

Формування забарвлених опадів над Східною Європою

Олена М. Нажмудінова

Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна

Formation of coloured precipitation over Eastern Europe

H. M. Nashmudinova

Odessa State Environmental University, Odessa, Ukraine

Abstract. In recent decades, the frequency of blocking processes has increased in the Atlantic–European sector, which contributes to the activation of southern and northwest cyclones, which abnormal weather phenomena are associated with. In some cases, natural phenomena of a global nature are recorded on the territory of Ukraine, in particular, coloured precipitation. The purpose of the study is to establish the characteristics of circulation processes during the formation of coloured precipitation in the south of Europe. Despite the anomaly of the phenomenon for the territory of Ukraine, over the last five years this process has been observed several times. One of the determining conditions for this was the existence of a powerful block formed by two anticyclones: from the east – the Siberian maximum, and from the west – the Atlantic anticyclone. The study of the blocking process was carried out according to subjective and objective (the blocking index of Lejenas and Okland) estimates. In March 2016 and 2018 the block determined the location of the southern cyclones over the Balkans, into which dusty streams from Africa were drawn in. In February 2015, this process arose in the northwestern cyclone with the same block. A similar situation was observed in January 2013, but the dust storm reached only Italy, which is a more typical process. The processes were characterized by intensified dust storms over northern Africa: Morocco, Algeria, Libya, and the local winds sirocco carried the dusty and sandy streams to the south of Europe, which significantly worsened the visibility (particularly in Greece), and in Ukraine coloured precipitation was observed (rain, snow, snow pellets). In such situations, dust particles act as condensation nuclei for precipitation and rain (snow) turns red, brown, yellow, when a huge mass of Saharan dust comes into contact with the cyclone storm system, and the sediments pass through the dust plume. A significant factor was also the presence of powerful jet streams at the level of 300–200 hPa, oriented from the north of Africa to the Balkans, the speed of the south–western winds reached 70–80 m/s. Visually, streams of dust are clearly traced by satellite images. In the perspective of the study, it is planned to summarize typical situations of similar cases with the purpose of prognostic indications.

Key words: cyclone, dust storm, jet stream, blocking process.

1. Вступ

З кінця ХХ ст. над територією Європи і України, зокрема, відмічається суттєве зростання кількості небезпечних і стихійних явищ погоди. Сурові посушливі періоди змінюються стихійними зливами, подекуди більше 100 мм за півдобу; відзначається зростання мінливості сильних опадів. В аномально пізні строки навесні відмічаються стихійні снігопади і високий рівень снігового покриву для районів, де його встановлення характерне не кожного року, як наслідок – інтенсивні весняні повені і підтоплення територій. Зросла повторюваність сильних шквалів по території України, що завдають значних збитків; температурний режим також характеризується аномаліями: максимальні температури повітря взимку до 10–15° тепла і вище; потужні хвилі холоду і тепла; добові коливання до 15–20 °С тощо. У праці Осадчого, Бабіченко (Osadchyy, Babichenko, 2012) показано збільшення частоти екстремального стану погоди, при цьому зростання кількості стихійних метеорологічних явищ зумовлене глобальними змінами великомасштабної атмосферної циркуляції. Загалом встановлено посилення впливу Атлантики на погодні

умови Європи, зміщення на схід центрів дії атмосфери, зростання меридіональної складової циркуляції. Нестійкість і різкі зміни погодних умов пов'язані з визначеними синоптичними ситуаціями. Результати досліджень Базалєєвої і Балабух (Bazaleeva, Balabukh, 2016) узагальнюють положення про збільшення повторюваності і тривалості блоків в євроатлантичному секторі протягом року. Наголошується, що блокуючі процеси, які зумовлюють аномальні погодні умови в Україні, спостерігаються в середньому 7 раз на рік, і формуються над європейською частиною континенту. У роботі Заболотської, Підгурської, Шпиталь (Zabolots'ka, Pidgurska, Shpital, 2006) виділено типові синоптичні процеси формування небезпечних опадів, зокрема, наявність блокувального процесу, що гальмує рух циклонів, при якому має місце, як їх стаціонавання, так і аномальне переміщення. Блокування веде до зростання горизонтальних градієнтів тиску і температури, що спричиняє посилення вітру у суміжній з циклоном зоні. У цьому напрямі є актуальним вивчення змін атмосферної циркуляції, які проявляються у перенесенні повітряних мас на значні відстані і зумовлюють аномальні режими погоди, що

