

## Remote sensing monitoring of methane emissions from landfills

Plamen Trenchev  
 Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences  
 ptrnchev@space.bas.bg

**ABSTRACT:** Landfills are one of the largest anthropogenic sources of methane emissions worldwide. These emissions are a significant contributor to the overall increase in the concentration of CH<sub>4</sub> in the atmosphere. Methane (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub> and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) are the main greenhouse gases released from landfills during the biodegradation of organic matter. Several variables, such as the composition of the biodegradable waste, moisture content, pH, temperature, solar radiation, etc., determine the amount of methane emitted from landfills. The heterogeneous structure of landfills makes it difficult to develop a particular model to determine the rate and amount of gas emitted to the atmosphere. In this study, remote sensing methods for the monitoring of methane emissions from landfills are analysed.

### Въведение

Поредица от мащабни изследвания на множество екипи и научни организации през последните няколко години се обединяват около становището, че приблизително около 60% от общите световни емисии на метан се дължат на антропогенни източници (CCAC 2021) [1], а над 90% от тях произлизат от три сектора: отпадъци (~20%), изкопаеми горива (~35%) и селско стопанство (~40%). Тези оценки са получени чрез прилагането на два подхода – инвентаризация "отдолу нагоре" и оценка "отгоре надолу". Така наречените инвентаризации на емисиите "отдолу нагоре" се получават чрез събиране на данни за дейностите и емисионните фактори за отделните сектори, като резултатът от тях дава обща оценка на секторните емисии. Тези данни се оценяват на национално равнище.

Националните статистически данни често се използват за оценка на дейностите, а полевите и лабораторните измервания обикновено се използват като източници на данни за емисионните фактори. С други думи, този тип оценка обикновено се основава на инженерни модели и емисионни фактори. При оценка "отгоре надолу" инвентаризацията на емисиите се получава от преки измервания [2], което включва измервания от камери, монтирани на дронове и самолети, както и от спътници. Оценката "отгоре надолу" представлява точна моментна снимка на емисиите и може да даде представа за неочаквани и в много случаи значителни емисионни събития, които не могат да бъдат идентифицирани чрез подхода "отдолу нагоре". Сравняването на оценката "отдолу нагоре" с оценката "отгоре надолу" дава ценна информация както за обобщените данни, така и за отделните източници. Разбира се, трудно можем да очакваме, че оценката на емисиите при двата подхода ще съвпадне точно. Но разбирането на причините за тази разлика може да ни предостави много полезни знания.

### Методика

За прогнозиране на емисиите на CH<sub>4</sub> от депа за отпадъци за различни времеви интервали са популярни няколко модела, като 2006 FOD на IPCC, моделът на USEPA за емисиите на сметителен газ (LandGEM), Метод на флукс-камерата, Модифициран триъгълен метод (MTM) и др. [5]. Често се случва прогнозната стойност на емисиите на CH<sub>4</sub> по тези модели значително да се различава от действително измерените на терен. Причините за тези разлики са много и различни, като например вида и времевата плътност на входните данни, неотчитане на характеристиките на отпадъците за съответното сметище, липса на метеорологични данни и др.

Методът на потоците или на флукс-камери е прост и икономичен метод за измерване на потоците на емисиите на сметителни газове. Чрез този метод газовете се улавят в камера за предварително определен период от време в почасови интервали, когато те напускат повърхността на почвата. Отчита се и температурата на повърхността. Газовите проби се анализират с помощта на газов хроматограф. Емисионните потоци  $F_{CH_4}$  се изчисляват с помощта на уравнение (1):

$$(1) \quad F_{CH_4} = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times h,$$

където  $F_{CH_4}$  е емисионният поток на CH<sub>4</sub> в  $\frac{mg}{m^2 \cdot min}$ ,  $\frac{\Delta C}{\Delta t}$  е наклонът на линейната крива между концентрациите и времето за вземане на проби,  $h$  – височината на камерата над повърхността на почвата.

LandGEM е автоматизиран инструмент за оценка на общото количество сметителни газове (СГ), в това число CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> и др. от депа за твърди битови отпадъци. В този метод се отчита общото годишно количество депонираните отпадъци, но в него не се включва категоризация на отпадъците. Прогнозирането на емисиите на СГ се извършва на базата на уравнение за разпад от първи ред (2), в което се предполага, че скоростта на генериране на CH<sub>4</sub> достига своя максимум малко след депонирането на първите отпадъци и след това тази скорост намалява експоненциално.

$$(2) \quad F = \sum_{\substack{1 < i \leq n \\ 0.1 < j < 1}} M_0 S_1 \frac{m_i}{e^{S_1 t_{ij}}}$$

