

ДИСТАНЦИОНЕН МОНИТОРИНГ НА ЕМИСИИТЕ НА МЕТАН ОТ ДЕПА ЗА ОТПАДЪЦИ

Пламен Тренчев

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: ptrenchev@space.bas.bg*

Ключови думи: *Метан, депа за отпадъци, атмосферно замърсяване, TROPOMI*

Резюме: *Депата за отпадъци са един от най-големите антропогенни източници на емисии на метан в света. Тези емисии имат значителен принос за цялостното увеличаване на концентрацията на CH₄ в атмосферата. Метанът (CH₄), CO₂ и диазотният оксид (N₂O) са основните парникови газове, отделяни от сметницата по време на биоразграждането на органичната материя. Няколко променливи, като например съставът на биоразградимите отпадъци, съдържанието на влага, рН, температурата, слънчевата радиация и т.н., определят количеството метан, отделяно от депата за отпадъци. Хетерогенната структура на депата за отпадъци затруднява разработването на конкретен модел за определяне на скоростта и количеството на отделяния в атмосферата газ. В това изследване се анализират методите за дистанционно наблюдение за мониторинг на емисиите на метан от депа за отпадъци.*

REMOTE SENSING MONITORING OF METHANE EMISSIONS FROM LANDFILLS

Plamen Trenchev

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ptrenchev@space.bas.bg*

Keywords: *methane, landfills, air pollution, TROPOMI*

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 CH₄ in the atmosphere. Methane (CH₄), CO₂ and nitrous oxide (N₂O) 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 сателити. 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 съвпада точно. Но разбирането на причините за тази разлика може да ни предостави много полезни знания.

Секторът на отпадъците, който включва депата за отпадъци, пречиствателните водни съоръжения и управлението на отпадъците са съществени компоненти, които съставляват около 20 % от глобалните антропогенни емисии. В целия свят депата за отпадъци са третият по големина източник на метан. Понастоящем 70% от отпадъците в световен мащаб се депонират, често по нерегламентиран начин. Освен това според прогнозите на Световната банка до 2050 г. генерирането на отпадъци ще се увеличи с 60 %. Ето защо е належащо да намалим емисиите на сметнишни газове в целия свят.

По данни на ЕВРОСТАТ почти половината от европейските държави-членки все още изхвърлят на сметницата над 40 % от битовите си отпадъци. Само през 2018 г. емисиите на метан от депата за отпадъци в 27-те държави членки на ЕС плюс Обединеното кралство са генерирани около 100 млн. тона еквивалент на CO₂ (източник ЕАОС) и представляват над 20% от общите европейски емисии на метан. Улавянето на метан в депата за отпадъци е сложен процес, който зависи от множество фактори – от ефективността на управление на депата, през избраната технология до текущите климатични условия като дъжда, например, който може да спомогне както за производството на повече метан, така и да наводни системите за събиране на газ, като ги направи по-малко ефективни [3].

Газът от сметницата съдържа различни съставки, като най-голям е дялът на CH₄, CO₂ и N₂O, които общо съставляват около 90-97% от сметнишния газ. Останалите 3 до 10 % се състоят от азот, амоняк, сулфиди и други газове. Процентното съотношение и количеството на тези газове зависи от вида на отпадъците, които се намират в депото, количеството влага, температурата, както и възрастта на депото. Едно депо може да произвежда газове повече от 30 години. Освен това, сметницата допринася за увеличаване на смога и локалното замърсяване на въздуха. Тъй като повечето от тях се намират в близост до населените места, това има пряко отношение към качеството на въздуха в градска среда [4].

