

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

E-mail: sosdok@nubip.edu.ua

Н. А. Пасічник, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua

І. Т. Цигульов, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ф. В. Глуган, аспірант

Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна

E-mail: arr55005@gmail.com

Т. С. Давиденко, аспірант

E-mail: davidenkotaras009@gmail.com

В. В. Якушов, студент магістратури

E-mail: Vlad_Yakushow@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Робота присвячена актуальному питанню енергетичної безпеки територіальної громади, а саме, визначенню перспективних місцевих ресурсів для широкого застосування біогазових реакторів. Розробка методичних засад щодо впровадження територіальних енергетичних комплексів на місцевій сировині для урбанізованих територій складає мету роботи. Традиційні підходи щодо аналізу можливої сировини мало прийнятні для урбанізованих територій, тому було висунуто гіпотезу про доцільність її ідентифікації за опосередкованими ознаками, а саме, викидам метану, який оцінювали за даними супутникового моніторингу. Концентрація газів в атмосфері вимірювалася шляхом безперервного сканування спектрометром TROPOMI в ультрафіолетовому, видимому, ближньому та короткохвильовому інфрачервоному спектрах.

Завдяки використанню хмарної платформи для геопросторового аналізу даних Google Earth Engine, вдалося створити веб-додаток для відображення просторово-часових змін вмісту парникових газів в атмосфері з можливістю визначати їх

концентрацію. Вперше вдалося ідентифікувати наявність у Київській області істотних викидів метану, що мають сезонний характер, пік концентрації яких припадає на жовтень. Виходячи з результатів експерименту, які можна інтерпретувати як непрямі вимірювання кількості органічних решток, спостерігається наявність значного ресурсу для виготовлення в промислових масштабах спеціалізованих пелет для біогазових реакторів енергоефективної громади.

Ключові слова: *біогаз, територіальні енергетичні комплекси, викиди метану, моніторинг, супутники, пелети*

Актуальність. Історично організація розташування громад визначалася, виходячи з оптимального співвідношення логістики, наявності та якості пропозицій щодо зайнятості, вартості та доступності питної води, продовольства та енергоресурсів тощо. Відповідно, істотні зміни у вартості та доступності ресурсів мають враховуватись при плануванні розвитку громад. Впродовж 2021 року вартість газу та вугілля суттєво зросла в світі, що матиме критичний вплив на економіку індустріальних країн, а особливо на урбанізовані громади. При розгляді стратегії енергозабезпечення урбанізованої громади необхідно враховувати можливість реалізації існуючих рішень щодо доступності джерел енергії та їх впливу на якість життя. Так, традиційні для сільської місцевості технології індивідуального дров'яного чи, тим більш, вугільного опалення в мегаполісах мало прийнятні з екологічних питань Zhu-Yu Zhao et al (2020) в [1]. Проте, наявність місцевої енергетичної чи теплової генерації є вкрай актуальною, особливо в сучасних умовах. У роботі V. A. Bunetskyi et al (2018) в [2] сформовано підходи до розробки територіальних енергетичних комплексів (ТЕК), як первинної ланки загальнодержавної енергетичної системи. У перспективі подібні ТЕК при певних умовах даватимуть змогу забезпечувати енергонезалежність навіть в сільській місцевості та невеликих містах, проте, для цього потрібно розробляти особливі стратегії для доповнення існуючих енергосистем. Тому розробка методичних засад щодо впровадження ТЕК на місцевій сировині для урбанізованих територій є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Номенклатура місцевих ресурсів для енергозабезпечення, зазвичай, є обмеженою і складається з фотогальванічних

