

М.В. Ваколюк

## АНАЛІЗ СТАНУ ФОТОСИНТЕЗУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ І ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗА ЗМІНИ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМАНЬ

Розглянуто можливість використання результатів вимірювань за допомогою дистанційного зондування атмосфери та поверхні Землі сенсорами Tanso-FTS (супутник GOSAT, Японія) й MODIS (супутник Terra (EOS AM-1), США) відповідно. Кількісну та якісну зміну рослинного покриву досліджено за допомогою математичних розрахунків, візуального аналізу та карти класифікації рослинного покриву. Оцінено зміну фотосинтетичної активності сільськогосподарських і лісових екосистем України (Рівненська та Житомирська області) з урахуванням природничо-кліматичних умов і типу покриву. Наведено дані щодо концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері над заданою територією.

**Ключові слова:** фотосинтетична активність, концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері, дистанційне зондування, ефект добрива від CO<sub>2</sub>.

**Вступ.** Нині, коли існує тенденція збільшення середньої температури повітря, підвищення активності Сонця, зміни складу повітря, важливою є своєчасна оцінка впливу антропогенних та абіотичних факторів на активність розвитку рослин. Дослідження потенціалу впливу фотосинтезу рослин через зміну вмісту вуглекислого газу CO<sub>2</sub> в атмосфері на зменшення парникового ефекту та кліматичних змін останнім часом набули широкого інтересу серед науковців [5]. Спеціалісти з різних сфер – від математичної статистики та прогнозування до фахівців з геоecологічної сфери – приєднуються до досліджень з цієї тематики.

У дослідженні потенціалу рослин зменшувати вміст CO<sub>2</sub> в атмосфері через абсорбцію цього газу зацікавлені й уряди країн-членів Кіотського протоколу. Адже визначення можливості рослин (рослинних покривів)-поглиначів CO<sub>2</sub>, для певної місцевості та забезпечення їх зростання є економічно привабливими, оскільки це дає змогу зменшити чи уникнути штрафних санкцій, згідно з умовами зазначеного протоколу.

Доведено, що за незначного збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері інтенсифікується процес фотосинтезу, збільшується кількість біомаси рослини, а концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері знижується [4, 11, 12, 14, 16]. У науковій літературі [11, 12] з'явився термін "ефект добрива від CO<sub>2</sub>" ("CO<sub>2</sub> fertilization effect"). Мається на увазі, що молекулі CO<sub>2</sub>, яка міститься в атмосфері, надають властивостей добрива, тобто застосовуючи певну кількість CO<sub>2</sub>, можна поліпшити умови живлення рослин, підвищити врожай та покращити його якості. Багато робіт присвячені вивченню цього ефекту [4, 6, 11, 12, 14]. Утім слід зазначити, що за суттєвого збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері біопродуктивність екосистем пригнічується [1, 3, 16].

У публікаціях [6, 16] наведено перелік робіт, які присвячені впливу різних концентрацій CO<sub>2</sub> на розвиток конкретних сільськогосподарських культур – пшениці, сої, соняшника, рису.

Дослідження лісового покриву підтверджують збільшення біомаси рослин за збільшення концентрації CO<sub>2</sub>. Так, у роботі [4] встановлено, що підвищення вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі до 0,1 % в умовах закритого ґрунту (теплиці) істотно активує продукційні процеси у сіянців сосни звичайної, модрина європейської та ялини європейської. Найбільшу ефективність від повітряного підживлення CO<sub>2</sub> рослин констатовано за 10-разового перевищення вмісту цього газу в атмосфері. Із деревних порід (сосна звичайна, модрина європейська, ялина європейська) найчутливішою до збільшення вмісту CO<sub>2</sub> є модрина європейська. Її фітомаса за 0,3 % вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі вегетативних камер збільшилась у різні роки спостереження приблизно втричі [4].

Недоліком згаданого дослідження є те, що його проводили в лабораторних умовах, коли не було створено умов, ідентичних природним.

Учені із університетів США Р. Норбі (R. Norby), П. Хенсон (P. Hanson), І. О'Ніл (E. O'Neill) та інші під час дослідження штучно збагачували повітря молекулами діоксиду вуглецю (денна усереднена концентрація CO<sub>2</sub> становила 537 мкмоль/моль протягом 3 років) пристроями, які були встановлені безпосередньо в парку з мононасадженнями амбрового дерева (*Liquidambar styraciflua*). Результати 3-річних спостережень (1998–2000) підтвердили зростання чистої первинної продуктивності (NPP) на 21 % [14].

