

УДК 550.3+551.521:528.85/.87(15)

Бобришев О.Ю., Кривобок О.А., Попіль І.В.

**ВІДНОВЛЕННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОЇ РАДІАЦІЇ НА ЗЕМНІЙ ПОВЕРХНІ
ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МОДЕЛІ
ПЕРЕНОСУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В АТМОСФЕРІ**

Для розрахунку ультрафіолетової радіації на рівні земної поверхні пропонується використовувати моделі переносу сонячного випромінювання в атмосфері з урахуванням її реального стану, що отримано за даними супутникових вимірювань, які дають можливість повністю покрити необхідну територію. Для отримання інформації про стан хмарності (оптичну товщину) пропонується використовувати дані з супутника MSG (кожні 15 хвилин) з просторовим розрізненням 10 км над територією України. Розрахунок загального вмісту озону здійснюється за даними супутника METOP на 12:00 UTC кожного дня з просторовим розрізненням 10 км, а потім будуть будуватися карти приземного розподілу кількості УФ радіації.

Ключеві слова: ультрафіолетова радіація, сонячне випромінювання, супутникові вимірювання.

Для расчета УФ радиации на уровне земной поверхности предлагается использовать модель переноса излучения в атмосфере с учетом её реального состояния, которое может быть получено по спутниковым данным, покрывающим необходимую территорию. Для получения информации о состоянии облачности (оптическая толщина) предлагается использовать данные со спутника MSG (каждые 15 минут) с пространственным разрешением 10 км над территорией Украины. Расчет общего содержания озона происходит по данным со спутника METOP на 12:00 UTC каждый день с пространственным разрешением 10 км, и в заключении будут строиться карты приземного распределения УФ радиации.

Ключевые слова: ультрафиолетовая радиация, солнечное излучение, спутниковые измерения.

It is proposed to use the radiative transfer model and satellite data for calculation of UV radiation level. In order to get cloud cover information (optical thickness) it is proposed to use satellite data from MSG (every 15 minutes) of spatial resolution 10 km over Ukraine. The calculation of total ozone is based on METOP data at 12:00 UTC each day of spatial resolution 10 km. In the end the map of UV spatial distribution will be generated.

Key words: ultraviolet radiation, solar radiation, satellite measurements.

Постановка проблеми дослідження. Стратосферний озон відіграє важливу роль у захисті біосфери від шкідливої ультрафіолетової радіації, яка досягає земної поверхні. Тому зменшення його потужності у стратосфері викликає занепокоєння як у науковців так і в широких верств населення. Наразі надзвичайно важливою є проблема впливу цього вкрай небезпечного процесу на потенційне збільшення ультрафіолетової (УФ) радіації, яке все більше турбує багатьох дослідників не тільки через прямий вплив на людське здоров'я, а й за рахунок негативних наслідків опосередкованого впливу як на сільськогосподарські культури й ліси, так і на всю земну біосистему. Саме згубна дія УФ радіації є причиною зниження фотосинтетичної активності рослин, зменшення врожайів сільськогосподарських культур та зниження якості їхніх сортів, а також являється однією із причин втрати живими організмами стійкості до захворювань та виникнення змін у їхній структурі.

Виклад основного матеріалу. Частина спектру потенційно шкідливого сонячного ультрафіолетового випромінювання знаходиться в діапазоні довжин хвиль між 200 і 400 нм, який зазвичай поділяється на три компоненти зі зростаючою енергією, а саме на:

- (УФ-А) ультрафіолетовий-А: 320-400 нм,
- (УФ-В) ультрафіолетовий-В: 280-320 нм,
- (УФ-С) ультрафіолетовий-С: 200-280 нм.