елементів, котлів на твердому паливі та біогазових реакторів. Застосування вітрової генерації для урбанізованих територій є обмеженим, що обумовлено притаманним для вітряків акустичним забрудненням місцевості. Розвиток сонячної генерації є очікуваним в перспективі, оскільки, енергія від неї припадає, як правило, на пікові години навантаження мережі та, відповідно, її вартість максимальна [3]. Попри значний розвиток у світі впродовж останнього десятиріччя принциповим недоліком такої генерації є неможливість керування джерелом енергії, мінливість сонячної активності та відсутність її у темний час доби. Питання використання сонячного випромінювання, як джерела енергії, навіть в хмарну погоду, коли фотогальванічні технології неефективні, впроваджувались на тепличних господарствах. Так, для таких підприємств впроваджували системи опалення з врахуванням прогнозу погоди, як показано в роботі A. Dudnyk et al (2019) в [4]. Враховуючи недостатню точність метеорологічних прогнозів, систему освітлення та опалення тепличних господарств доповнювали стаціонарними сенсорними системами, що враховували освітленість та температуру рослин, як показано в роботі V. Lysenko et al (2020) в [5], чи спеціалізованими роботами V. Lysenko et al (2019) в [6]. Орієнтація на сонячну енергетику в якості основного джерела для енергоефективної громади недоцільна, оскільки невирішені питання щодо накопичування такої енергії.

Одним з можливих джерел тепла та електрики для урбанізованої місцевості може бути переробка побутових відходів, тобто целюлозовмісних матеріалів, а також гілля та хмизу з парків та скверів, тощо. Потенціал такої сировини є достатнім для промислового використання, так, за даними Juhi Gupta et al (2022) в [7] у 2021 році вартість біо, агро та лісовідходів у світі складає 25 мільярдів \$ і до 2023 року може зрости до 40 мільярдів \$.

Виходячи з аналізу літературних джерел, найбільш перспективним для доповнення існуючої енергосистеми урбанізованих територій є біогазові реактори, проте, залишаються невирішені питання щодо сировини та термінів її збору, оскільки для енергоефективної громади доцільно використовувати саме місцеві ресурси. На таких засадах базується концепція інноваційного міського та сільського господарства, що наведена в роботі Dian T. Armanda et al (2019) в [8], де в Німеччині

в якості сировини для біогазових реакторів використовують траву зі стадіонів. Підходи, що запропоновані в роботі [2], адаптовані саме під сільську місцевість, для якої доцільно використовувати ГПС-технології для пошуку перспективної сировини, а саме, маргінальні землі для вирощування енергетичних культур.

Оскільки традиційні підходи щодо аналізу можливої сировини для біогазових реакторів мало прийнятні для урбанізованих територій, авторами було висунуто *гіпотезу* про доцільність ідентифікації перспективної сировини за опосередкованими ознаками. У випадку ідентифікації перспективної сировини на думку авторів до таких ознак можна віднести фіксацію викидів СО та метану як наслідок відповідно неефективного спалювання та розкладання органічних залишків, які для місцевої сировини у виробничих масштабах можуть мати сезонний характер.

Мета дослідження – розробка методичних засад щодо впровадження ТЕК на місцевій сировині для урбанізованих територій.

Для досягнення мети виникає необхідність у виконанні таких завдань:

1. Розробити експериментальний веб-додаток для відображення просторово-часових змін вмісту парникових газів в атмосфері з можливістю визначати їх концентрацію.
2. Провести експериментальні дослідження щодо наявності в Київській області істотних викидів метану, які ймовірно мають сезонний характер, пік концентрації яких припадає на жовтень.
3. Отримати динаміку змін вмісту метану в атмосфері та сформулювати припущення, що підвищення рівня метану в жовтні частково викликане гниттям органічних решток, а саме, опалого листя, які масово вивозились на звалища побутових відходів з парків та скверів міста.
4. На основі непрямих вимірювань кількості біомаси на звалищах сформулювати пропозиції щодо застосування значного ресурсу для виготовлення спеціалізованих пелет для біогазових реакторів енергоефективної громади у промислових масштабах.

Матеріали та методи дослідження. У рамках експерименту визначалися просторово-часові зміни вмісту чадного газу (CO) та метану (CH₄) в атмосфері на території України у 2020 році. Наразі картографування вмісту CO та CH₄ у глобальному масштабі можливе тільки за допомогою супутникових даних. Для цього були використані дані супутникового моніторингу, що проводився в рамках першої місії, присвяченої моніторингу повітря Sentinel – 5P за програмою Європейського Союзу (ЄС) по спостереженню за Землею Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>). Метою місії Sentinel – 5P, яка стартувала з 2017 року, є проведення вимірювань з високим просторово-часовим розрізненням для аналізу хімічного складу атмосфери Землі, а також моніторингу змін клімату та прогнозування.

