

ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА СПЪТНИКОВИТЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ПЪЛНИТЕ СЛЪНЧЕВИ ЗАТЪМНЕНИЯ НА ПОВЪРХНОСТТА НА ЗЕМЯТА

Десислава Тенева

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: amanev@abv.bg

Ключови думи: слънчево затъмнение, спътник, температура, сянка

Резюме: В предлаганата разработка се анализират различни видове спътникови данни, чрез които адекватно могат да се опишат параметрите на лунната сянка на повърхността на Земята по време на пълни слънчеви затъмнения. Дискутират се различни видове спътникови системи. Предлагат се алтернативни методи за изследване на метеорологичните и океанографски характеристики на средата около и в лунната сянка.

THE CAPABILITY OF SATELLITE OBSERVATIONS OF TOTAL SOLAR ECLIPSES ON THE EARTH'S SURFACE

Desislava Teneva

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dessi_bg@yahoo.com

Keywords: solar eclipse, satellite, temperature, shadow

Abstract: In the proposed development, various types of satellite data are analyzed, through which the parameters of the lunar shadow on the Earth's surface during total solar eclipse can be adequately described. Different types of satellite systems are discussed. Alternative methods are proposed to study the meteorological and oceanographic characteristics of the environment around and in the lunar shadow.

Изследването на ефектите, които предизвиква сянката на Луната на повърхността на Земята, по време на пълните слънчеви затъмнения, е област в науката, която все още не е изцяло завършена. Обикновено се изследват метеорологичните параметри в района на пълната сянка и се градят модели на измененията в атмосферата. При този тип изследвания са налице редица затруднения, които правят изследванията нерегулярни, фрагментални и до голяма степен негодни за построяването на стройна теория за ефектите на слънчевите затъмнения върху процесите в атмосферата на Земята. Поради това се налага да се направи опит да се използват дистанционни данни от спътникови системи, за предизвиканите от затъмнението промени, в областта на конуса на пълната сянка на Земята.

Използването на спътниковите данни се определя от характеристиките на явлението, което ще се изследва. В случая на слънчевите затъмнения трябва да се подберат такива спътникови данни, които да позволят да се реализира адекватна статистическа обработка и съответно адекватни физически модели. Характеристиките на Лунната сянка са приблизително следните: размер от порядъка на 270 km и скорост на придвижване по повърхността от порядъка на от 2000 km в час около екватора до към 8000 km в час около полюсите. Осезаемата следа, която остава сянката на повърхността на Земята е с дължина от порядъка на 10 до 12 хиляди километра.

Наблюденията на пълно слънчево затъмнение от една точка могат да имат продължителност във времето до не повече от 7.5 минути. Обикновено времето за наземно наблюдение на слънчевите затъмнения е около 4–4.5 минути. За това време е възможно метеорологичните условия да се изменят и това се регистрира от наблюдателите. Спътниковите наблюдения, от своя страна се характеризират с „мигновено заснемане“ на наблюдаваната ситуация и трудно позволяват да се строят дълговременни модели. Те дават

възможност да се изследват детайли на плавното изменение на измерваните параметри, в определени моменти, в много големи части от пространството. Създава се възможност за използването и тематичният анализ на изображения, получени от инструментални комплекси от различни честотни обхвати, инсталирани на космически платформи. За тази цел те са оборудвани с устройства за дистанционно наблюдение (радары, скатерометри, радиометри и оптично оборудване) и са поставени на орбити, специално предназначени за получаване на гъвкава геофизична информация, необходима за оценка на състоянието на околната среда и за проучвания на природните процеси на и над земната повърхност. Чрез спътниковите измервания могат да се решават научни задачи в областта на океанологията и метеорологията. Слънчевите затъмнения, със своето краткотрайно въздействие върху енергетиката на водната повърхност, са единственият инструмент за изследване на мигновенната реакция на водните повърхности в много големи площи, както и за регистрирането на метеорологични промени над петното на сянката на Луната.