Дослідники Державного науково-дослідного інституту інформаційної інфраструктури (м. Львів) на основі математичних розрахунків побудували

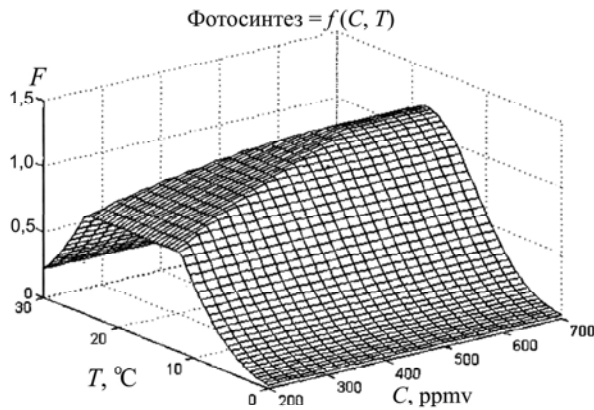


Рис. 1. Залежність інтенсивності фотосинтезу ( $F$ ) від концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері ( $C$ ) й температури ( $T$ ) [1]

модель (рис. 1), яка засвідчує зміну активності фотосинтезу з урахуванням температури повітря ( $T, ^\circ\text{C}$ ) та концентрації атмосферного  $\text{CO}_2$  ( $C, \text{ppmv}$ ) [1]. Результати вказують, що за умови відсутності лімітуючих факторів та за концентрації атмосферного  $\text{CO}_2$  понад 340 ppmv фотосинтетична активність підвищується ( $F > 1$ ), а за його меншої концентрації – пригнічується.

Проаналізуємо активність фотосинтезу, використавши дані супутникових вимірів. Застосування даних дистанційного зондування для цього дослідження є доцільним, оскільки спектральні можливості супутника дають змогу фіксувати реальний стан земного покриву під час знімання, а також визначати вміст  $\text{CO}_2$  в атмосфері, температуру та дату знімання.

**Розрахунки.** Залежність інтенсивності фотосинтезу від факторів навколишнього середовища і пори року можна обчислити, використавши принцип лімітуючих факторів Лібіха [1]. Процес фотосинтезу можна описати функцією з урахуванням потоку вуглецю з атмосфери в екосистемі. Рівні цього потоку є функцією середньомісячного рівня концентрації  $\text{CO}_2$  ( $C$ ) в атмосфері, температури ( $T$ ), опадів ( $P$ ) і залежать від часу ( $t$ ). Згідно із законом обмежувальних факторів (принципом Лібіха), функцію чотирьох чинників, які впливають на потік  $C$ , запишемо як [1]

$$f(C, T, P, t) = \min[h(\text{CO}_2), g(T)]q(P)x(t). \quad (1)$$

Функція потоку вуглецю з атмосфери в екосистему залежно від концентрації вуглекислого газу в атмосфері ( $h(\text{CO}_2)$ ) має вигляд [1]

$$h(\text{CO}_2) = 1 + Z\beta \ln\left(\frac{C}{350}\right), \quad (2)$$

де  $Z$  – коефіцієнт переходу від однієї рослини до рівня екосистеми (для території орних угідь чи території з переважанням листяних або мішаних

лісів  $Z = 0,6$ );  $\beta$  – фактор росту (для території, де переважають орні угіддя,  $\beta = 0,57$ ; для території з переважанням листяних або мішаних лісів  $\beta = 0,71$ ); число 350 – середня концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері у XX ст.

Залежність функції потоку вуглецю від температури ( $T$ ) [1]

$$g(T) = 1,2 \exp[-0,0117(T - T_{\text{опт}})^2], \quad (3)$$

де  $T_{\text{опт}}$  – оптимальна температура для фотосинтезу (для території, де переважають орні угіддя,  $T_{\text{опт}} = 20 ^\circ\text{C}$ ; для території з переважанням листяних або мішаних лісів  $T_{\text{опт}} = 17 ^\circ\text{C}$ ).

Функція залежності потоку вуглецю від величини опадів ( $P$ )<sup>1</sup> [1]

$$q(P) = 1 - \exp(-k_p P), \quad (4)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт, чутливості фотосинтезу екосистем щодо опадів ( $k_p = 0,075$ ).

Функція залежності потоку вуглецю в різні періоди року ( $t$ ) [1]

$$x(t) = 1 - [\sin(\pi t - \varphi_{\text{ph}} \cdot \pi)]^s, \quad (5)$$

де  $\varphi_{\text{ph}}$  – коефіцієнт, який показує місце на шкалі часу (для території, де переважають орні угіддя,  $\varphi_{\text{ph}} = 0,25$ ; для території з переважанням листяних або мішаних лісів  $\varphi_{\text{ph}} = 0,33$ );  $s$  – визначення кривизни (для території, де переважають орні угіддя,  $s = 4$ , для території з переважанням листяних або мішаних лісів  $s = 16$ ). Усі коефіцієнти взяті із праці [1].