У якості корисного навантаження космічного апарату (КА) Sentinel – 5P використовується спектрометр TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument). При цьому значення CO та CH₄ з КА Sentinel - 5P узгоджені з еталонними вимірюваннями глобальних наземних мереж TCCON (Total Carbon Column Observing Network) та NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change), а також зі супутниковими даними GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite). Згідно документації ЄКА за даними CO та CH₄, середнє відхилення складає близько 10 % та 1,5 % відповідно, що вказує про високу надійність даних.

Концентрація газів в атмосфері вимірюється шляхом безперервного сканування спектрометром TROPOMI в ультрафіолетовому, видимому, ближньому та короткохвильовому інфрачервоному спектрах. Як результат, ЄКА надає в загальний доступ набори даних, що дозволяють представити щоденне покриття всієї Земної кулі з роздільною здатністю 7x7 км за забруднювачами та парниковими газами в атмосфері в форматі .netcdf як продукт Level 2 (L2), в якому пікселі визначаються широтою та довготою, утворюючи нерегулярну сітку. Для проведення аналізу за тривалий період часу, проводилось перетворення даних до Level 3 (L3), що здійснювалось з використанням інструментів HARP, інстальованих на хмарній платформі.

В експерименті було використано набори даних щодо CO та CH₄ з спектрометру TROPOMI за 2020 рік, що отримані з колекції даних Google Earth Engine (GEE – https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_CH4), як продукт Level 3 (L3) у вигляді стеку зображень COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO та COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CH₄ відповідно.

