

Технологія оперативного відновлення профілей температури і вологості по даним супутникових вимірювань

Український Гідрометеорологічний Інститут, м. Київ,
e-mail: alex.bobryshev@gmail.com

Анотація. *Стаття посвящена особливостям морфогенеза грибовидных останцов на склонах гор Красная и Пугу-Кая в Крыму. Рассмотрены геолого-геоморфологические условия, в которых формируются данные формы. Дана морфологическая характеристика объектов исследования. Выявлена роль отдельных факторов в образовании бронированных останцов.*

Ключові слова: бортовой отпор, морфогенез, останец, песчаник, селективная денудация, трещина.

Вступ

Дослідження та прогнозування атмосферних процесів, небезпечних та стихійних явищ погоди, моніторинг клімату, оточуючого середовища та їх глобальних і регіональних змін неможливі без даних про стан атмосфери на різних висотах. Без цієї інформації також неможливі розробка та адаптація регіональних чисельних моделей які дозволяють здійснювати прогнозування метеовеличин з різною завчасністю і деталізацією у просторі.

Існуюча мережа температурно-вологісного зондування України, яка налічує 9 пунктів спостережень, дозволяє отримати інформацію про стан атмосфери на висотах. Але цієї інформації недостатньо для моніторингу, дослідження та прогнозування небезпечних і стихійних явищ погоди, особливо конвективних (дуже сильних дощів, сильних злив, граду, шквалу, смерчу, грози), які є локальними, тривають недовго і завдають значних збитків економіці та населенню країни. Відсутність даних про стан атмосфери над акваторією Чорного та Азовського морів та на сході країни створюють труднощі при прогнозуванні умов погоди, пов'язаних з виходом південних циклонів та розвитком блокуючих процесів, які є найбільш небезпечними в Україні. Крім того, протягом останніх 20 років ця мережа постійно скорочувалась (частина станцій законсервовані, інші проводять спостереження один раз на добу або на дві доби, до того ж у різний час), що привело до суттєвого скорочення кількості і точності інформації про стан атмосфери. Розвиток в останнє десятиліття методів дистанційного зондування (ДЗ), пов'язаний з новими можливостями спостережень з штучних супутників Землі (ШСЗ), дозволяє отримувати різноманітну інформацію про параметри атмосфери, їх вертикальний розподіл, стратифікацію атмосфери [4], а впровадження в оперативну роботу Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ) суперкомп'ютера, сучасних ПЕОМ і робочих станцій створило можливість засвоєння великого обсягу цифрової супутникової інформації та розробки технологій їх обробки.

Технологія опрацювання оперативної супутникової інформації по відновленню вертикальних профілів температури та вологості повітря

Технологія опрацювання оперативної супутникової інформації по відновленню вертикальних профілів температури та вологості повітря за даними інфрачервоних та мікрохвильових радіометрів, включає наступні етапи:

- опрацювання супутникових даних програмним забезпеченням AAPP (ATOVS and AVHRR Pre-processing Package), що дозволяє перетворити первинні дані ATOVS/NOAA (вдосконалена апаратура вертикального зондування атмосфери супутника NOAA) з формату level 1c у формат level 1d;
- оцінка ступеня покриття супутниковими даними території України та побудова відповідної карти для візуального оцінювання;
- відновлення вертикальних профілів температури та вологості повітря за програмним забезпеченням IAPP (International ATOVS Processing Package).

На рис. 1 представлена блок-схема процедури відновлення профілів температури та вологості.

Вхідні дані отримуються з вимірів приладу ATOVS, який встановлений на полярно-орбітальних супутниках серії NOAA та європейських супутниках серії MetOp. Наразі він встановлений на п'яти супутниках: NOAA-16-19 MetOp-A та MetOp-B. ATOVS складається з Покращеного Мікрохвильового Зондувального Пристрою (AMSU) та Інфрачервоного Зондувального Високої Роздільної Здатності (HIRS/3). AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) – це мультіканальний мікрохвильовий радіометр, який використовується для вимірювання вертикального розподілу температури та вологості у випадку хмарності. HIRS/3 – це багатоканальний зондувальник, який дозволяє відновлювати профілі температури та вологості для безхмарних пікселів.