**Вхідні дані.** Для розрахунків використано дані таких супутників: вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$  – японський супутник GOSAT; температури поверхні – спектрорадіометр MODIS, який є ключовим інструментом на борту супутника Terra (EOS AM-1); класифікація земельних покривів – за допомогою карти типів ґрунтово-рослинного покриву станом на 2005 р., яка підготовлена на основі супутникових даних [8].

Територія дослідження – Рівненська та Житомирська області України. Домінуючими типами рослинного покриву є орні землі, листяні чи мішані ліси. Точки дослідження вибирали виходячи з доступних і достовірних вимірів космічного супутника GOSAT. Досліджували точки, які відповідали території із лісовим покривом чи орними угіддями. Оскільки ліси, як правило, краще реагують на зміну концентрації  $\text{CO}_2$ , ніж трави, різнотрав'я, бобові культури, зернові, – у середньому від 31 до 51 % стимуляції, для аналізу було вибрано лісовий покрив [6], а також сільськогосподарські (орні) землі, оскільки вони охоплюють понад 70,9 % території України [2].

Космічний апарат GOSAT був запущений у 2008 р., тому часовими межами дослідження взя-

<sup>1</sup> Прийнято, що опади не є обмежувальним фактором, тому  $q(P) = 0,95$  для всіх типів екосистем.

то вегетаційні періоди 2009 й 2010 рр. Були встановлені дати вибору показників за даними вимірів супутника GOSAT.

Концентрацію діоксиду вуглецю виражено стовпцевою кількістю газу, як кількість молекул газу в стовпці над одиницею поверхні. Супутник GOSAT здійснює один оберт приблизно за 100 хв, він повертається на одну й ту саму точку простору за 3 доби [9].

Інструментом спостереження на борту супутника є тепловий та ближній інфрачервоний датчик для спостережень за вуглецем – Tanso. Tanso складається з двох субодиноць: спектрометра перетворень Фур'є (FTS) та індикатора хмар і аерозолів (CAI). Протягом 3 діб FTS приймає 56 тис. вимірів, що охоплюють всю земну кулю. Оскільки аналіз обмежений ділянками при ясному небі, цій умові відповідає лише від 2 до 5 % зібраних даних. Проте кількість точкових даних значно перевищує поточну кількість наземних станцій спостереження за концентрацією CO<sub>2</sub> в атмосфері, яких менше 200 [9].

Місією сенсора GOSAT є спостереження за концентрацією CO<sub>2</sub> з 1 % (4 ppmv), усередненою за 3 міс відносною точністю протягом 2008–2012 рр., і скорочення похибок удвічі при визначенні джерел і поглиначів парникових газів на континентальному масштабі з використанням даних, отриманих супутником GOSAT, у поєднанні з даними, зібраними за допомогою польових інструментів і станцій [7, 10].

Для розрахунків використовували дані 2-го рівня GOSAT продукту, версії 00.50, 00.80, 00.90, 01.10, 01.20, 01.30, та лише ті дані, які були відібрані за безмарних умов і відповідали основним факторам відбору даних – якості сигналу, шорсткості поверхні Землі.

За даними [17], повторюваність (збіжність) наземних вимірювань в FTS xCO<sub>2</sub> за умов ясного неба та частково затуманеного становить приблизно 0,1 та 0,2 % відповідно. Через калібрування приладів на місці бортових даних вимірювань невизначеність xCO<sub>2</sub>, пов'язана із наземними вимірюваннями FTS, дорівнювала 0,8 ppm, отриманих з бортових даних спостережень ~1ppm. Невизначеність, пов'язана з бортовими вимірюваннями CO<sub>2</sub>, становила 0,2 ppm [17].

Показники температури поверхні були взяті з продуктів MODIS супутника Terra (EOS AM-1), США. Температура поверхні суходолу (LST) є усередненою за даними 8 діб і складається із щоденних однокілометрових продуктів LST MODIS MOD11A2, що зберігаються на 1-км синусоїдальній сітці. Terra MODIS сканує всю поверхню Землі кожні 1–2 доби [18]. Ми використали дані колекції 5, виміри для якої розпочалися в середині 2007 р. За [18], вони є найточнішою версією продукту MODIS.

MODIS MOD11 колекція 5 (C5) продукту була верифікована серією польових робіт, проведених у 2000–2007 рр. Точність становила 1 K (здебільшого 0,5 K) [13].

Типи земного покриву визначені на основі карти глобальних покривів – Global Land Cover, що доступна з порталу Європейського космічного агентства [8]. Глобальна карта покривів Землі є глобальною картою рослинного покриву, виготовленою за період грудень 2004 р. – червень 2006 р.