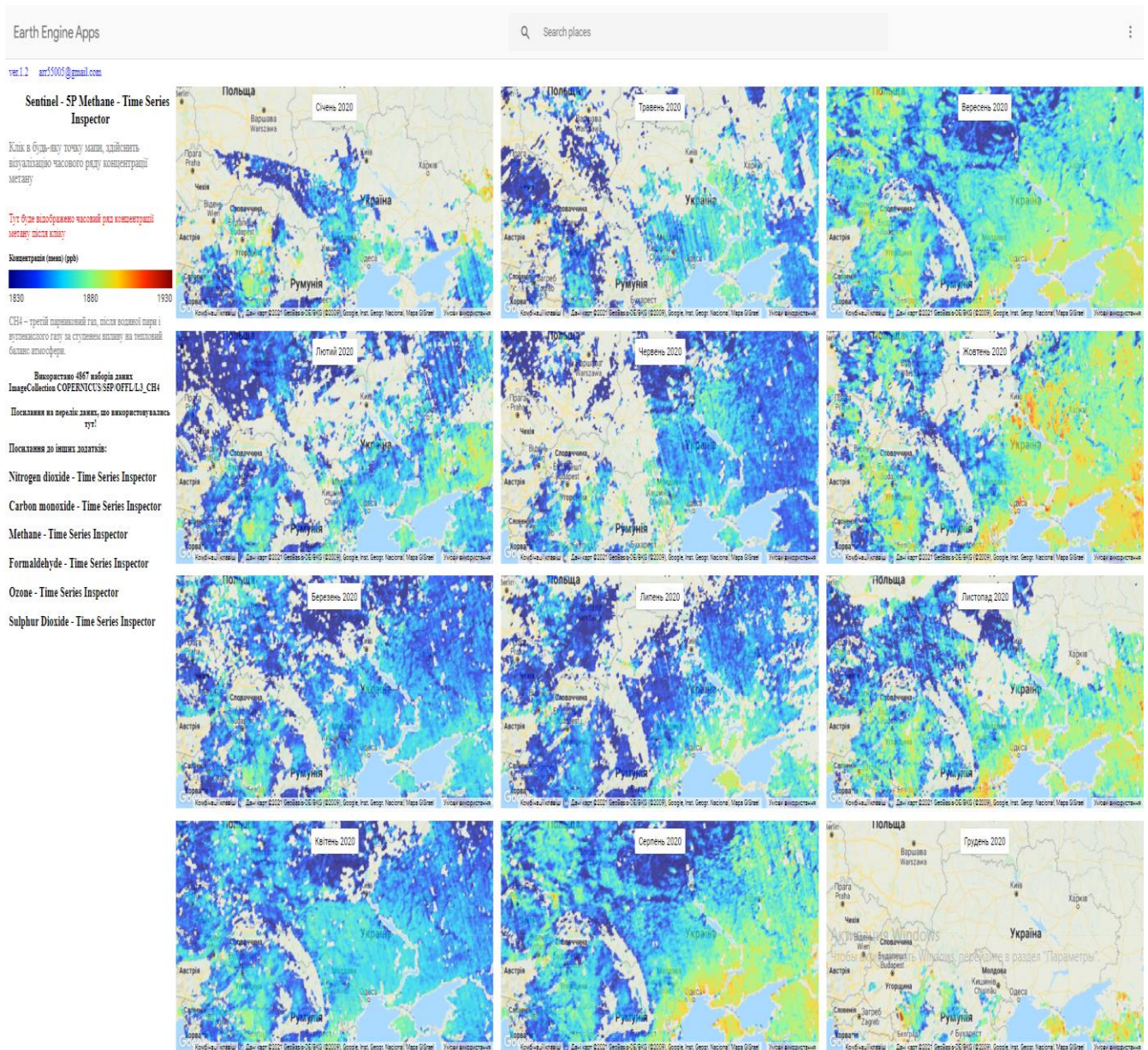


Рис. 1. Інтерфейс веб-додатку для оцінки просторово-часових змін вмісту метану в атмосфері

Використовуючи інструментарій GEE, за даними кожного місяця 2020 року було проведено медіанну оцінку та реалізовано можливість побудови графіку

концентрації CO та CH₄ в точці з буфером 20 км. Розроблений веб-додаток дозволяє візуально представити дані за кожен місяць та визначити концентрацію в атмосфері CO та CH₄. Для зручності сприйняття інформації було розроблено веб-додаток, в якому концентрація реагенту закодована з допомогою кольорової палітри (<https://arr55005.users.earthengine.app/view/ch412gridmap>), інтерфейс якого на прикладі метану приведено на рис. 1. За даними авторів такий підхід вперше для наукових потреб використовується в Україні

Результати дослідження та їх обговорення. Оцінка концентрації чадного газу здійснювалася в масштабах України, що наведено на рис. 2.

При виявленні таких джерел було б можливо при додаткових дослідженнях виявити енергетичну сировину для подальшого її використання.