можуть призвести до порушень екосистеми.

2. Матеріали та методи

Метою роботи є виявлення особливостей синоптичних процесів при випадінні забарвлених опадів на півдні Європи; узагальнення типових ситуацій аналогічних випадків. Період вивчення характерних ситуацій: 2013–2018 рр. Вихідними даними для дослідження виступили: оперативна синоптична інформація, супутникові знімки хмарності, характеристики пилових потоків за даними Barcelona Dust Forecast Center та National & Kapodistrian University of Athens. Дослідження блокування проведено за суб'єктивними оцінками – аналіз синоптичних карт і об'єктивними – метод дипольної структури блокуючої ситуації. Виконано розрахунок індексу блокування Лейенаса і Окленда $I(\lambda)$, який враховує меридіональний профіль геопотенціалу; методика розрахунку наведена у роботі Іванової, Гришкіна (Ivanova, Grishkin, 1989). Визначення індексів блокування проведено за даними ре-аналізу Національного центру передбачення клімату США NCEP/NCAR поля геопотенціалу на рівні 500 гПа у межах сітки: 20° з.д.– 80° сх.д. і 35 – 80° пн.ш. В якості методів дослідження використано: синоптико-кліматичний аналіз, просторово-часове узагальнення даних, чисельний експеримент.

3. Результати

Поряд з кількісними і просторовими аномаліями у метеорологічних полях на території України, в окремі періоди, внаслідок впливу певного комплексу процесів, відмічаються природні явища глобального характеру, зокрема, випадіння забарвлених опадів. Незважаючи на аномальність процесу безпосередньо для України, з погляду територіального віддалення африканського континенту, в останні роки таке явище відмічалось кілька раз, переважно, взимку та навесні.

Сахарський повітряний шар являє собою шар дрібних аерозолів, таких як пісок, бруд і пил, що походять з дуже жарких і сухих пустель Африки. Іноді їх підхоплюють африканські східні хвилі, при цьому сильне денне нагрівання пустелі утворює в нижній частині тропосфери нестійкий шар, у якому поширюються частки пилу. При існуванні системи низького тиску над Європою, формуються сильні південні (південно-східні, рідше південно-західні) місцеві вітри з Сахари – сирокко, які переносять пилові потоки через Середземне море на північний схід (швидкості вітру можуть сягати $80 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$). Такі штормові вітри розвиваються попереду фронту і можуть зберігатися протягом кількох діб. Частинки пилу виступають як ядра конденсації для опадів. Дощ (сніг) забарвлюється в червоний, коричневий, жовтий або близький кольори, коли величезний стовп сахарського пилу стикається зі штормовою системою циклону. При цьому опади проходять через шлейф пилу, що розташовується нижче рівня хмар.

Процес є більш типовий для Італії, коли південно-східні вітри з північно-африканських пустель виносять значні маси пилу на Середземномор'я у циклонічній системі. Іноді шлейфи пилу спрямовуються до Балкан і покривають Грецію суцільним серпанком, який сильно знижує видимість.

При випадінні забарвлених опадів на півдні і сході України суттєвим фактором, окрім тривалого існування циклонічної циркуляції на півдні Європи і потужної пилової бурі над Сахарою, виступило існування струминної течії (СТ). При цьому потоки були орієнтовані з півночі Африки на схід Середземного моря при західних напрямках і повороті на південно-західні. На ряді станцій Балкан, Туреччини, Кавказу швидкості СТ сягали 70 – $90 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ у всіх досліджуваних випадках.