Лунната сянка по Земята повърхност, при слънчеви затъмнения, предизвиква следните основни промени на околната среда, в която се движи сянката: температурата на приземния въздух, температурата на земната повърхност, ветровете полета над и около сянката, евентуални вариации на нивото на океанските води. Чрез дистанционните слънчеви методи могат да се измерват: температурата на земната повърхност, характера на ветровете около сянката, чрез промени в наземната температура и нивото на океаните. Някои от тези параметри се променят слабо по времето когато сянката на Луната покрива съответната земна област. Често върху измерванията влияят ландшафта и особености на излъчвателната способност на земните обекти. Най-чисти откъм изброените „смутители“ са големите морски и океански водни повърхности, когато над тях няма облачност. Най-важният параметър е температури на водата на повърхността на водния басейн. Нейната динамика би трябвало да се регистрира най-лесно и точно.

На спътниковите платформи се монтират различни активни и пасивни сензори, работещи във видимите, инфрачервените и микровълновите участъци на електромагнитния спектър. Те се използват за измерване на четирите основни параметъра на океаните и моретата: цвят, температура, височина и набразденост на морската повърхност. Цветните скенери определят спектралните свойства на радиацията, излъчена от водната повърхност и носят информация за различните оптични характеристики на повърхността на океана: прозрачността на водата, концентрация на суспендираното вещество, съдържание и цъфтеж на хлорофил. Инфрачервените и микровълнови сензори се използват за измерване на температурата на океанската/морската повърхност. Активни микровълнови сензори, висотометри (алтиметри), скатметрометри, радары с динамични бленди се използват за определяне на височината на морската повърхност, нивото на океаните и моретата, височината на вълните, скоростта на вятъра. Особеностите на монтираните на спътниците апаратури и задачите, които се решават с тях, изискват специален подбор на разположението и динамиката на спътниковите системи.

Съществуват два вида спътници за дистанционни изследвания на Земята: полярни и геостационарни.

Геостационарните спътници се позиционират на орбити, съгласувани с околоосното въртене на Земята, така че, да се въртят около нея с нейната околоосна скорост. По този начин платформите „висят“ над една определена точка над земната повърхност над земния екватор. Особеното за тези спътници е, че те се позиционират на геостационарни орбити на разстояние около 36 000 km над повърхността и това налага ограничения на разделителната способност на апаратурите, монтирани на тях. Интервалите за получаване на изображения варират от 15 до 30 минути до няколко часа - Meteosat-9, Meteosat-10 и Meteosat-11, съответно (Schmetz J. et al). Изображенията, получавани от тези спътници, предвид голямото им отстояние от Земята, са неподходящи за изследване на кратковременни явления с малки райони на проявление като тъмната следа, създавана от сянката на Луната при пълни слънчеви затъмнения.

Полярните спътници летят на полярни орбити при които спътникът периодично преминава близо над двата полюса на Земята - наклонът на орбитата е почти 90 градуса. В момента най-добрата пространствена разделителна способност на топлинните инфрачервени изображения (30 m) се дава от системата ETM+, монтирана за първи път на спътниците Landsat-7 през 1999 г. Впоследствие, след обработката на регистрираните данни от Landsat-8, Landsat-9, е възможно да се достигне до разделителна способност от порядъка на 2.2 m (Choate M. J., et al, 2022). Тази система, със своята прекалено голяма разделителна способност, не е много удобна за изследването на проявата на слънчевите затъмнения.

От няколко останали полярни спътникови системи, най-удобна за изследване на сянката на Луната, се оказва системата NOAA на Американската администрация по океани и

атмосфера, базирана на няколко полярни и геостационални спътника (Hall R.C., 2001), (NASAb). Орбиталният сегмент на модерната система на NOAA включва два оперативни спътника. В полет в момента работят поне 4 спътника. Сателитите се пускат в орбити с период на обикаляне около Земята 102 минути. По такъв начин се осигурява изображение на една и съща повърхност от различни спътници при сравнително равномерно разпределена във времето. Гарантира се изобразяването на която и да е част от повърхността с нормална пространствена разделителна способност поне 4 пъти на ден от всеки сателит. Системата NOAA е единствената, която поддържа архив на всички наблюдения на спътниците си от 1985 година до сега. Базата данни е отворена и се попълва ежедневно (NASA b).

Научната апаратура, монтирана на спътниците на NOAA, която може да се използва за измервания по време на слънчеви затъмнения е следната :

1. Радиометър AVHRR - предназначен е да измерва температурата на сушата и морето, да наблюдава облаците, снега и ледената покривка, валежите, почвената влага и да измерва вегетационния индекс. Радиометърът осигурява два пъти на ден изследване на почти цялата повърхност на Земята. Разделителната способност в предметната равнина е 1x1 и 9x9 км.