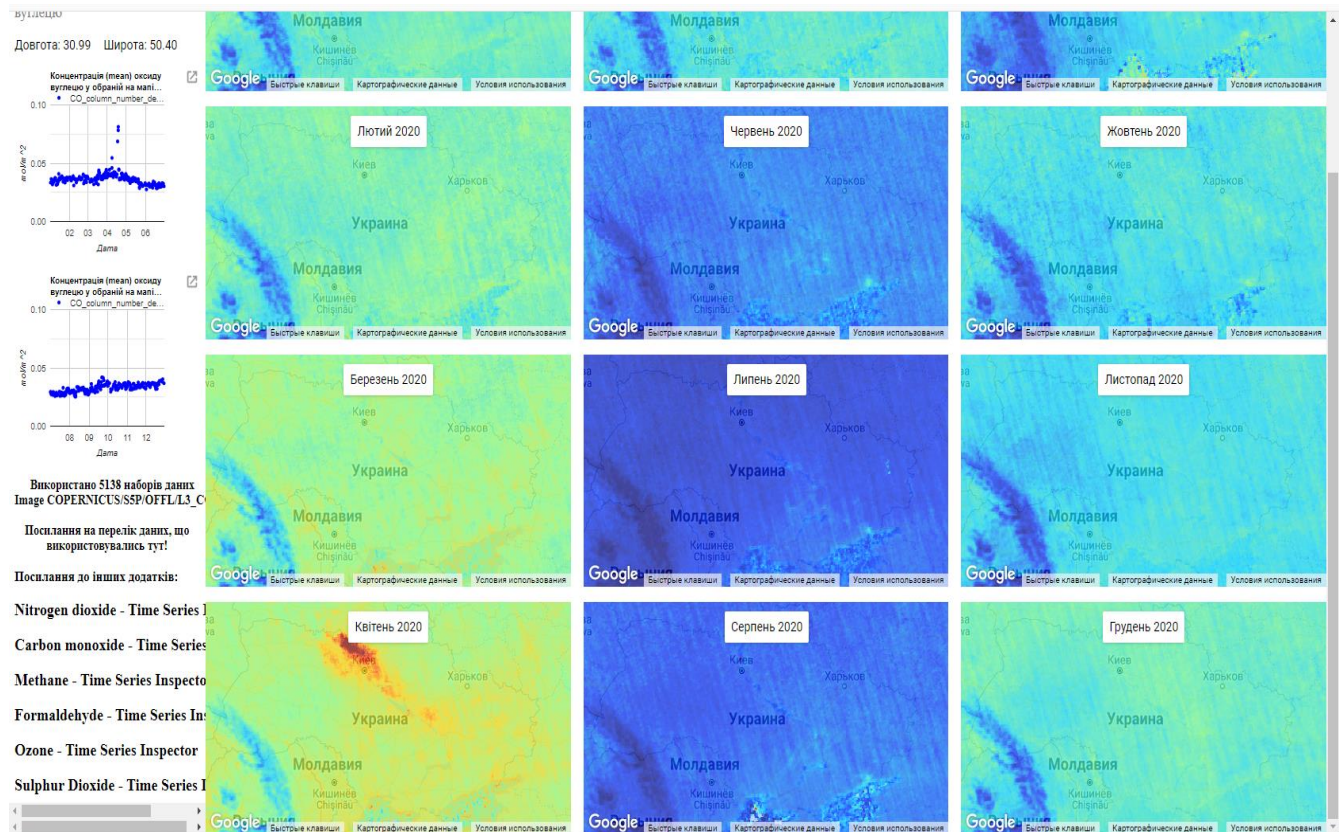


Рис. 2. Інтерфейс веб-додатку для оцінки просторово-часових змін вмісту CO в атмосфері

Було виявлено інтенсивні викиди CO в квітні місяці, проте, очевидне пояснення цього полягає в великих пожежах в Чернобильській зоні саме в цей час. Тобто, при

використанні моніторингу СО виявити стабільні місцеві енергетичні ресурси для енергозабезпечення не вдалось.

Для випадку моніторингу вмісту в атмосфері метану було виявлено викиди, що розташовувались біля мегаполісів. Так, на рис. 3 приведено графік змін кількості метану в повітрі впродовж 2020 року для селища Красилівка Броварського району Київської області (координати шир. 50.54°, довг. 30.89°). Для полегшення сприйняття інформації на рис. 4 візуально представлено просторово-часовий розподіл метану в атмосфері у 2020 році в Київській області за 2020 рік, що відображає динаміку змін вмісту метану.