Найбільш показовий випадок перенесення пилових потоків до акваторії Чорного моря і Кавказу відмічався у третій декаді березня 2018 р. Такому аномальному процесу сприяла

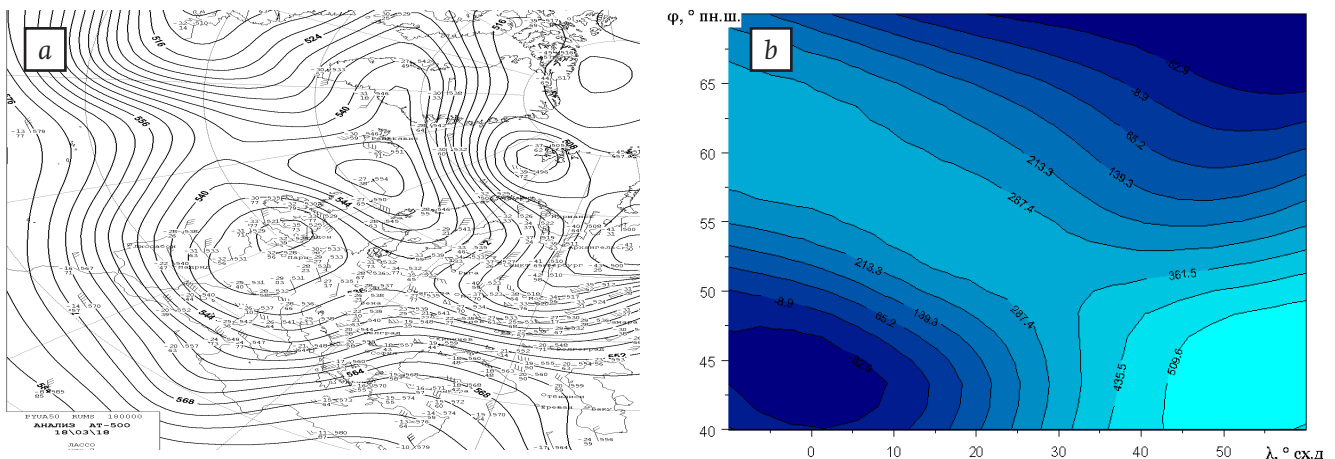


Рис. 1. а – карта АТ-500 18.03.18, 00 UTC; б – поле індексу блокування Лейенаса і Окленда ($I(\lambda) < 0$) 18.03.18.

синоптична ситуація, а саме – південний циклон над Середземним морем, що тривалий час зберігав положення в результаті існування блокуючої системи, утвореної двома антициклонічними системами біля поверхні землі – над Атлантикою і відрогом Сибірського максимуму над східною Європою. Зокрема, з 18 до 23 березня відмічалася дипольна структура поля геопотенціалу H500 при формуванні потужного гребеня з криволінійною віссю над центральною і північною Атлантикою, та сполученої улоговини над європейською територією Росії (ЄТР) і Європою з ультрарополярною віссю – Рис. 1 (а). Виділяються значущі індекси блокування Лейенаса і Окленда ($I(\lambda) < 0$) у зоні, видовженій з південного заходу на північний схід з показниками до -148 в обох замкнених областях 18 березня – Рис. 1 (b). На 23 березня спостерігається інтенсифікація блоку над ЄТР з відмітками до -288 .