**Результати та їх обговорення.** За функціями (1)–(5) розраховано величину фотосинтетичної активності для кожної точки за різні часові проміжки (рис. 2–5). Зелена лінія – усереднена стовпцева концентрація CO<sub>2</sub>, у конкретний час виміряна супутником GOSAT для 2009 р., чер-

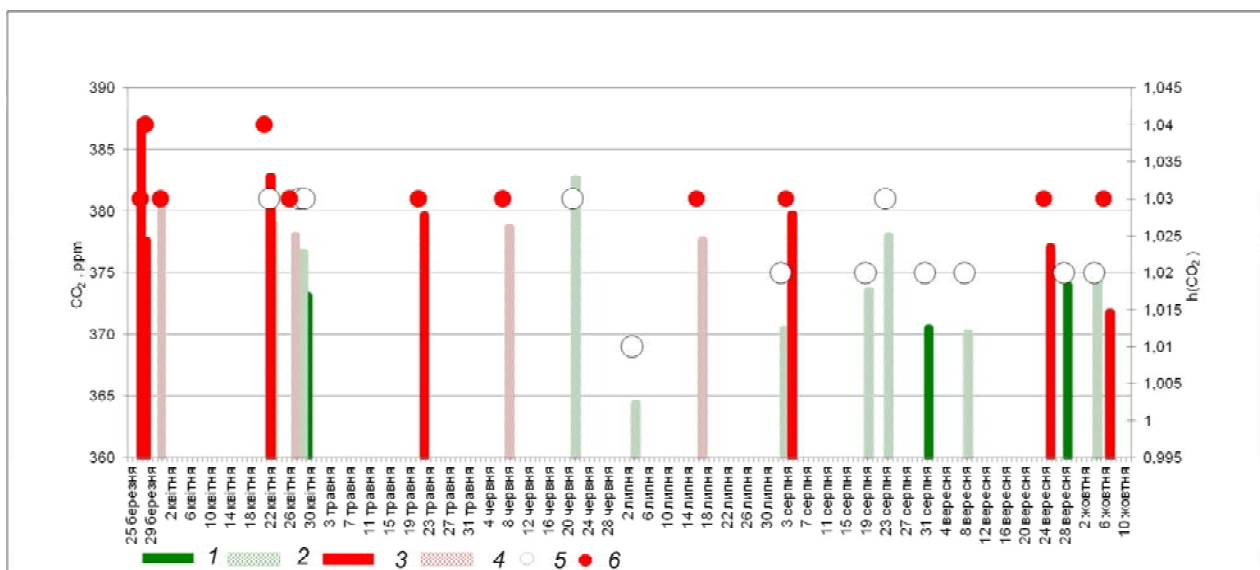


Рис. 2. Залежність фотосинтетичної активності ( $h(\text{CO}_2)$ ) від концентрації вуглекислого газу в атмосфері за 2009 та 2010 рр. Концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері: 1 – 2009 р., для широколистяних з/без хвойними лісами, 2 – 2009 р., для орних угідь, 3 – 2010 р., для широколистяних з/без хвойними лісами, 4 – 2010 р., для орних угідь; фотосинтетична активність залежно від концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері: 5 – для 2009 р., 6 – для 2010 р.