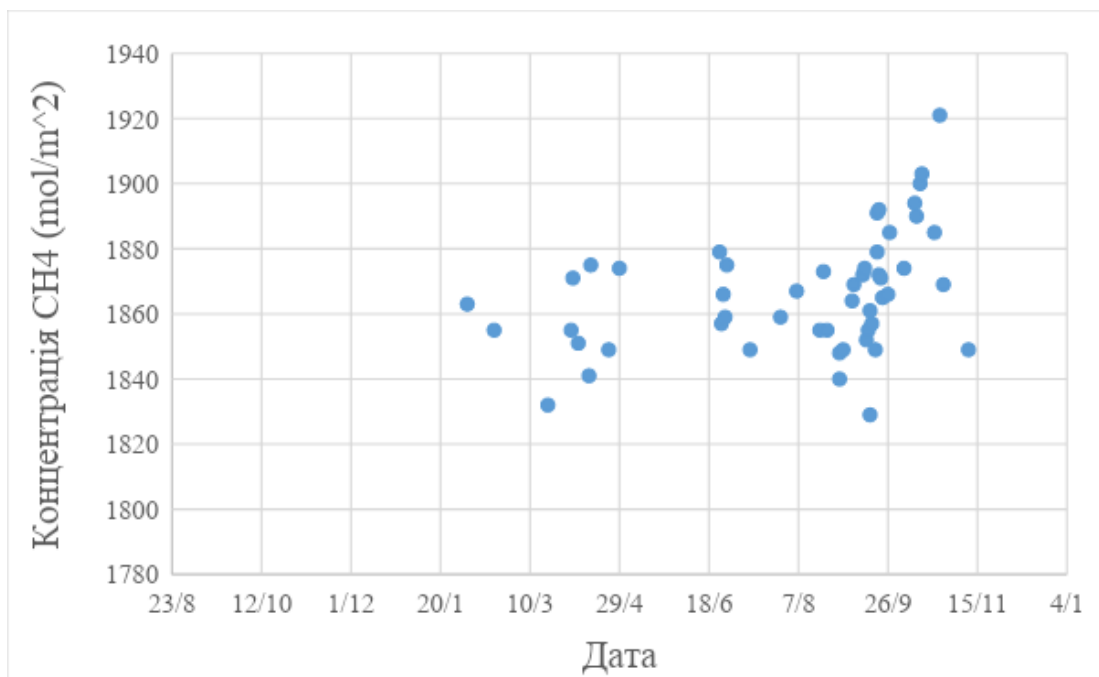


Рис. 3. Графік зміни кількості метану в атмосфері впродовж 2020 року для селища Красилівка (Київська область)

Виходячи з представлених результатів, спостерігається пік концентрації метану в цьому регіоні в жовтні, що, ймовірно, носить сезонний характер. Таке становище не можна пояснити регулярним вивезенням на звалища (полігони побутових відходів) органічних відходів, у тому числі харчових. На думку авторів, вплив внаслідок розкладання побутових органічних відходів на вміст метану в атмосфері також був зафіксований у весняний період у зв'язку з подібними сприятливими умовами для гниття органіки.