Развитието на спътниковите технологии и наличието на спътникови изображения със средна и висока пространствена разделителна способност дават възможност за бързо откриване, локализиране и количествено определяне на емисиите на метан от точкови източници. Синергията между спътникови инструменти с различна пространствена разделителна способност като TROPOMI, GHGSat, MethaneSat, PRISMA осигурява икономически ефективни мерки за идентифициране на източниците на емисии на ниво съоръжение. Откриването на зони с високи емисии е най-целесъобразно да се извършва с помощта на данни от инструмента TROPOMI за тропосферен мониторинг на европейския спътник Sentinel-5P, който осигурява ежедневно глобално покритие с ширина на лентата на заснемане 2600 km и пространствена разделителна способност до 5,5 × 3,5 km<sup>2</sup> [7]. Тъй като тези изображения често са с висок процент на липсващи пиксели, е предложена методика за определяне на фоновите нива на метан за дадена област с помощта на уравнение (3) [3, 8].

$$(3) \quad XCH_4_{fn} = k * \mu - (k - 1) * \bar{x},$$

където  $XCH_4_{fn}$  е фоновата оценка на метана,  $\mu$  е медианата,  $\bar{x}$  – средната стойност на набора от данни. По такъв начин дори и при относително нисък процент на налична информация можем да определим дали е наличие емисионно събитие, както и да се очертаят зоните с по-високи концентрации над фоновите нива. По-прецизното определяне на оптичната дълбочина би помогнало в тази посока [9]. Дневният шлейф се определя като функция на скоростта и посоката на вятъра. Трябва да се има предвид, че вятърът на повърхността се влияе от топографията, и това трябва също да бъде отчетено при изчисляване на емисиите. Прецизното очертаване на шлейфа и отчитането на посоката на вятъра позволяват да се локализира с по-голяма точност точковия източник на емисии. След това с помощта на хиперспектрални инструменти с целеви режим като PRISMA и GHGSat те могат да се оценят количествено. Именно комбинирането на тези разнообразни потоци от данни значително подобряват скоростта и прецизността, а също и икономическата ефективност в работата по откриване, локализиране и количествено определяне на емисиите. Но този поток от данни изисква и наличието на специализирана web-базирана организация на спътниковите изображения, подобна на представената от [10].

### Заклучение

Разработването на комплексен модел за определяне на скоростта и количеството на отделяния в атмосферата сметителен газ е сложен процес, който изисква интегрирането на различни по вид и формат данни както от наземни, така и от спътникови източници. Нелинейният характер в динамиката на тези емисии се обуславя от наличието на множество променливи, чието отчитане в обобщения модел е необходимо условие за получаване на поточни количествени оценки. Оформянето на отделните модули е в процес на финализиране и тестване.

### Литература:

- CCAC, Climate and Clean Air Coalition (CCAC), United Nations Environment Programme (UNEP) Global Methane Assessment (full report), 2021, <https://www.cccacalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report>
- Holoboff James, Which is Better - Bottom-up or Top-down Emissions Estimates?, 2021, <https://processesjournal.com/articles/which-is-better-bottom-up-or-top-down-emissions-estimates>
- Trenchev, P. Use of Satellite Data with Medium Spatial Resolution to Detect Atmospheric Methane Pollution. Ph.D. Thesis, Space Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, November 2022
- Georgieva E., Atanassov D., Spassova T., Batchvarova E., Syrakov D., Dimitrova, M., Nedkov R., Veleva B. Satellite information downscaled to urban air quality in Bulgaria - Project description 2019 Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, 23, 2, 2019, ISSN:2535-0595, 47-60
- Gollapalli, M., Sri Harsha Kota. Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models. Environmental Pollution, v.234, March 2018, pp. 174-180
- USEPA, 2005 USEPA Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide EPA-600/R-05/047
- Lorente, A., Borsdorff, T., Butz, A., Hasekamp, O., aan de Brugh, J., Schneider, A., Wu, L., Hase, F., Kivi, R., Wunch, D., Pollard, D. F., Shiomi, K., Deutscher, N. M., Velasco, V. A., Roehl, C. M., Wennberg, P. O., Warneke, T., and Landgraf, J.: Methane retrieved from TROPOMI: improvement of the data product and validation of the first 2 years of measurements, Atmos. Meas. Tech., 14, 665-684, <https://doi.org/10.5194/amt-14-665-2021>
- Trenchev, P.; Dimitrova, M.; Avelisyan, D. Huge CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, and CO Emissions from Coal Mines in the Kuznetsk Basin (Russia) Detected by Sentinel-5P. Remote Sens. 2023, 15, 1590. <https://doi.org/10.3390/rs15061590>
- Syrakov D., Prodanova M., Georgieva E., Dimitrova, M., Spassova T., Atanassov D., Veleva B., Nedkov R. Aerosol optical depth calculations using the Bulgarian Chemical Weather Forecast System, 2019 Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, 23, 2, 2019, ISSN:2535-0595, 31-46
- Димитрова, М., В. Белчева. Организация на специализирана web-база данни със спътникови изображения за екомониторинг на България, 2015, Proceedings of SES 2014, Space Research and Technology Institute - BAS, 2015, ISSN:1313-3888, pp.435 - 439