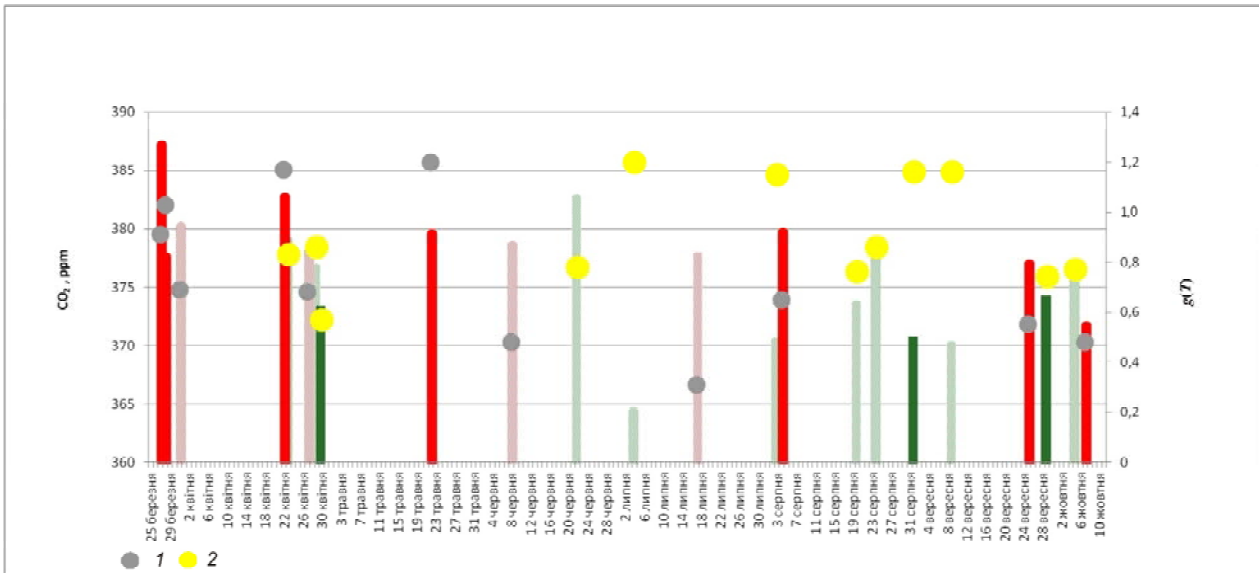


Рис. 3. Залежність фотосинтетичної активності ( $g(T)$ ) від температури за 2009 та 2010 рр.: 1 – фотосинтетична активність залежно від температури для 2009 р.; 2 – для 2010 р. Решту позначень див. на рис. 2

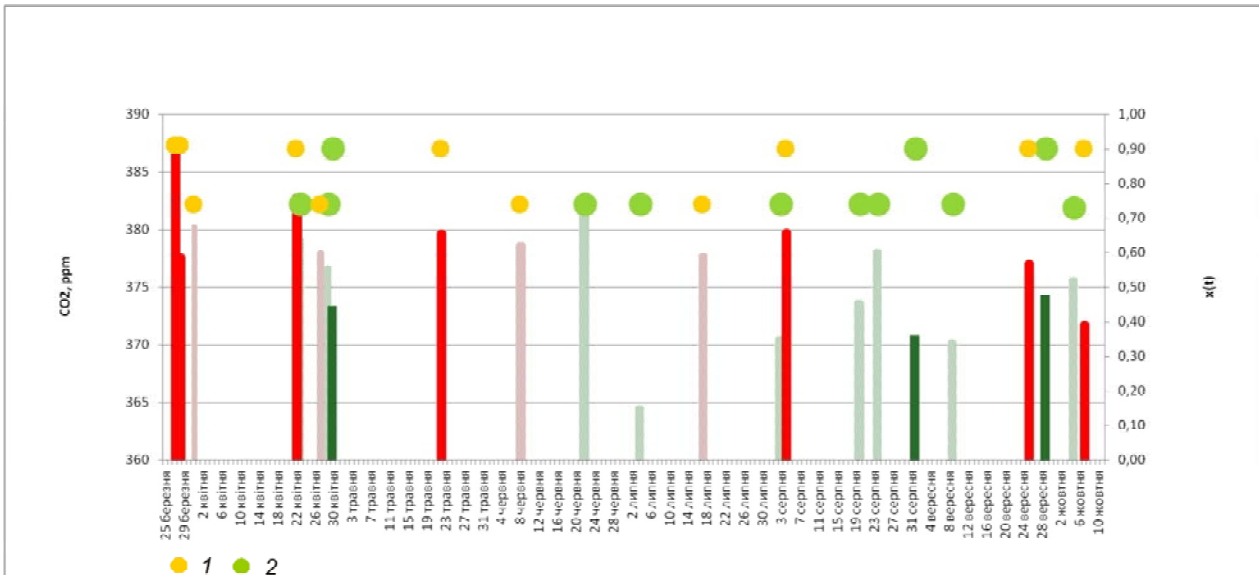


Рис. 4. Залежність фотосинтетичної активності ( $x(t)$ ) від вегетаційного періоду за 2009 та 2010 рр.: 1 – фотосинтетична активність ( $x$ ) залежно від вегетаційного періоду для 2009 р.; 2 – для 2010 р. Решту позначень див. на рис. 2

вона лінія – те саме для 2010 р.; суцільна лінія – тип покриву, що відповідає листяним та/або мішаним лісам, штрихові лінії – орні угіддя. Точка – обчислений рівень фотосинтезу для 2009 р. (над зеленим стовбцем) та 2010 р. (над червоним стовбцем). Функція залежності потоку вуглецю з атмосфери в рослину від концентрації  $CO_2$  в атмосфері виражена як  $h(CO_2)$ , від температури –  $g(T)$ , від часу –  $x(t)$ , від опадів –  $q(P)$ . Загальний фотосинтез визначено через функцію  $f(h, g, q, x)$ .

На рис. 2 видно, що фотосинтез загалом вищий за умов, коли концентрація  $CO_2$  в атмосфері вища за 377 ppm. Це особливо простежується в точці за 27 березня 2010 р. для лісового типу покриву. Фотосинтез навесні і концентрація  $CO_2$  у цілому є вищими за інші пори року. Наприкінці літа і в осінню пору концентрація нижча, а фотосинтез бідніший, особливо для орних угідь. Це

можна пояснити тим, що рослинами було поглинуто достатньо  $CO_2$  на початку вегетаційного періоду і восени вони ним насичені.