Над півднем європейського сектору відмічалися екстремальні погодні умови при

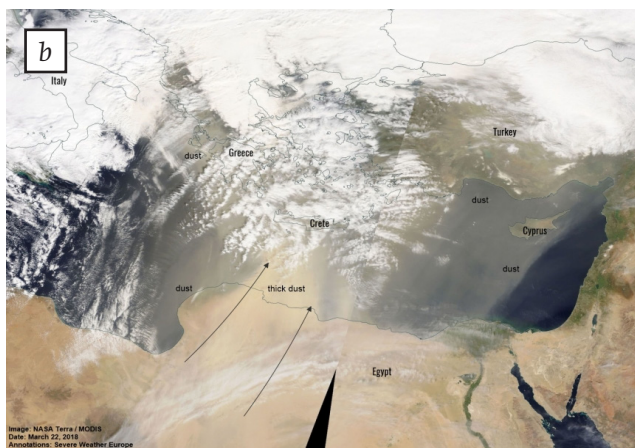
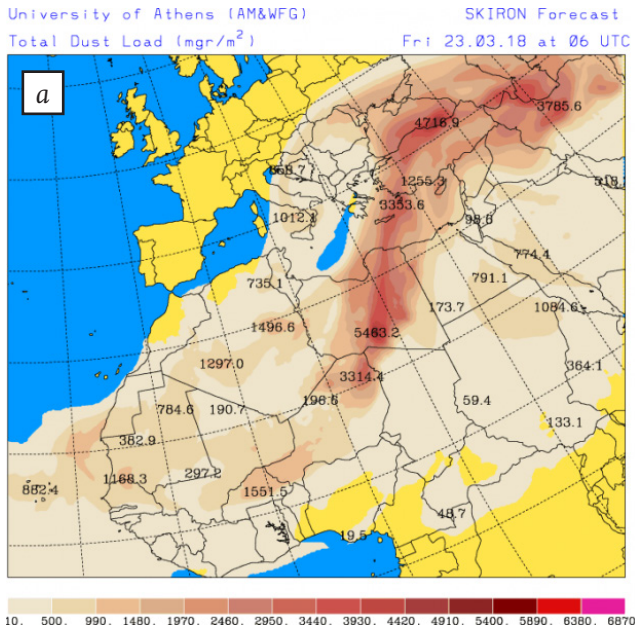


Рис. 2. а – Повна пилова навантага (mg/m^2) прогноз 23.03.18, 06 UTC; б – супутниковий знімок NASA Terra/ MODIS 22.03.18.

збереженні блоку над Атлантикою. В Греції, зокрема, зафіксований безпрецедентно різкий погодний контраст між північчю і півднем країни: потужна пилова буря з Африки охопила о.Крит (температура повітря досягла 30°C 22–23 березня), західну Македонію вкрив сніг, а у Флорині максимальна температура становила лише $0...3^\circ\text{C}$. 20 березня фронтальна полярна система південного циклону перетнула хребет Атласу і підняла пил з мароккансько-алжирської Сахари. У цей період спостерігався один з найпотужніших процесів пилової адвекції з північної Африки до Греції; рівні пилу в атмосфері були надзвичайно високими на півдні країни, особливо на островах Крит і Кікладах. Фактично, африканський пил охопив усю країну (включаючи Афіни), і концентрації були найвищими за останні десять років – Рис. 2 (а). Супутниковий знімок ілюструє напрямок перенесення пилових потоків через Середземномор'я – Рис. 2 (b).

До 21–22 березня сильні південні вітри у передній частині циклону винесли величезну кількість сахарського пилу у центральне та східне Середземномор'я і південно-східну Європу. А на 23 березня пояс густого пилу з Сахари простягався від північно-східної Лівії через о. Крит і південно-східну частину Егейського моря, о. Родос на Туреччину і Чорне море. Забарвлені опади (дощ, сніг, снігова крупа) відмічалися у Болгарії, Румунії, Молдові, Україні і на Кавказі після того, як сахарський пил охопив регіон.