Причому, чим коротшою є довжина хвиль УФ випромінювання, тим згубнішою є їхня дія. Тому найнебезпечнішим із даних діапазонів є УФ-С, але цю небезпеку можна вважати потенційною, оскільки довжини хвиль з розмірами 200-280 нм майже повністю поглинаються озоном в стратосфері, внаслідок чого значно зменшуються при надходженні до земної поверхні. Найбільшу небезпеку для живих організмів становлять УФ-В та УФ-А діапазони радіаційного випромінювання, частка яких в загальній УФ радіації, що надходить на земну поверхню, становить

відповідно 6 % та 94 %. Причому якісний вплив УФ-В радіації на живі організми значно серйозніший, хоча й в кількісному відношенні його частка є значно меншою ніж УФ-А радіації. І все це через те, що саме в діапазоні з довжинами хвиль 280-320 нм частина УФ випромінювання, яка досягає рівня земної поверхні досить серйозно впливає на здоров'я людини (наприклад, може викликати еритему або ж навіть спровокувати відповідну форму раку шкіри), а також в значній мірі шкодить ДНК флори та фауни. Вплив УФ-А випромінювання, яке слабо поглинається озоном, при цьому також залишається достатньо вагомим, оскільки весь діапазон, пов'язаний з ризиком утворення еритеми коливається в межах 280 - 400 нм, а шкідливий діапазон для деформації структури ДНК – в межах довжин хвиль УФ випромінювання 256 - 370 нм.

Через такі серйозні наслідки впливу ультрафіолетової радіації на людей і для уникнення небезпечних потенційних ризиків для їхнього здоров'я необхідно забезпечити можливість постійного доступу населення до повного обсягу інформації про розподіл над відповідною територією ультрафіолетової радіації, яка надходить до земної поверхні. Для цього використовуються карти просторового розподілу УФ радіації. Повністю отримати таку інформацію із мережі станцій наземного спостереження неможливо, так як вони дають результати вимірювань про надходження сонячної радіації лише для невеликої частини території. Тому, як правило, використовують підхід, який дозволяє розрахувати значення УФ радіації на рівні земної поверхні за допомогою моделі переносу сонячного випромінювання в атмосфері з урахуванням її реального стану на основі використання даних супутникових вимірювань, які дають можливість повністю покрити необхідну територію. Основна мета даної роботи – показати можливість використання даного підходу для створення системи моніторингу УФ радіації над територією України в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (УкрНДГМІ).

Модель переносу сонячного випромінювання в атмосфері. Для моделювання переносу сонячного випромінювання в атмосфері використовувалися первинні коди програми SBDART, що були розроблені в Університеті Каліфорнії [1]. SBDART (Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer) є однією із ряду спектральних моделей багатократного розсіювання і являє собою комп'ютерний код, складений на мові програмування FORTRAN, який призначений для аналізу широкого кола проблем дослідження радіаційного перенесення, що зустрічаються при дистанційному супутниковому зондуванні. Фактично, SBDART є практичним інструментом для дослідження цих проблем у плоскопаралельній земній атмосфері. Даний програмний засіб створений на основі фізичних моделей, які були розроблені протягом декількох останніх десятиліть. До них відносяться стандартні моделі атмосфери, моделі хмарності, моделі сонячного спектру, моделі відбиваної здатності земної поверхні, стандартні моделі аерозолію та моделі для розв'язання рівняння радіаційного переносу в атмосфері. У кожній з цих моделей

окремо враховані найвагомші чинники впливу на розподіл ультрафіолетової радіації в межах земної атмосфери. Наприклад, в стандартних моделях атмосфери взято до уваги відповідні для досліджуваних територій типи кліматичних умов (тропічні, літні та зимові середньоширотні й субарктичні кліматичні умови), які дозволяють отримувати стандартні вертикальні профілі для розподілу тиску, температури, водяної пари і щільності озону. В моделі хмарності включено модулі для визначення загальної кількості хмар, їхньої оптичної товщини і розмірів кристалів й крапель, з яких, власне, й утворені хмари. Моделі відбивної здатності дають змогу розраховувати надходження до землі сонячної радіації в залежності від типу підстильної поверхні, так як в них включено 6 її основних типів (солоня океанічна вода, прісна вода річок та озер, сніг, пісок і рослинний покрив), які до того ж можна об'єднувати між собою для отримання комбінованих середніх типів підстильної поверхні. Аналогічно, стандартні моделі аерозолів дозволяють визначити альbedo, ефективність і ступінь інтенсивності однократного розсіювання сонячної радіації, враховуючи при цьому відповідний для певної території тип аерозолу (сільські, міські або ж аерозолі морських акваторій).