З рис. 3 видно, як змінюється фотосинтез зі зміною температури та за умови, що інші фактори не є обмежувальними. Фотосинтетична активність вища на початку вегетаційного періоду для цих двох видів рослинного покриву. Втім для покриву з переважанням лісових екосистем простежується інтенсивніший фотосинтез. Можна припустити, що температура у цей період часу була сприятливішою для територій з переважанням лісового покриву. Влітку температура була вищою і несприятливою для фотосинтезу (фотосинтез нижчий за одиницю), що призвело (особливо для літа 2010 р.) до зниження цього показника. Можна припустити, що в цей час біомаса зупинилася у своєму рості, або ж вона пригнічувалася.

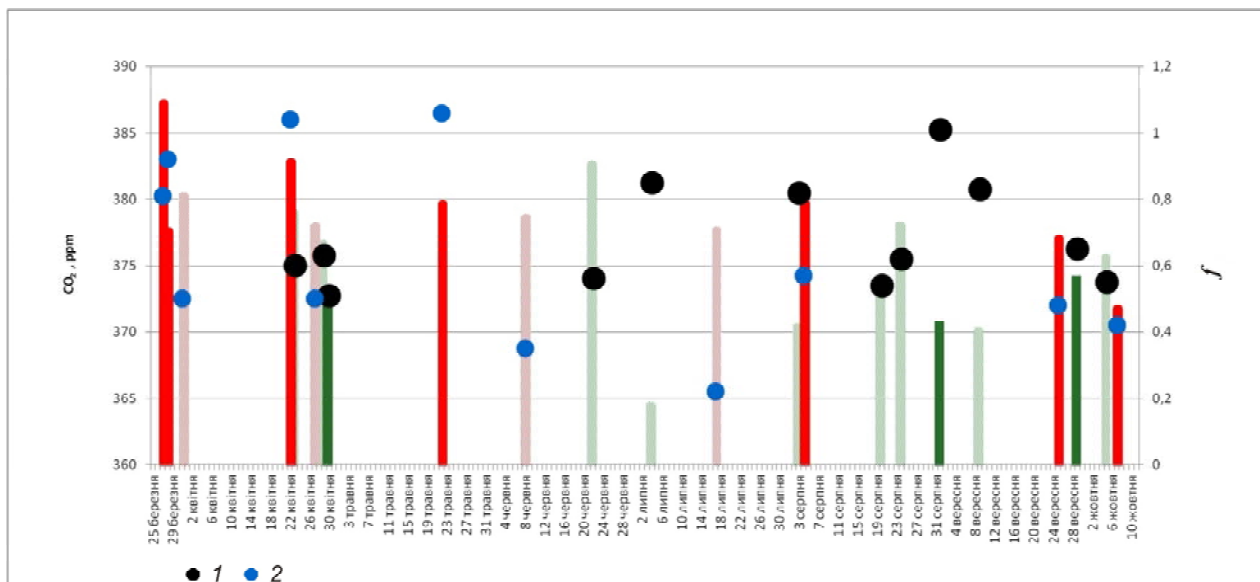


Рис. 5. Фотосинтетична активність ( $f$ ), яка залежить від концентрації вуглекислого газу в атмосфері, температури, часу та кількості опадів за 2009 та 2010 рр.: 1 – фотосинтетична активність ( $f$ ) для 2009 р.; 2 – для 2010 р. Решту позначень див. на рис. 2

На рис. 4 відображено величину фотосинтетичної активності для різного періоду часу ( $t$ ) в умовах, коли інші фактори не є обмежувальними (стресовими) для екосистем. В усіх точках фотосинтез, вищий за 0,7, вказує загалом на природний розвиток рослин.

З рис. 5 видно, що загальна ситуація дуже різна для кожної точки в різні періоди часу.

Якщо простежити увесь вегетаційний період для двох типів земного покриття, то видно, що весною фотосинтез зростає з 0,5 до 1 та більше. Концентрація ж навесні 2010 р. зменшується з близько 387 ppm (особливо над лісовим покриттям) до 370 ppm восени. Зазначимо, що для літнього періоду за 2 роки не простежується виразна ситуація. Слід залучати більшу кількість точок для детальнішого аналізу ситуації.

На початку вегетаційного сезону фотосинтетична активність над орними землями зростає, в середині сезону істотно не змінюється, але наприкінці сезону зменшується.