Подібний процес відмічався 2016 року при винятковому збігу календарних дат – 22–24 березня 2016 р. Аналогічно вище проаналізованому випадку, у системі південного циклону сильні вітри перенесли пісок із Сахари до південної і південно-східної Європи. На Рис. 3 ілюструється практична ідентичність конфігурації приземних і висотних баричних полів при існуванні струминної течії над північчю Африки і сходом Середземномор'я, співпадає і положення блоку у приземному полі – атлантичний антициклон і відріг сибірського максимуму, за розрахунками значущі індекси блокування Лейенаса і Окленда ($I(\lambda) < 0$) відмічалися над ЄТР з найбільшою інтенсивністю до -240 .

23 березня 2016 р. пилові бурі охоплювали значну частину Італії, зміщуючись на південний схід континенту, упритул до Польщі. Найбільш несприятливі погодні умови спостерігалися на Сицилії – пісок розносився вітром з поривами до $60\text{--}70 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$. Шлейф пилової бурі простягся на узбережжя Адріатичного та Іонічного морів, охоплюючи південь Іспанії, Греції, Туреччини, Хорватію, Чорногорію. До 24 березня пилові потоки досягли південного сходу Польщі, Румунії, півдня Молдови, України, Білорусі та півдня Росії. При цьому в Румунії, Молдові і на переважній частині України відмічалися опади (на півдні і