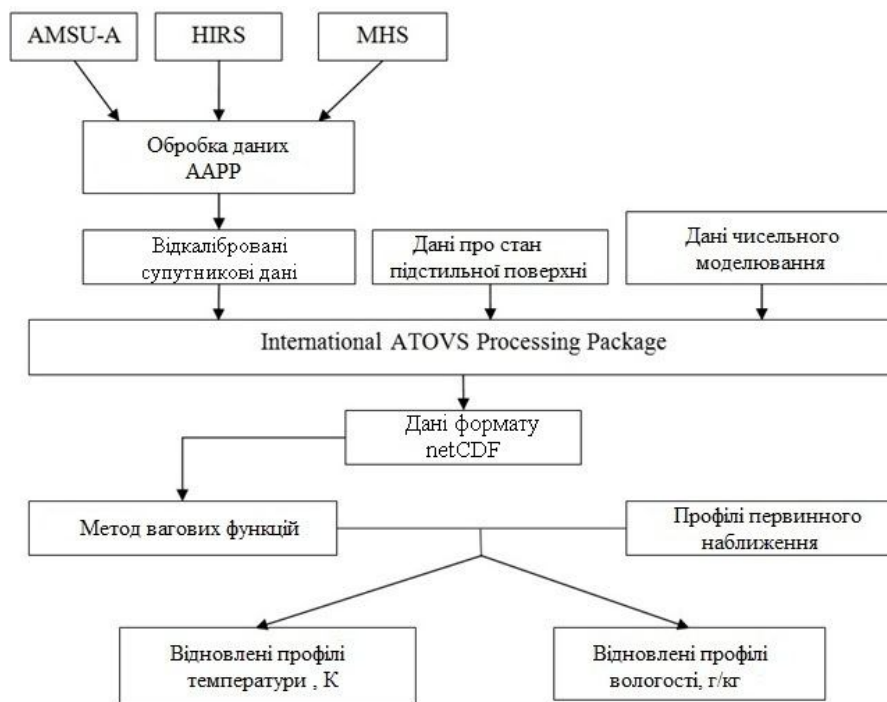


Рис. 1. Блок-схема процедури відновлення профілів температури та вологості

В УкрГМІ декілька років тому був поставлений прийом супутникових даних по системі EumetCast [1], в загальному потоці якої надходять дані з полярно-орбітальних супутників (NOAA та METOP) у стандартних форматах BUFR і level 1c (дані, що мають географічну прив'язку та відкалібровані до рівня фізичних величин). Програмне забезпечення, що відновлює вертикальні профілі температури та вологості повітря потребує як вхідні дані формату level 1d (дані формату level 1c приведені до картографічної проекції та відфільтровані від впливу хмарності). Через відсутність єдиних стандартів формату даних level 1d, їх використання пов'язане з додатковим завданням приведення їх до однакового вигляду. В якості альтернативного варіанту, нами було вирішено використовувати дані формату level 1c, і використовувати однаковий алгоритм перевести дані у формат level 1d.

Для конвертації даних використовується програмне забезпечення AAPP, яке було розроблене спеціалістами європейських метеорологічних організацій (Météo France, UK Met Office, ECMWF) в проєкті NWP SAF для попередньої обробки даних AVHRR та ATOVS, а також конвертації даних між різними рівнями (типами) даних [3]. Конвертація даних здійснюється в три етапи: спочатку розкодовуються BUFR файли, далі розміщуються лінії знімання, і нарешті, виконується власне конвертація.