Кількість сонячної ультрафіолетової радіації, яка надходить до верхньої межі атмосфери є майже однаковою для всієї Землі. Але проходячи крізь атмосферу її кількісне значення суттєво зменшується. Ступінь цього зменшення та рівень УФ радіації біля земної поверхні безпосередньо залежить від декількох важливих чинників, а саме: від наявності чи відсутності в атмосфері хмарних покривів різного фазового складу, аерозольних шарів, товщини озонового шару над відповідною територією, висоти шару атмосфери та відбивних властивостей поверхневого покриву. Також розподіл ультрафіолетового випромінювання біля земної поверхні ще й напряму залежить і від висоти Сонця над горизонтом (від зміни його зенітних кутів протягом певного часу на відповідній території). Чим вище знаходиться Сонце, тим вищий рівень УФ радіації. Тому, відповідно розподіл УФ випромінювання біля земної поверхні додатково залежить і від широти місцевості (чим ближче до екваторіальних регіонів, тим вищі рівні УФ радіації). В середньому кількість УФ радіації збільшується на 3% на кожний 1° широти.

Щодо залежності сонячного ультрафіолетового випромінювання від хмарності, то його кількість найбільша при безхмарному небі, однак і при наявності хмарного покриву його рівні також можуть бути достатньо високими. Так, малопотужні хмари пропускають до 90% УФ променів, а при суцільній хмарності кількість УФ радіації може зменшуватися на 50-60%. Озоновий шар інтенсивно поглинає значну частину УФ радіації, яка могла б досягти земної поверхні, виступаючи при цьому своєрідним захисним екраном для біосфери. При сезонному та добовому коливанні щільності озону в атмосфері, кількість УФ радіації може змінюватися в інтервалі до 8%. Також кількісне значення УФ випромінювання залежить і від абсолютної висоти. На вищих висотах тонший шар атмосфери поглинає

менше УФ радіації. На кожний 1км висоти її кількість збільшується в середньому на 5% [2]. А в залежності від альbedo поверхневого покриву ультрафіолетове випромінювання по-різному поглинається або розсіюється різними типами підстильних поверхонь. Так свіжий сніговий покрив відбиває до 90% УФ радіації, що призводить до її збільшення у приземних шарах атмосфери на 30%, тоді як ґрунтовий покрив більшу її частину поглинає.

Для того щоб розрахувати кількість УФ радіації поблизу земної поверхні за допомогою SBDART необхідно задати ці фізичні характеристики атмосфери. В даному програмному коді деякі необхідні параметри уже включені у файл із вхідними даними – INPUT. Але їхні стандартні значення не підходять для отримання істинних результатів розподілу приземного УФ випромінювання над територією України. Тому, для того, щоб підлаштувати програму під нашу територію, ми змінили деякі стандартні значення вхідних параметрів у файлі INPUT шляхом експериментального підбору і врахували при цьому характерні для території України стійкі координатні показники, значення сонячних зенітних кутів, альbedo різних ділянок поверхневого покриву і мінливі показники розподілу над її територією загального вмісту озону, а також загальної кількості й оптичної товщини хмар.