Спектралните канали на AVHRR са центрирани в три инфрачервени дължини на вълната: 3.55–3.99 μm , 10.3–11.3 μm , и 11.5–12.5 μm ; един в близката инфрачервена област: 0.725–1.10 μm ; и един във видима област 0.55–0.90 μm . Чрез инфрачервените канали се определя радиацията идваща от повърхността на морето и водните пари във въздуха, през целия път на лъчението от повърхността на морето до спътника. Данните с разделителна способност 1x1 км се предават директно до всички приемни станции в радиовидимостта на спътника по трасето му, в реално време. Неопределеността на регистрираните температури на повърхността на океана са от порядъка на 0.10 K.

2. Радиометър HIRS - Инфрачервен спектрофотометър с голяма разделителна способност (Zhang, B., et al., 2021). Сканира подспътниковото пространство в направление перпендикулярно на движението на спътника. Различните модификации на радиометъра предават изображения в 20 спектрални области. Данните от него се използват основно при построяването на атмосферни височинни, влажностни профили и при детайлизирането на изображенията, получени и от AVHRR (Shi L., et al., 2011).

Данните от AVHRR представляват непосредствено регистрираната, достигнала до орбитата топлинна радиация, излъчена от повърхността на океана, претърпяла поглъщане и разсейване от атмосферата. Данните от HIRS са преди всичко данни, касаещи състоянието на атмосферата. Те позволяват да се строят атмосферни профили и да се отчита количествено влиянието на атмосферата при многоканалните методи за определяне температурата на морската повърхност. Синхронната работа на тези два радиометъра е уникална. Като се има предвид и регулярността на построяваните изображения и профили, може да се заключи, че тази система е най-добрата за изследване на температурите на морската повърхност на Земята и отстраняването на „смуцаващи“ атмосферни процеси по време на слънчеви затъмнения.

Чрез радиометъра AVHRR се строят два пъти в денонощието температурни карти на цялата водна повърхност на Земята. Тези карти са неадекватни за изследването на кратковременните (от порядъка на 4 минути) явления на повърхността на океана. Но от системата AVHRR могат да се изискват и моментните изображения на водната повърхност, получени от всеки един от спътниците. Следователно има възможност да се получат и изображения, на които да е регистрирано и петното на лунната сянка по време на затъмнението с разделителна способност 1x1 или 4x4 километра.

Повърхностната температура на морето е един от първите параметри, които се измерват още в началото на спътниковите дистанционни изследвания на моретата и океаните. Подробен анализ на историята и същността на дистанционните спътникови изследвания на температурата на морската повърхност може да се намери публикуван от Minnetta P.J (Minnetta P.J., et al., 2019). През 1997 г. в международен мащаб е създадена група GODAE (Bell M., et al., 2009), която признава нуждата от по-добри океански наблюдения и прогнози. През 2002 г. в рамките на GODAE се създава друга по-специализирана група GHRSSST-PP – Пилотен проект за справяне с възникващата нужда от по-голяма разделителна способност на картите на повърхнинната морската температура, получени от сателитни данни. GODAE приключва през 2008 г. а GHRSSST-PP продължава като група за температура на морската повърхност с висока разделителна способност GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature). Данните и резултатите от изследванията на тази група са общодостъпни за научни изследвания.

Друга подходяща система е Програмата EOS на NASA

Програмата започва с изстрелването на спътника EOS-AM1, с название Terra (NASAg), през 1999 г. и по-късно на спътник EOS-PM1, с название Aqua. Спътниците имат полярни слънчево-синхронни орбити с наклон 98.2°, височина 705 km и период 99 минути.

Сателитното оборудване на TERRA се състои от пет системи за обработка на изображения, предназначени за едновременно и координирано събиране на информация за радиационния баланс на Земята, атмосферната циркулация, взаимодействието между земната повърхност и океаните, биопродуктивността и характеристикните свойства на повърхността. От петте системи само апаратурите ASTER и MODIS са подходящи за термални изследвания на лунната сянка на повърхността на океана. ASTER изготвя хиперспектрална 14-канална снимка в диапазона от 0.52 до 11.65 μm с разделителна способност 15-90 m и стереоснимка в диапазона 0.76-0.86 μm . За директните нужди на океанологията се използват канали с разделителна способност 100 m и диапазони 0.4-0.87 μm , 3.6-4.0 μm , 10.78-12.27 μm . MODIS предоставя хиперспектрална 36-канална снимка в диапазона от 0.45 до 14.36 μm с разделителна способност 250-1000 m.