Наступний етап обробки – це визначення ступені покриття території України супутниковими даними для прийняття рішення про подальшу обробку даних. Внутрішня структура опрацьованих супутникових даних містить географічні координати середини кожного з відзнятих пікселів. Кількісними критеріями для визначення диференціації по ступеню покриття даними запропоновані наступні: сімдесят і більше пікселів дозволяють отримувати репрезентативні карти для більшої частини України. Від тридцяти до семидесяти пікселів дозволяють отримати репрезентативні карти із залученням даних чисельного моделювання. При кількості пікселів менше тридцяти карти будуються майже повністю по даним чисельного моделювання. Відновлення профілів метеовеличин відбувалося тільки для зображень, які відповідають першому або другому критерію. Приклади просторового розташування супутникових даних наведені на рис. 2а та 2б.

Наступним кроком є використання IAPP – програмного засобу, який був розроблений Вісконсинським Університетом, США для відновлення профілів температури і вологості та інших параметрів атмосфери, за ясних та хмарних умов за даними вимірювань ATOVS [2]. Алгоритм роботи IAPP складається з таких кроків:

- виявлення хмарних ділянок та процедури усунення хмарності;
- корекція вимірювань ATOVS;
- регресійний процес відновлення;
- нелінійний ітераційний процес фізичного відновлення.

Профілі температури та водяної пари відновлюються на 42 ізобаричних рівнях. Наприкінці, проводиться контроль якості даних, виокремлюються дані для території України та здійснюється їх архівація. У підсумку формуються сорок два зображення по кожному параметру, які відповідають двовимірному розподілу температури або вологості повітря на кожному вертикальному рівні.

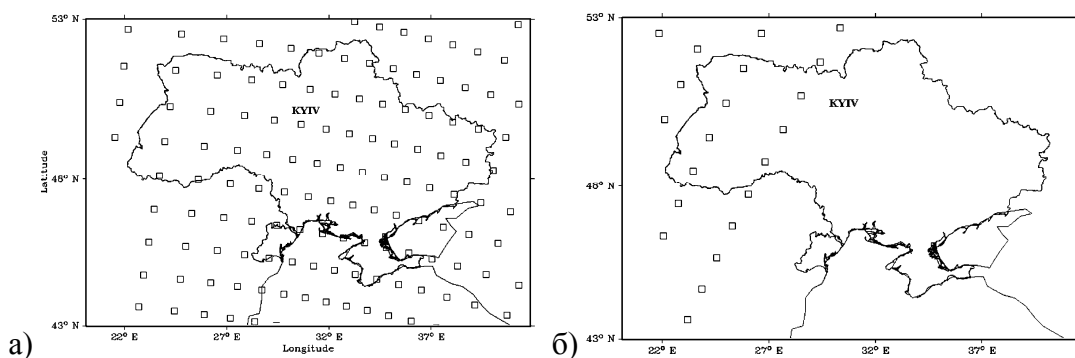


Рис 2. Просторове розташування супутникових даних

Оцінка точності відновлення вертикальних профілів температури та вологості повітря

На основі співставлення даних супутникового зондування, аерологічних вимірювань та даних чисельного моделювання виконана перевірка якості відновлення температури і вологості.

Дані аерологічних вимірювань ми отримували безпосередньо зі станцій та використовували електронний архів університету Вайомінга, США. Даний архів містить повністю відкалібровані дані, які надходять до банку даних ВМО. Радіозондування надає дані прямого вимірювання метеорологічних елементів. Тому в розрахунках ми використовували їх як істинні значення величин метеорологічних елементів. Список станцій радіозондування, дані з яких використовувались для аналізу, наступний: Шепетівка, Київ, Львів, Ужгород, Чернівці, Кривий Ріг, Одеса, Сімферополь та Харків. Згідно з повною програмою радіозондування кожна станція виконує 2 спостереження на день: 00 UTC та 12 UTC. Для оцінки точності отриманих профілів за супутниковими даними ми використовували результати чисельних моделей прогнозу погоди GFS та WRF. GFS (The Global Forecast System [5]) - це глобальна модель прогнозування, яка дозволяє розраховувати характеристики атмосфери з просторовою роздільною здатністю 0.5x0.5 градусів на 64 нерівних шари - найнижчий атмосферний рівень на ізобаричній поверхні 997.3 гПа, найвищий рівень на ізобаричній поверхні 0.27 гПа.. WRF (The Weather Research and Forecasting) - чисельна мезомасштабна модель прогнозу погоди, яка була адаптована для території України спеціалістами Українського Гідрометеорологічного Інституту. Роздільна здатність моделі: по-горизонталі - 230x180 точок, з кроком приблизно рівним 15 км; по-вертикалі модель має 25 шарів з сталою висотою. Розраховані модельні дані доступні за наступною адресою [6].