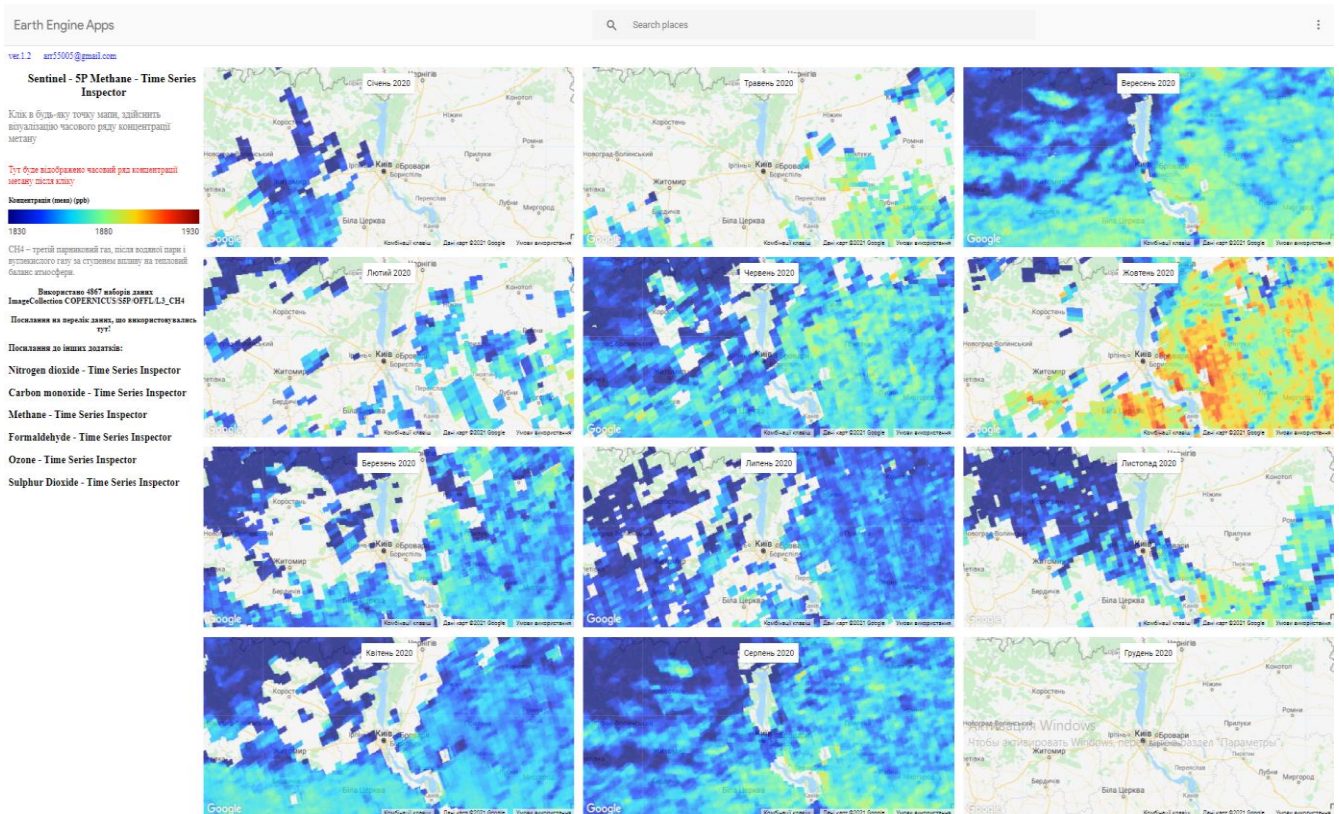


Рис. 4. Київська область. Просторово-часові зміни вмісту метану в атмосфері за 2020 рік

Подібна ситуація спостерігається в південній частині України, зокрема на узбережжі Чорного та Азовського морів (рис. 2). Ймовірно, це може бути наслідком різноманітних чинників місцевої специфіки, такої як гниття водоростей на узбережжях після сезонного цвітіння води, пік якої зазвичай у серпні-вересні.

Оскільки для Київської області цього не спостерігається, то сезонний характер можна пояснити лише масовим гниттям органіки, яке відбувається саме в жовтні. На думку авторів мова йде про гниття органічних решток, а саме опалого листя, скошеної трави та зрізаних гілок з парків, скверів та рекреаційних зон.

Апробація роботи. Робота доповідалась на міжнародній науковій конференції ISIT 2021: II International Scientific and Practical Conference «Intellectual Systems and Information Technologies», September 13–19, 2021, Odesa, Ukraine (Validation of Data Obtained After Field Sensing Using UAV for Management of Future Crops). Висловлюємо щирі вдячності Дмитру Комарчуку та Аллі Дудник за надані результати досліджень, а також Юрію Гунченку та Оксані Зуї за допомогу щодо організації проведення досліджень.

Висновки і перспективи. Розроблені методичні засади щодо впровадження ТЕК на місцевій сировині для урбанізованих територій та отримані такі результати:

1. Створено експериментальний веб-додаток для відображення просторово-часових змін вмісту парникових газів в атмосфері з можливістю визначати їх концентрацію.

2. Виявлено наявність у Київській області істотних викидів метану, що ймовірно мають сезонний характер, пік концентрації яких припадає на жовтень.

3. Враховуючи отриману динаміку змін вмісту метану в атмосфері, сформовано припущення, що підвищення рівня метану в жовтні частково викликане гниттям органічних решток, а саме опалого листя та іншої біомаси, які масово вивозились на звалища побутових відходів з парків та скверів міста.

4. При непрямих вимірюваннях кількості біомаси на звалищах, спостерігається наявність значного ресурсу для виготовлення спеціалізованих пелет, які в промислових масштабах застосовуються в біогазових реакторах енергоефективної громади з метою отримання теплової і електричної енергії та високоякісних добрив.