Зауважимо, що ми не проводили детальну класифікацію ґрунтово-рослинного покриття на типи сільськогосподарських культур та порід лісу. Всі точки були поділені на два класи з домінуючим сільськогосподарським типом рослинного покриття чи лісового. Детальніша класифікація ґрунтово-рослинного покриття дасть змогу точніше вибрати індекси ( $\varphi_{ph}$ ,  $\beta$ ,  $Z$ ,  $T$ ) для розрахунків (1)–(3), (5), щоб визначити величину фотосинтезу для конкретної сільськогосподарської культури чи лісового покриття. Це, в свою чергу, дасть можливість визначити, які культури є більшими поглиначами  $CO_2$ , та чи проявляється ефект добрива від  $CO_2$ .

**Висновки.** На цей час за швидкої зміни клімату (температури, кількості опадів, швидкості вітру та ін.), збільшення екстремальних умов (підтоплень, пожеж та ін.) людство має вчасно реагувати на

зміну параметрів навколишнього середовища та вносити корективи з метою мінімізації негативних наслідків. Реакцію рослинності на величину концентрації  $CO_2$  досліджено багатьма методами: математичними [1]; лабораторними [4, 6]; із штучним підвищенням концентрації  $CO_2$  в атмосфері в природних умовах [14] та без штучного підвищення [15]. Проведено аналіз реакції фотосинтезу на збільшення концентрації  $CO_2$  [6, 16]. Для досліджень реакції рослин на збільшення вмісту  $CO_2$  повністю або частково використовують дані супутникових знімків [11, 12].

Ми показали, що дані супутникових знімків можуть бути використані для аналізу стану фотосинтезу та зовнішніх факторів. За результатами розрахунків, величина фотосинтезу найбільш залежить від температури та концентрації  $CO_2$  в атмосфері. Встановлено, що величина фотосинтезу перевищувала одиницю за впливу концентрації  $CO_2$ . Це дає змогу припускати існування “ефекту добрива від  $CO_2$ ” та можливість його досліджувати за допомогою даних супутникових знімків. Якщо порівняти отримані результати (рис. 2–5) із математичними розрахунками (рис. 1), то можна побачити наскільки результати є різними.

Проведено класифікацію лісів на мішані та листяні, але не враховано вид і вік деревних порід. Детальніша класифікація рослинного покриття та умов зростання забезпечить точніші результати. Подальші дослідження слід розширити й додати доступні дані за 2011 та 2012 рр., а також використати дані для всієї території України з урахуванням географічно-кліматичних особливостей країни. Результати дослідження можуть бути застосовані для вирішення різних завдань: оптимізації стратегій природокористування та забезпечення сталого розвитку, зокрема для вирішення питань екології та продовольчої безпеки в умовах кліматичних змін, та ін.