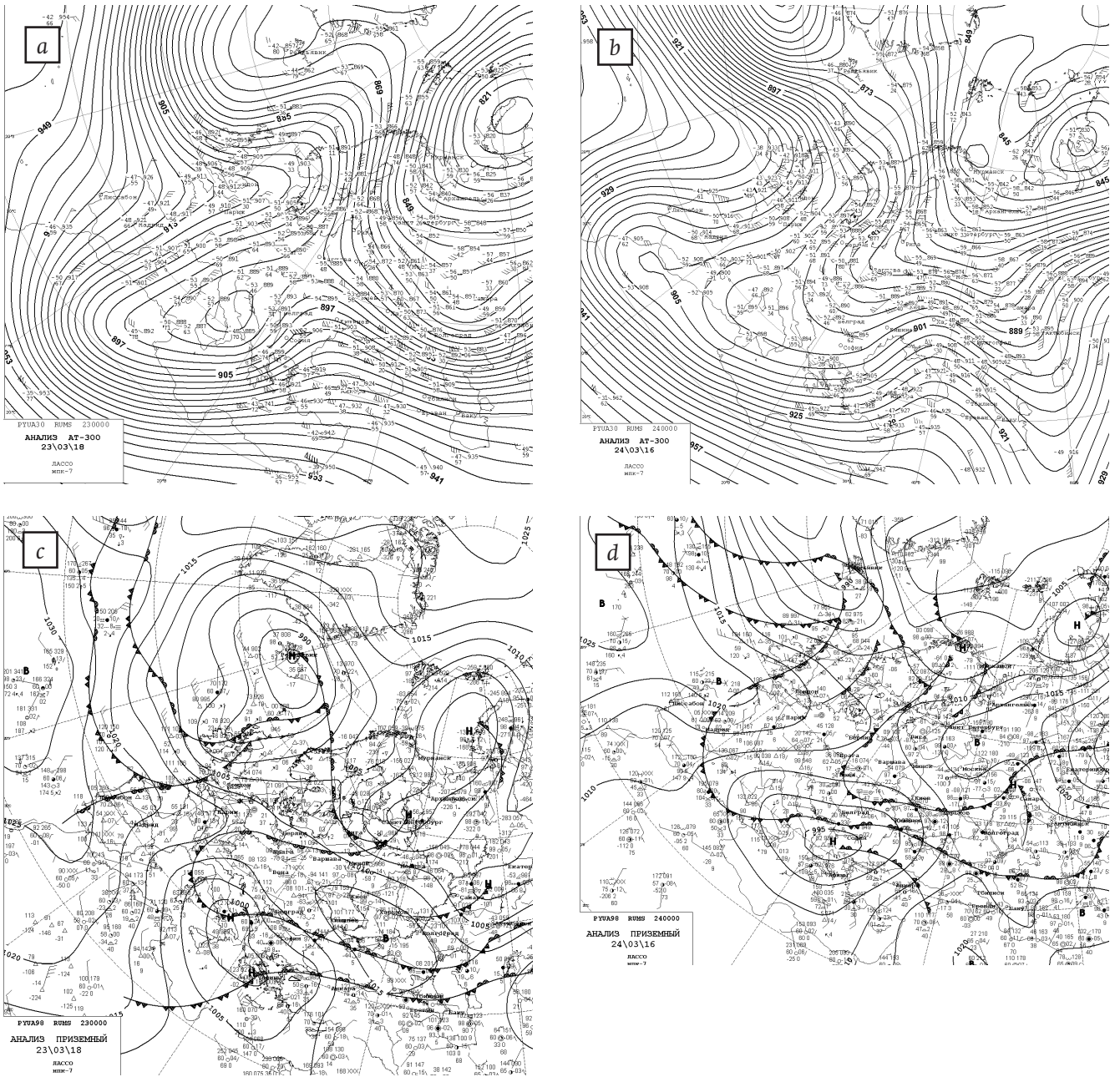


Рис. 3. Карти АТ-300, 00 UTC: а – 23.03.18; б – 24.03.16; приземні карти погоди, 00 UTC: с – 23.03.18; д – 24.03.16.

сході забарвлені) до 20–30 мм (мокрый сніг, дощ) за добу, південні вітри з поривами до 15–20 м·с⁻¹.

За останні роки спостерігалось кілька випадків таких процесів. Встановлено, що не завжди визначальним є існування саме південного циклону. Так, 31 січня 2015 р. у північній Африці відмічалася сильна пилова буря, шлейф пилу у перших числах лютого швидко переміщався на північний схід, до Греції і Туреччини. Процес сформувався в системі масштабного пірнаючого циклону з траєкторією руху від Норвезького моря, що охоплював весь європейський континент. Інтенсивна струминна течія (70–80 м·с⁻¹) західного напрямку над Середземномор'ям і поворотом до південно-західних потоків над Балканами по “підшві” поголі улоговини виносила пил з

Сахари на південь Європи – Рис. 4.

Переміщенню циклону на південь від 29 січня і його стаціонаруванню над Європою сприяли посилені антициклонічні системи, аналогічного до вже розглянутих випадків положення: західний антициклон над Атлантикою (1040 гПа) і сибірський максимум (1055 гПа). Супутникові знімки чітко демонструють густі шлейфи пилу, що втягуються у циклонічні системи – Рис. 5. Зважені частки пилу або піску на цих знімках МШСЗ (метеорологічні штучні супутники Землі) виглядають сірим покривалом на фоні темної водної поверхні і яскраво білого або білого тону хмарності; контури пилових (піщаних) потоків є нечіткими, характерною ознакою зображення є шлейфи пилу світло-сірого тону, орієнтовані за