Для проведення порівняння були відібрані профілів температури та вологості повітря та відповідні супутникові дані, які відповідають наступним умовам:

- різниця у часі проведення супутникових і аерологічних спостережень не більше двох годин;
- для суміщення даних виконувалася просторова інтерполяція;
- в аналізі не брали участі дані вимірювань, зроблені під час активних адвективних процесів.

Для профілів температури усі випадки були поділені на дві групи: безхмарні умови та хмарна погода. В розрахунках було використано 1260 профілів. Результати порівняння представлені у Таблицях 1-3.

Таблиця 1.

Середня різниця між супутниковими та модельними значеннями температури та даними радіозондування за безхмарних умов, °C

Pressure, hPa	850	700	500	400	300	250	200	150	100	50	Total
Satellite	2.01	1.45	1.73	1.64	1.95	2.22	2.03	1.96	2.02	1.42	18.44
WRF	1.27	0.96	1.38	1.31	1.81	1.37	1.59	1.61	1.30	1.85	14.45
GFS	2.39	1.93	3.13	3.51	3.92	3.34	3.13	2.62	2.31	2.64	28.93

Таблиця 2.

Середня різниця між супутниковими та модельними значеннями температури та даними радіозондування за хмарних умов, °C

Pressure, hPa	850	700	500	400	300	250	200	150	100	50	Total
Satellite	1.90	1.67	2.36	1.70	2.54	2.80	2.42	3.19	3.30	2.16	25.76
WRF	0.88	0.85	1.42	1.25	2.30	1.58	1.49	2.80	2.58	2.22	17.88
GFS	2.07	2.30	3.64	3.95	4.42	3.60	2.31	2.09	2.27	2.79	31.97

Таблиця 3.

Середня різниця між супутниковими та модельними значеннями водяної пари та даними радіозондування, %

Pressure, hPa	1000	850	700	500	400	Total
Satellite	14.15	22.68	28.68	43.04	37.41	145.95
WRF	7.10	15.62	21.05	29.70	29.23	102.69

Аналіз даних показав, що найнижча кореляція для температурного поля відповідає приземному шару атмосфери, де зазначається завищення в середньому на 2.3°K відновлених по супутниковому зондуванню даних щодо аерологічних спостережень і максимальне середньоквадратичне відхилення RMSE (2.6°K). До причин, що викликають таку велику похибку відновлення температури в літній період невизначеність властивостей підстилаючої поверхні на рівні землі, не врахування похибки випромінювання земної поверхні. Розраховані за супутниковими даними температури найкраще узгоджуються з даними радіозондування в середній та верхній атмосфері (150-50 гПа). Температури за регіональною моделлю WRF найкраще узгоджуються в нижній атмосфері (850-400 гПа). Температури за глобальною моделлю GFS найкраще узгоджуються в нижній та верхній атмосфері (850-700 та 150-50 гПа). Наявність хмар погіршує результати відновлення всіх вищеперерахованих методів. За абсолютними показниками найкраща точність розрахунків у регіональній моделі WRF, середнє відхилення значень температур – $1,45^{\circ}\text{C}$. Розрахунки за супутниковими даними мають середнє відхилення – $1,84^{\circ}\text{C}$. Найгіршу точність мають розрахунки глобальної моделі GFS – середнє відхилення температур $2,89^{\circ}\text{C}$. Отримані результати в цілому підтверджуються валідацією алгоритмів відновлення за допомогою апаратури ATOVS, проведеної в 1998р [3].