Количественото определяне на емисиите на метан от депата за отпадъци е сложна задача и е предмет на редица изследвания, като два параметъра са от особена важност в този процес: потенциален капацитет за генериране на метан (M0) и скорост на генериране на метан (S1). Стойностите на M0 зависят от различни фактори като състав на депонираните биоразградими отпадъци, съотношение органични/неорганични компоненти, влага, температура, кислород, рН и т.н., и се изчисляват с помощта на конкретен математически модел. S1 най-често се определя експериментално, като тук от съществено значение е отчитането на локалните метеорологични данни и топографията на района на изследване. Многокомпонентната зависимост на двата параметъра M0 и S1 е причината за нелинейния характер на емисиите на метан от депата за отпадъци. Най-често тези емисии са най-високи през лятото и най-ниски през зимата в пряка връзка с количеството слънчева радиация. От друга страна, дневните вариации на емисиите следват тенденциите в температурната динамика през всички сезони. Всичко това, наред с хетерогенната структура на депата за отпадъци, силно усложнява разработването на унифициран модел за определяне на скоростта и количеството на отделяния в атмосферата газ.

За прогнозиране на емисиите на CH₄ от депа за отпадъци за различни времеви интервали са популярни няколко модела, като 2006 FOD на IPCC, моделът на USEPA за емисиите на сметнищен газ (LandGEM), Метод на флукс-камерата, Модифициран триъгълен метод (MTM) и др. [5]. Често се случва прогнозната стойност на емисиите на CH₄ 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 сметнище, 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 сметнишни 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_4 в $\left[\frac{mg}{m^2 \cdot min}\right]$, $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ 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 сметищни газове (СГ), в това число CH_4 , CO_2 и др. от депа за твърди битови отпадъци. В този метод се отчита общото годишно количество депонирани 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_4 достига своя максимум малко след депонирането на първите отпадъци и след това тази скорост намалява експоненциално.

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

Уравнение (2) се използва за количествена оценка на генериране на CH_4 от сметища (F , в $m^3/год.$) (USEPA, 2005 г.) [6], където i и j са времето (в години), n – броя на годините на експлоатация на сметището, M_0 е капацитетът за генериране на CH_4 (m^3/Mg), S_1 - скорост на генериране на CH_4 от първи ред (година⁻¹), m_i - масата на приетите отпадъци за една година. Изчисляването на емисиите на СГ от депото изисква значителни входни параметри, като например проектен капацитет на депото, степен на приемане на отпадъците, година на откриване, потенциал за генериране на CH_4 и др.

2006 FOD на IPCC (модел на разпад от първи порядък) е многофазен модел за оценка на генерирането на CH_4 от всички страни в света. Той може да се прилага със стойности по подразбиране или като се използват данни за конкретен обект, които отчитат темповете на генериране на отпадъци, състава на отпадъците, разградимия органичен въглерод (POB), скоростта на разпадане на отпадъците (S_1) и т.н. В основата на този модел отново е уравнение за разпад от първи ред. Но вместо M_0 той използва POB и стойности S_1 за различните категории отпадъци, т.е. храна, хартия, растителен компост и т.н.

Развитието на сателитните 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 км и пространствена разделителна способност до $5,5 \times 3,5 \text{ km}^2$ [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, μ 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 налице 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 сметищен газ е сложен процес, който изисква интегрирането на различни по вид и формат данни както от наземни, така и от сателитни 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 по-точни количествени оценки. Оформянето на отделните модули е в процес на финализиране и тестване.

Литература:

1. CCAC, Climate and Clean Air Coalition (CCAC), United Nations Environment Programme (UNEP) Global Methane Assessment (full report), 2021, <https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report>.
2. Holoboff, James, Which is Better - Bottom-up or Top-down Emissions Estimates?, 2021, <https://processecology.com/articles/which-is-better-bottom-up-or-top-down-emissions-estimates>.
3. 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.
4. 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, pp. 47–60.
5. 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.
6. USEPA, 2005 USEPA Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide EPA-600/R-05/047.
7. 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., Velazco, 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>, 2021.
8. Trenchev, P.; Dimitrova, M.; Avetisyan, D. Huge CH₄, NO₂ 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>.
9. 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, pp. 31–46.
10. Димитрова, М., Б. Велчева. 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.