Спектрофотометрите на EOS са с много голяма разделителна способност, а от тук и много информативни, поради което не работят непрекъснато. Пълната информация се сглобява на земята за няколко денонощия. Едно изображение е с обем 120 MB! За изследването на лунната сянка се налага да се получат оперативните изображения от спътниците, които са „заснели“ спектрално петното на лунната сянка.

Програмата LANDSAT (САЩ) започва своето съществуване през 1972 г., когато са стартирани шест сателита (NASAf). Тази програма е най-дългата и най-успешна гражданска програма за космическо изобразяване на Земята от Космоса. Събраният архив от изображения позволява да се анализират промените, настъпили на Земята за повече от 40 години. Поредицата от спътници е оборудвана с идентична апаратура, като за всеки следващ спътник се запазва геометрията, калибрирането, покритието, спектралните характеристики, качеството на изображението и наличието на данни на ниво, подобно на предишните сателити от програмата Landsat. По програмата се събират и запазват многоспектрални изображения със средна разделителна способност (30 метра за точка) за най-малко 5 години;

Последният оперативен спътник на програмата е LANDSAT-8. Той лети на приполярна, слънчево-синхронна орбита с наклон 98.2°, орбитален период 98 мин, и височина на орбитата 705 km. Повтаря орбитата си след 16 денонощия. Следователно, за такъв период от време апаратурата му може да формира едно изображение на цялата земна повърхност.

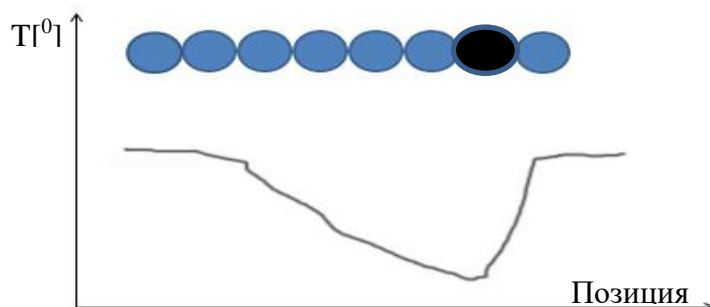
Спътникът Landsat-8 продължава да получава данни за програмата, като използва два набора инструменти - OLI и TIRS. Апаратурата TIRS е предназначена да строи изображения в далечната ИЧ област, чрез които, при прилагане на двуканалния метод да може да се определя контактната температура на повърхността на океана. TIRS прави комплект изображения в 9 диапазона на видимия и близкия инфрачервен спектър. Вторият инструмент създава изображения в далечния инфра червен спектър 10.6 — 11.2 μm и 11.5 — 12.5 μm с пространствено разрешение 100 m. Изображенията, получени с Landsat-8 се разпространяват безплатно до 24 часа след приемането им.

GOES е американска група от геостационарни спътници, проектиран да предоставя метеорологични услуги, работещи от 1975 г. насам (NOAA Geostationary Satellite Server). Сега, в оперативен режим, работят четири спътника от тази система. Няколко спътника са консервирани или работят в режим на ограничена функционалност. Новото поколение на тези сателити осигурява изображения в 12 до 18 канала от 0.47 μm до 13.3 μm с пространствена резолюция във видимия диапазон 0,5 km, а в термичната инфрачервена област - 2 km. Възможността за наблюдения на земния диск е 5-15 минути. От тази система също могат да се изискват оперативни спектрални изображения на областите на лунната сянка и около нея. Проблемът е в епизодичността на изображенията и малката вероятност да са заснети пълни слънчеви затъмнения.

Описаните по-горе системи позволяват да се определи температурата на повърхността на океана. Чрез тази температура могат да се решават следните научни задачи, свързани със пълните слънчеви затъмнения:

1. Проследяване на температурата на повърхността по дирята на петното на сянката назад от моментното положение на петното. На фигура 1 и показан един такъв ред от данни, получен от моментна снимка на петното на сянката. Данните са за температурата на морската повърхност, осреднени за района на сянката. От дигиталното изображение могат да се формират поредица от кръгли области на сянката с отместване назад по траекторията и с различно друго отместване. Така е възможно да се проследи процесът на възстановяване на първоначалната температура на повърхността, след като над нея е преминала сянката. Възможно е да се определят термодинамичните характеристики на водата на повърхността на

океана и възможните изменения на метеорологични параметри. Изменението на температурата на въздуха над сянката е от порядъка на 40K и грешките на получената температура от AVHRR са около 0.10K. Следователно може да се регистрират промени в температурата на водата, породени от 4 градусовата промяна на въздуха над сянката.