Висновки

Розроблена технологія опрацювання оперативної супутникової інформації по відновленню вертикальних профілів температури та вологості повітря за даними інфрачервоних та мікрохвильових радіометрів. Основою програмних засобів по відновленню профілів температури та вологості атмосфери по даним TOVS/ATOVS є пакет програм IAPP (International ATOVS Processing Package), який адаптовано для опрацювання даних, що отримуються з супутників NOAA і METOP.

На основі проведеного аналізу, зроблено такі узагальнені висновки про точність відновлення параметрів вертикального зондування атмосфери за даними ATOVS:

- точність відновлення температури змінюється від 1.3°K до 2.1°K на поверхнях від 850 до 300 гПа. Вище 200 гПа точність відновлення зростає до 1.3°K , на висоті 200 гПа точність падає до 3.1° і в приземному шарі на рівні 1000 гПа - до 2.6°K ;

- точність відновлення питомої вологості змінюється від 0.2 г/кг на поверхні 900 гПа і змінюється до 0.3 г/кг на рівні 500 гПа. У відсотковому відношенні похибка відновлення питомої вологості складає 10-20%.

В результаті проведеного аналізу було показано, що відбувається погіршення точності відновлення вертикальних профілів температури і вологості при збільшенні бала хмарності.

Література

1. Кривобок А. А. Новые возможности приема цифровой спутниковой информации через систему EUMETCast. Український гідрометеорологічний журнал / А. А. Кривобок. – Одеса: Вид. "Екологія", 2008. – стор. 25-32.
2. International ATOVS Processing Package: The algorithm development and its application in real data processing, Technical Proceedings of the Tenth International TOVS Study / [Li, J., W. Wolf, W. P. Menzel, W. Zhnag, H.-L. Huang, T. H. Achtor, and H. M. Woolf] – Conference, Boulder, Colorado, USA, 1999;
3. AAPP documentation scientific description, NWP SAF documentation / [Labrot, T., L. Lavanant, K. Whyte, N. Atkinson, and P. Brunel] – 2011;
4. Kaplan L.D. Inference of atmospheric structures from satellite remote radiation measurements / L.D. Kaplan. – J. Opt. Soc. Amer., 1959. – 1004–1007;
5. NCEP Products Inventory. Global Products. Global Forecast System (GFS) Model. – [Electronic resource] – Available at : <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/#GFS>;
6. Weather Research & Forecasting Model. WRF-ARW v.3.3.1. – [Electronic resource] – Available at : <http://accuweather.org.ua/>

Abstract. O. J. Bobryshev, O. A. Kryvobok **Technology of operational retrieval profiles temperature and water vapour based on satellite data.** Based on AAPP and IAPP software was developed technology of operational retrieval profiles temperature and water vapour. Validation of results showed that accuracy of retrieval changes with the altitude. Temperature retrieval accuracy – from 1.3°K to 2.1°K , for the water vapour – 0,2-0,5 g/kg. Presence of clouds has caused the decrease accuracy of retrieval for 10-20%

Keywords: Vertical profiles of temperature and water vapour, IAPP, AAPP, TOVS/ATOVS

Аннотация. А. Ю. Бобрышев, А. А. Кривобок **Технология оперативного восстановления профилей температуры и влажности по данным спутниковых измерений.** На основе программного обеспечения AAPP и IAPP разработана технология оперативного восстановления профилей температуры и влажности. Валидация результатов показала что ошибка восстановления изменяется по высоте и для температуры составляет от 1.3°K до 2.1°K , для влажности - 0,2-0,5 г/кг. Наличие облачности ухудшает точность восстановления на 10-20%.

Ключевые слова: Вертикальные профили температуры и влажности, IAPP, AAPP, ATOVS

Поступила в редакцию 27.01.2014 г.