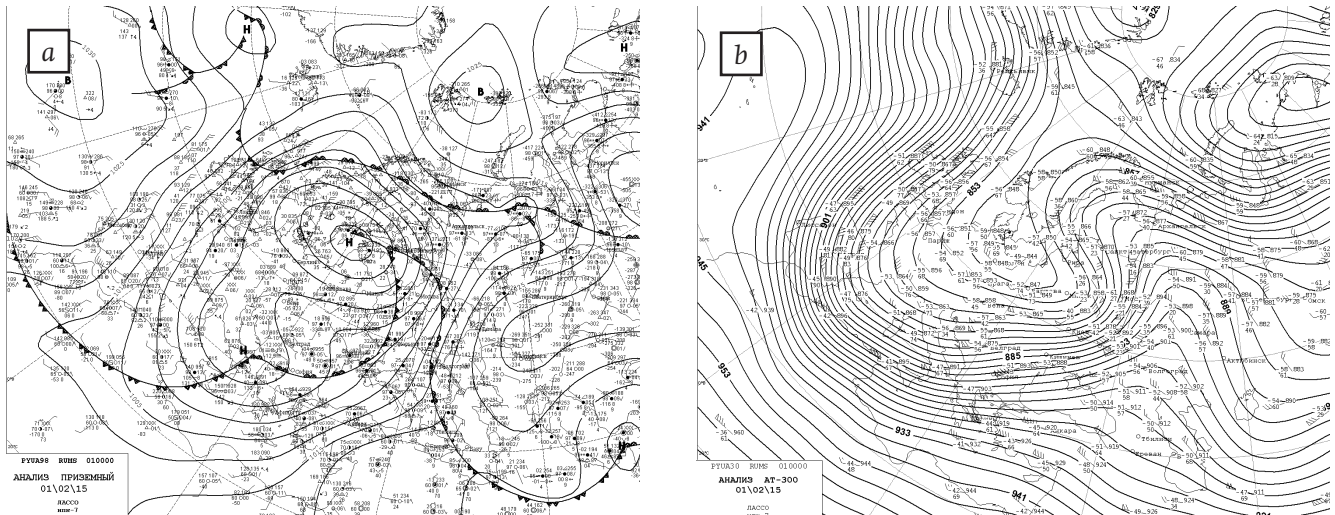


Рис. 4. а – пріземна карта погоди; б – карта АТ-300, 01.02.15, 00 UTC.

напрямок вітру.

У виключних випадках, зважаючи на послаблення циклонічної діяльності у теплий період, процеси винесення сахарського пилу до Чорного моря відмічаються і влітку, в умовах малоградієнтних пріземних полів низького тиску (8 червня 2013 р.).

5. Висновки

Пилі потоки з пустель можуть виноситися на Середземне море при існуванні сприятливого комплексу умов, а саме: потужні пилі бурі на півночі Африки, циклонічна циркуляція над Європою, наявність струминної течії над північчю Африки. Для регіону Середземномор'я подібні ситуації часто повторюються; пилі аерозолі впливають на погоду і клімат у великих масштабах, що підвищує потребу у моделюванні транспортування пилу і його вмісту в атмосфері. В рамках ВМО з 2007 р. функціонує система консультування й оцінки з попередження пилі бур (SDS–WAS). Зони пилу, що переносяться широко й іншими місцевими

вітрами, прогнозуються в Barcelona Dust Forecast Center. Для території України перенесення пиліх потоків на такі значні відстані і, як наслідок, випадіння забарвлених опадів, не має істотного впливу на клімат. Проте, збільшення повторюваності подібних ситуацій в останні роки опосередковано вказує на зміни глобального і регіонального клімату. Антропогенний фактор сприяє зростанню повторюваності пиліх і пиліх бур в Африці; збільшення частоти блокуючих процесів над атлантико–європейським сектором сприяє активізації циклонів на півдні Європи, в системах яких пилі потоки переносяться на схід Середземномор'я.

Список посилань

Bazaleeva, Yu.O., Balabukh, V.O., (2016). Povtoryvanist, trivalist ta Intensivnist blokuvalnih protsesiv, scho zumovlyuyut anomalni pogodni umovi v Ukrayini [Frequency, duration and intensity of the blocking processes, which causes anomal weather conditions in Ukraine]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI – Scientific Proc. UkrSRGMI*, 268, 44–51 (In Ukrainian).