Для моніторингу перспективних джерел та номенклатури сировини для БГУ доцільно розгорнути автоматизоване робоче місце візуалізації результатів моніторингу, розробити програмне забезпечення (веб-додаток), що враховує супутникові дані з КА Sentinel - 5P за весь його період існування, оскільки, на результати одного року спостереження можливий вплив випадкових факторів.

Крім того, доцільно розглянути можливість комплексного аналізу геопросторових даних з вітчизняних супутників (КА Січ-2-30) та інших доступних КА в рамках програми Copernicus та ін., у тому числі комерційних (КА компанії GHGSat).

Reference

1. Zhu-Yu Zhao, Fang Cao, Mei-Yi Fan, Wen-Qi Zhang, Xiao-Yao Zhai, Qian Wang, Yan-Lin Zhang (2020). Coal and biomass burning as major emissions of NOX in Northeast China: Implication from dual isotopes analysis of fine nitrate aerosols. Atmospheric Environment, 242, 117762, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117762>;
2. Bunetskyi, V. A., Kalinichenko, V.M. (2018). Prospects for the creation of territorial energy complexes. Bioenergy, 1(11), 4-9. <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/3291>;

3. Gai, A., Gulevich, V. (2021) Approach to the location of distributed generation sources in the structure of electrical networks. *Enerhetyka i avtomatyka*, 3, 75-86. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.03.075>;
4. Dudnyk, A., Lysenko, V., Zaets, N., Komarchuk, D., Lendiel, T., Yakymenko, I. (2019). Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings, 586-590. <http://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007>;
5. Lysenko, V., Zhyltsov, A., Bolbot, I., Lendiel, T., Nalyvaiko, V. (2020). Phytomonitoring in the phytometrics of the plants. *E3S Web of Conferences*, 154, art. no.07012, <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407012>;
6. Lysenko, V., Bolbot, I., Lendel, T. (2019) Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. *Technical Electrodynamics*, 78-81. <http://doi.org/10.15407/techned2019.02.078>;
7. Juhi Gupta, Moni Kumari, Arti Mishra, Swati, Mohd Akram, Indu Shekhar Thakur (2022). Agro-forestry waste management- A review. *Chemosphere*, 287 (3), 132321, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132321>;
8. Dian T. Armanda, Jeroen B. Guinée, Arnold Tukker (2019). The second green revolution: Innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability – A review. *Global Food Security*, 22, 13-24, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.08.002>;

METHODOLOGICAL BASIS FOR BUILDING ENERGY EFFICIENT TERRITORIAL COMMUNITIES

S. Shvorov, N. Pasichnik, A. Oprishko, I. T. Tsyhulov, F. Glugan, T. Davidenko, V. Yakushov

Abstract. *The work is devoted to the topical issue of the energy security of the territorial community, namely, the identification of promising local resources for the widespread use of biogas reactors. The development of methodological foundations for the introduction of territorial energy complexes based on local raw materials for urbanized areas is the goal of the work. Traditional approaches to the analysis of possible raw materials are hardly acceptable for urbanized territories, therefore, a hypothesis was put forward about the expediency of its identification by indirect signs, namely, methane emissions, which were estimated from satellite monitoring data. The concentration of gases in the atmosphere was measured by continuous scanning with the TROPOMI spectrometer in the ultraviolet, visible, near and short-wave infrared spectra.*

Thanks to the use of the Google Earth Engine cloud platform for geospatial data analysis, it was possible to create a web application for displaying spatial and temporal changes in the content of greenhouse gases in the atmosphere with the ability to determine their concentration. For the first time, it was possible to identify the presence in the Kyiv region of significant seasonal methane emissions, the peak of which occurs in October. Based on the results of the experiment, which can be interpreted as indirect measurements of the amount of the above organic waste, there is a significant resource for the production on an industrial scale of specialized pellets for biogas reactors of an energy efficient community.

Key words: *biogas, territorial energy complexes, methane emissions, monitoring, satellites, pellets*