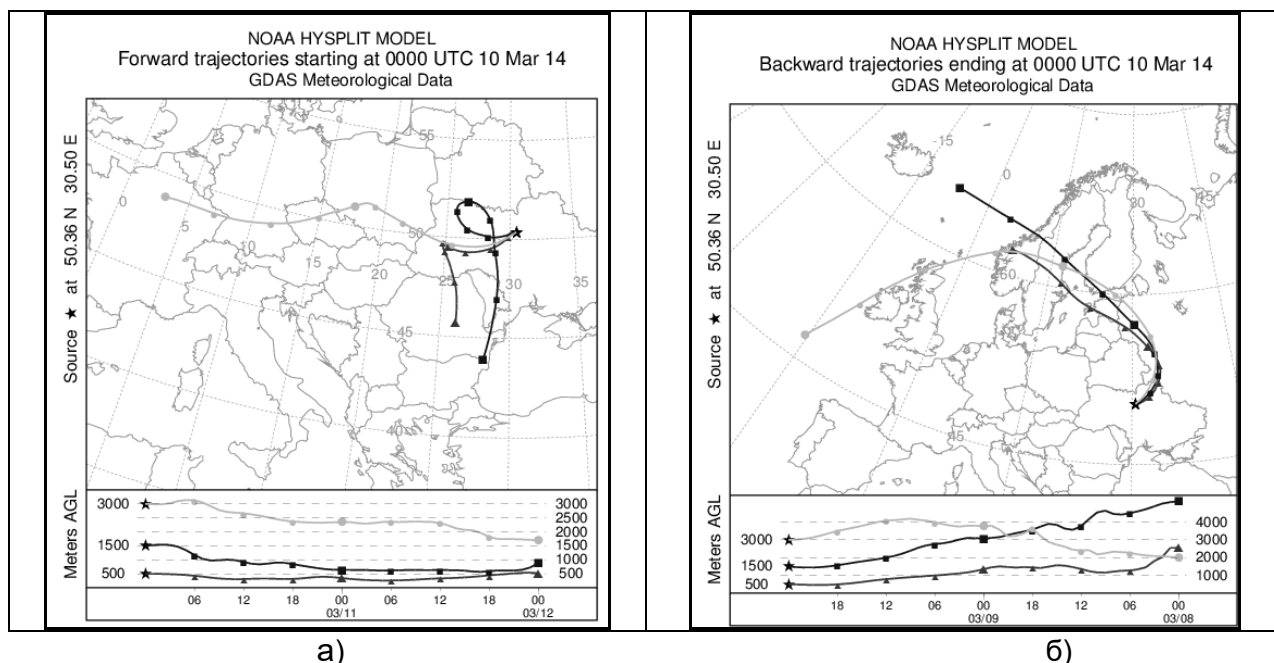


Рис. 5 – Прямі (а) та зворотні (б) траєкторії для міста Києва 10 березня 2014 року на висотах 500, 1500 та 3000 м.

**Висновки.** Розглянуто основні поняття та методи розрахунку траєкторій з використанням лагранжевої моделі HYSPLIT. Дана модель поєднує в собі найбільш поширені в математичному моделюванні атмосферних процесів моделі – Ейлера та Лагранжа і вважається гібридною. Розрахунки адвекції та дифузії здійснюються в межах методу Лагранжа, а концентрація речовин у повітряному потоці обчислюється у кожній фіксованій точці простору. Перевагою використання цієї моделі, у порівнянні з синоптичними методами, є висока деталізація, можливість аналізу флуктуацій повітряної частки у просторі.

#### Список літератури

1. Bowman, Kenneth P., John C. Lin, Andreas Stohl, Roland Draxler, Paul Konopka, Arlyn Andrews, Dominik Brunner, 2013: Input Data Requirements Lagrangian Trajectory Models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 94, 1051–1058. Computation; 2. Draxler, R.R., 1999: HYSPLIT4 user's guide. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-230, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.; 3. Draxler, R. R., and G. D. Hess, 1998: An overview of the HYSPLITp4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. Aust. Meteor. Mag., 47, 295–308; 4. Draxler, R. R., and G. D. Hess, 1997: Description of the HYSPLIT\_4 modeling system. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-224, 25 pp.; 5. Stohl, A., 1998. Computation, accuracy and applications of trajectories—a review and bibliography. Atmospheric Environment 32, 947–966; 6. Миан З. Предварительный анализ производства и распространения криптона-85 от индийских и пакистанских предприятий по переработке ядерного топлива / З. Миан, А. Х. Найярю. // Science and global security. – 2002. – V. 10. – P. 151-179.

**Галицька Є.І., Сніжко С.І., Данилевський В.О.** Науково-методичні аспекти використання лангранжевої моделі HYSPLIT для побудови траєкторій руху повітряних потоків. Для дослідження та візуалізації переміщення повітряних потоків, а відтак, і забруднюючих домішок, що переносяться разом з ними, доречно використовувати не лише методи синоптичного аналізу, а і математичні моделі, які набули особливої

актуальності за останні десятиліття. В основу таких моделей покладене кінематичне рівняння руху, обґрунтування якого наводиться у даній статті.

Відсутність україномовної літератури спонукала авторів статті у написанні короткого огляду можливостей, що надає одна із моделей побудови траєкторії повітряного потоку - HYSPLIT. Робота присвячена фізичному змісту, особливостям та методиці побудови траєкторій за допомогою одного з найбільш популярних програмних забезпечень - HYSPLIT.

*Ключові слова:* переміщення потоків, траєкторії, підхід Ейлера, підхід Лагранжа, HYSPLIT.

**Galytska E., Snizhko S., Danylevsky V. Scientific and methodological aspects of using Lagrangian Trajectory Model HYSPLIT.** For investigation and visualization air currents' movements and the contaminants that are carried with them, it is appropriate to use synoptic analysis methods together with models that have become very useful during the last decade. The basis of these models is the kinematic equations of motion, the rationale of which is given in this paper.

The lack of Ukrainian literature led the authors in writing a short overview of Lagrangian Trajectory Model HYSPLIT. The work is dedicated to the physical content, features and methods of constructing paths with HYSPLIT.

*Keywords:* flow transport, trajectories, the Euler's approach, Lagrange's approach, HYSPLIT.

**Галицкая Е.И., Снежко С.И., Данилевский В. А. Научно-методические аспекты использования лангранжевой модели HYSPLIT для построения траекторий движения воздушных потоков.** Для исследования и визуализации перемещения воздушных потоков, а следовательно, и загрязняющих примесей, переносимых вместе с ними, уместно использовать не только методы синоптического анализа, а и математические модели, которые приобрели особую актуальность в последние десятилетия. В основе таких моделей – кинематическое уравнение движения, обоснование которого приводится в данной статье.

Отсутствие украиноязычной литературы побудило авторов статьи в написании краткого обзора возможностей, которые предоставляет одна из моделей построения траектории воздушного потока - HYSPLIT. Работа посвящена физическому смыслу, особенностям и методике построения траекторий с помощью одного из самых популярных программных обеспечений – HYSPLIT.

*Ключевые слова:* перемещение потоков, траектории, подход Эйлера, подход Лагранжа, HYSPLIT.

**Надійшла до редколегії 17.03.2014**