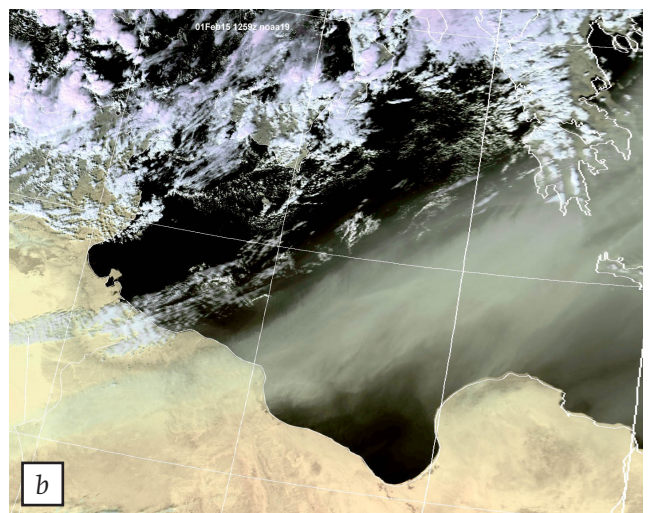
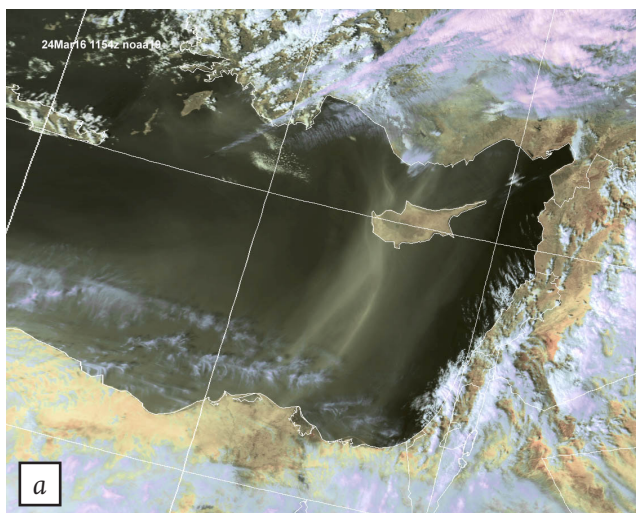


Рис. 5. Супутникові знімки NOAA–19: а – 24.03.16; б – 01.02.15.

- Zabolots'ka, T.M., Pidgurska, V.M., Shpital, T.M. (2006). Nebezpechno silni opadi v Ukraini ta mozhlivi prichini yih utvorennya [Hazardous heavy rainfall in Ukraine and possible causes of their formation]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI – Scientific Proc. UkrSRGMI*, 255, 25–41 (In Ukrainian).
- Osadchyy, V.I., Babichenko, V.M. (2012). Dynamika meteorologichnykh stykhiynykh yavlyshch v Ukraini [Dynamics of adverse meteorological phenomena in Ukraine]. *Ukr. Geo. J.*, 4, 8–14 (In Ukrainian).
- Ivanova, N.A., Grishkina, L.V. (Eds.). (1989). Sinoptiko-klimaticheskaya harakteristika protsessov blokirovaniya v atmosfere [Synoptic and climatic characteristics of the blocking processes in the atmosphere]. *Trudy VNIIGMI MTsD*, 2, 53 s. (In Russian). <https://dust.aemet.es/> (Barcelona Dust Forecast Center) & <http://forecast.uoa.gr/dustindx.php> (National & Kapodistrian University of Athens)

Нажмудінова О. М. **Формування забарвлених опадів над Східною Європою.** Фізична географія та геоморфологія, 2018, 91 (3), 38–43.

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

Досліджуються процеси утворення забарвлених опадів на території України. Перенесенню пилових потоків з африканських пустель на Балкани і Чорне море сприяють блокуючі системи, що визначають стаціонавання циклонів над півднем Європи і струминні течії південно-західних напрямків, спрямовані з півночі Африки на схід Середземного моря. Відмічається підвищення повторюваності аналогічних ситуацій в останні роки, внаслідок змін регіонального і глобального клімату.

Ключові слова: циклон, пилова буря, забарвлені опади, струминна течія, блокуючий процес.