Зважаючи на те, що ми плануємо розраховувати значення УФ радіації для конкретних вузлових точок над територією України і для кожного дня, то відповідно, й було обрано необхідні для цього параметри. По-перше, усі значення розраховуються для вказаної широти і довготи відповідної місцевості. Причому, для кожної точки географічні координати задаються окремо. Аналогічним способом задається альbedo підстильної поверхні для різних ділянок території з додатковим врахуванням сезону року. По-друге, у зв'язку з тим, що кожного дня змінюються астрономічні параметри (відстань від Землі до Сонця, кути падіння сонячних променів), від яких залежить значення УФ радіації, то ці параметри також враховано окремо для відповідного місця й дня, так як і кількісні значення загального вмісту озону та хмар. Програма SBDART дозволяє розраховувати значення УФ радіації починаючи з величини довжин хвиль 250 нм, яку прийнято нижньою межею для розрахунку значень УФ радіації. Як відомо, УФ діапазон хвиль починається з 200 нм. Але враховуючи дуже малу енергію хвиль в діапазоні від 200 нм до 250 нм, дане спрощення вносить незначну похибку в розрахунки, меншу 1%. Причому, упущена частина спектру відноситься до УФ-С діапазону хвиль ультрафіолетового випромінювання, який майже повністю поглинається стратосферним озоном, тому несуттєво впливає на приземний розподіл УФ радіації. В якості верхньої межі для розрахунків ми прийняли значення довжин хвиль УФ випромінювання 0,39 нм, що відповідає поділу спектру сонячної радіації на відповідні довжини хвиль ультрафіолетового випромінювання.

В УкрНДГМІ вперше в Україні у 2006 р. було встановлено обладнання та програмне забезпечення для отримання супутникової

інформації через систему Eumetcast, що дозволяє отримувати цифрові дані з супутника MSG, про стан хмарності кожні 15 хвилин [3]. Це значно поліпшує процес розрахунку приземних потоків УФ радіації. Додатково були розроблені алгоритми по отриманню інформації про загальний вміст озону за даними з полярно-орбітального супутника METOP [4]. Саме завдяки такому постійному періодичному надходженню та автоматичній обробці супутникової інформації ми використали вищезгадані дані в SBDART для розрахунку значень УФ радіації біля земної поверхні. Причому, виконана нами перевірка правильності роботи програмного забезпечення показала, що отримані дані про кількість УФ радіації на нижній границі атмосфери співпадають із практично вимірними значеннями [5].

Висновки. Застосування моделі радіаційного переносу в атмосфері із використанням даних супутникових спостережень про загальний вміст озону в атмосфері та оптичну товщину хмар є достатньо ефективним засобом моніторингу УФ радіації, що досягає земної поверхні та оцінки її кількісного просторового розподілу над певною територією, зокрема, над територією України. В цій роботі було запропоновано в якості вхідних даних у SBDART використовувати дані про стан хмарності (оптичну товщину) з супутника MSG, який дозволяє отримувати інформацію кожні 15 хвилин з просторовим розрізненням 10 км над територією України. Розрахунок загального вмісту озону здійснюється за даними з супутника METOP на 12:00 UTC із просторовим розрізненням 10 км. Потім будуть будуватися карти приземного розподілу кількості УФ радіації. Запровадження в практику української гідрометеорологічної служби цього підходу має важливе значення для збереження здоров'я населення нашої країни, оскільки при виявленні небезпечних доз УФ радіації, інформація про її розподіл біля земної поверхні буде доступна широкому загалу.

1. Ricchiazzi, Paul.; et. al. *SBDART: A research and teaching software tool for plane parallel radiative transfer in the earth's atmosphere*, 1998;
2. Allaart, Marc, *An empirical model to predict the UV-index based on solar zenith angles and total ozone – KNMI*, 2004;
3. Кривобок А. *Новые возможности приема цифровой спутниковой информации через систему EUMETCast*. Український гідрометеорологічний журнал – Одеса: Вид. "Екологія", 2008. №3. стор. 25-32;
4. Kryvobok O., Komisar E. *The system of total ozone monitoring over Ukraine based on NTO/O3(GOME2) O3M-SAF data (Submitted to Proceedings of 2012 Eumetsat Conference, 3-7 September 2012, Sopot, Poland) ;*
5. Trishchenko, Alexander, *Solar Irradiance and Effective Brightness Temperature for SWIR Channels of AVHRR/NOAA and GOES Imagers – 2005.*