Фиг. 1

2. Стратифициране на температурата на повърхността на океана/морето от центъра към периферията на петното. От тук и определянето на нехомогенността на сянката.

3. Промени във ветровите полета около траекторията на сянката. Тези промени могат да се изследват след като се анализира температурата на морската повърхност в лентови зони, успоредно на хода на сянката. Чрез алтиметрични измервания е възможно да се определи модула на скоростта на вятъра с точност около 2 m/s за ветрове в диапазона на 4–20 m/s. Трудностите тук са свързани с ниската височина на зоните в които се разпространяват ветровете – до 200 m над морската повърхност.

Нивото на океана в зоната на сянката може да се промени поради изменение на атмосферното налягане и полето на повърхностния вятър. Досега не е изследвана промяната на нивото на океана в районите на пълната сянка на Луната. В тази посока са възможни изследвания на базата на данни от спътникови алтиметри, монтирани на специализирани спътникови платформи. Такива са във времето SKYLAB, GEOS-3, SEASAT, GEOSAT, ERS-1, TOPEX/POSEIDON, GEO, JASON. При тях височината на морската повърхност спрямо геоида се измерва от 2, 3, 5, 7 до 20 cm. Достъпът до данните от спътниковата алтиметрия е свободен, освен достъпът до данните на NODS NASA и AVISO.

Най-доброто изследване на сянката на Луната върху земната повърхност може да се осъществи само ако се използват данни от различни спътникови платформи, които измерват различни параметри на атмосферата и морската повърхност. Спътниковите измервания над зони от сушата са затруднени от редица фактори, които пречат да се проявят тези, които зависят само от лунната сянка.

Литература:

1. Bell, M., Lefebvre M., Pierre-Yves Le Traon, Smith N., Wilmer-Becker K., GODAE: The global ocean data assimilation experiment, September 2009, Oceanography (Washington D.C.) 22(3), DOI:10.5670/oceanog.2009.62,
2. Choate, M. J., Rengarajan, R., Storey, J.C., Lubke, M. Landsat 9 Geometric Characteristics Using Underfly Data. Remote Sens. 2022, 14, 3781. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70236633>
3. Group for High Resolution Sea Surface Temperature, <https://www.ghrsst.org/>
4. Schmetz, J, Pili P., Tjemkes St., Just D., Kerkmann J., Rota S., Ratier A., An introduction to Meteosat second generation, American meteorological society, July 2002. pp. 977
5. Hall, R. C., A History of the Military Polar Orbiting Meteorological Satellite Program, September 2001, Office of the Historian, National Reconnaissance Office, <https://www.airweaassn.org/reports/prog-hist-02.pdf>
6. Minnetta, P. J., et al., Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature, Remote sensing of Environment 233, (2019), 111366
7. NASA, (NASA a), Comprehensive Large Array-data Stewardship System, https://www.avl.class.noaa.gov/release/data_available/avhrr/index.htm
8. NOAA, (NASA b), National Centers for Environmental Information, <http://ncdc.noaa.gov>
9. NASA (NASA f), Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
10. NASA, (NASA g), NASA TERRA The EOS Flagship, <https://terra.nasa.gov/about/>
11. NOAA Geostationary Satellite Server. <https://www.goes.noaa.gov/>
12. Shi, L., Bates J.. Three decades of intersatellite-calibrated High-Resolution Infrared Radiation Sounder upper tropospheric water vapor. Journal of geophysical research. 2011. vol. 116, D04108, doi:10.1029/2010JD014847, 2011
13. Zhang, B.; Cao, C.; Liu, T.-C.; Shao, X. Spectral Recalibration of NOAA HIRS Longwave CO2 Channels toward a 40+ Year Time Series for Climate Studies. MDPI Atmosphere 2021, 12, 1317, <https://doi.org/10.3390/atmos12101317>, <https://www.mdpi.com/journal/atmosphere>