1. Бунь Р.А. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р.А. Бунь, М.І. Густі, В.С. Дачук та ін. – Львів: Укр. академія друкарства, 2004. – 376 с.
2. Державне агентство земельних ресурсів України [Електронний ресурс]: Земельний фонд України станом на 01.01.2011. Статистичні дані. – 2012. – С. 1. – Режим доступу [http://www.dazru.gov.ua/terra/control/uk/publish/article?sessionId=0298EF3AE5F199ED7A119CC9D4715921?art\\_id=121570&cat\\_id=97786](http://www.dazru.gov.ua/terra/control/uk/publish/article?sessionId=0298EF3AE5F199ED7A119CC9D4715921?art_id=121570&cat_id=97786)
3. Лялько В.І. Оцінка впливу природно-антропогенних змін потоків CO<sub>2</sub> у системі рослинність–атмосфера на формування парникового ефекту Землі / В.І. Лялько // Доп. НАН України – 2007. – № 4. – С.130–137.
4. Павлюк В.В. Вуглецеве підживлення сіянців хвойних порід у контексті глобального потепління / В.В. Павлюк // Наук. вісн. НЛТУ України. – 2009. – Вип.19.15. – С. 102–107.
5. Изменения земных систем в Восточной Европе / Отв. ред. В.И. Лялько. – Киев, 2010. – 582 с.
6. Ainsworth E.A. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub> / E.A. Ainsworth, S.P. Long // New phytologist. – 2005. – Vol. 165, iss. 2. – P. 351–372.
7. Chevallier F. On the accuracy of the CO<sub>2</sub> surface fluxes to be estimated from the GOSAT observations / F. Chevallier, Sh. Maksyutov, Ph. Bousquet et al. // Geophys. res. lett. – 2009. – Vol. 36. – P. 5
8. Global Land Cover [Електрон. ресурс] // Портал Європ. кос. Агентства. – Режим доступу <http://ionial.esrin.esa.int>
9. GOSAT instruments and observational methods. Greenhouse gas and observing satellite. “Ibuki”. NIES, MOE, JAXA [Електрон. ресурс]: – 2010. – С. 8. Режим доступу: <http://www.gosat.nies.go.jp/eng/gosat/page2.htm>
10. Hamazaki T. Sensor system for Greenhouse Gas Observing Satellite (GOSAT) / T. Hamazaki, A. Kuze, K. Kondo, // Proceed. of SPIE's 49th Ann. Meet. “Optical Science and Technology, Infrared Spaceborne Remote Sensing”. – Ed. M. Strojnik. – Denver CO, USA, 2004. – Vol. 5543. – Режим доступу [http://spiedigitallibrary.org/proceedings/resource/2/psidsg/5543/1/275\\_1?isAuthorized=no](http://spiedigitallibrary.org/proceedings/resource/2/psidsg/5543/1/275_1?isAuthorized=no)
11. Kaufmann R.K. The power of monitoring stations and a CO<sub>2</sub> fertilization effect: Evidence from Causal Relationship between NDVI and Carbon Dioxide / R.K. Kaufmann, L.F. Paletta, H.Q. Tian, R.B. Myneni, R.D. D'Arrigo // Earth Interactions. – 2008. – Vol. 12, pap. № 9. – P. 23.
12. Lim C. Correlation between atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and vegetation greenness in North America: CO<sub>2</sub> fertilization effect / C. Lim, M. Kafatos, P. Megonigal // Climate Research. – 2004. – Vol. 28. – P. 11–22.
13. MODIS Land team validation. Status for: Land Surface Temperature and Emissivity (MOD11) [Електрон. ресурс]. – MODIS Land Team Validation, 2009. – P. 1. – Режим доступу – <http://landval.gsfc.nasa.gov/ProductStatus.php?ProductID=MOD11>
14. Norby R.J. Net primary productivity of a CO<sub>2</sub>-enriched deciduous forest and implications for carbon storage / R.J. Norby, Hanson P.J., O'Neill E.G. et al. // Ecol. Applications. – 2002. – Vol. 12 (5). – P. 1261–1266.
15. Phillips O.L. The changing Amazon forest. Philosophical transactions of the Royal Society / O.L. Phillips, S.L. Lewis, T.R. Baker et al // Biol. Sciences. – 2008. – № 363. – P. 1819–1827.
16. Sakai H., Yagi, K., Kobayashi K., Kawashima S. Rice carbon balance under elevated CO<sub>2</sub> // New Phytologist. – Vol.150, № 2. – P. 241–249.
17. Summary of the GOSAT Level 2 Data Product Validation Activity [Електронний ресурс]: August 24, 2010, NIES GOSAT Project: Режим доступу <https://data.gosat.nies.go.jp/productpubinfo/productpubinfo/ProductPubInfoPage/open.do>
18. Zhao M. MODIS-Derived Terrestrial Primary Production Land Remote Sensing and Global Environmental Change / M. Zhao, S.W. Running, F.A. Heinsch, R.R. Nemani. Ed. B. Ramachandran. – Springer Science+Business Media LLC, 2011. – P. 635–660.

Державна установа “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, Київ, Україна

Надійшла до редакції 18.05.2012 р.

М.В. Ваколюк

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ФОТОСИНТЕЗА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Рассмотрена возможность использования результатов измерений с помощью дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли сенсорами Tanso-FTS (спутник GOSAT, Япония) и MODIS (спутник Terra (EOS AM-1), США) соответственно. Количественное и качественное изменение растительного покрова изучалось с помощью математических расчетов, визуального анализа и карты классификации растительного покрова. Дана оценка изменения фотосинтетической активности сельскохозяйственных и лесных экосистем Украины (Ровенская и Житомирская области) с учетом природно-климатических условий и типа покрова. Исследовано изменение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере над заданной территорией.

**Ключевые слова:** фотосинтетическая активность, концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере, дистанционное зондирование, эффект удобрений от CO<sub>2</sub>.

**ANALYSIS OF THE PHOTOSYNTHESIS OF AGRICULTURAL AND FOREST ECOSYSTEMS BY CHANGING EXTERNAL FACTORS BASED ON THE SATELLITE DATA**

A main focus in this paper is made on possibility of using results of the remote sensing of the atmosphere and the Earth surface by Tanso-FTS sensor (GOSAT satellite, Japan) and MODIS sensor (Terra satellite (EOS AM-1)) accordingly. Qualitative and quantitative changes of the plant cover were analyzed by the use of mathematic calculation, visual analysis and plant cover classification map. Analyzed in the article are photosynthesis changes of the agricultural and forest ecosystems of Ukraine (Rivne and Zhytomyr regions) by taking into consideration naturally and climate conditions and plant cover types. Special accent was given to the analysis of CO<sub>2</sub> concentration changes on the territory of research.

**Keywords:** photosynthetic activity, concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, remote sensing, CO<sub>2</sub> fertilization effect.