



Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі  
ІГН НАН України

# Космічний аудит балансу парникових газів

**Лялько В.І.**

Київ – 2010



**Міжнародна конференція ООН зі змін клімату, яка завершилась в грудні 2009 року у Копенгагені, підтвердила для всіх країн необхідність скорочення викидів парникових газів і продовження впровадження заходів згідно вимог Кіотського протоколу по адаптації суспільства до кліматичних змін.**



**У зв'язку з цим та враховуючи необхідність виконання в Україні плану заходів в цьому напрямі доцільно провести міжнародні дослідження в рамках відповідного проекту, використовуючи існуючий досвід наших наробок в цьому плані.**

**Метою цих робіт є створення системи глобального та регіонального космічного аудиторського моніторингу балансу парникових газів для надійного обґрунтування та уточнення їх квот для різних країн та оцінки потенціальних можливостей продажу квот, зокрема Україною.**



**Для цього слід обґрунтувати роль майбутніх українських супутників з відповідними сенсорами та системи калібрувальних завіркових полігонів.**

**Інформація про роботи, виконані в ЦАКДЗ ІГН НАН України в цьому напрямі, відображена на наступних слайдах.**



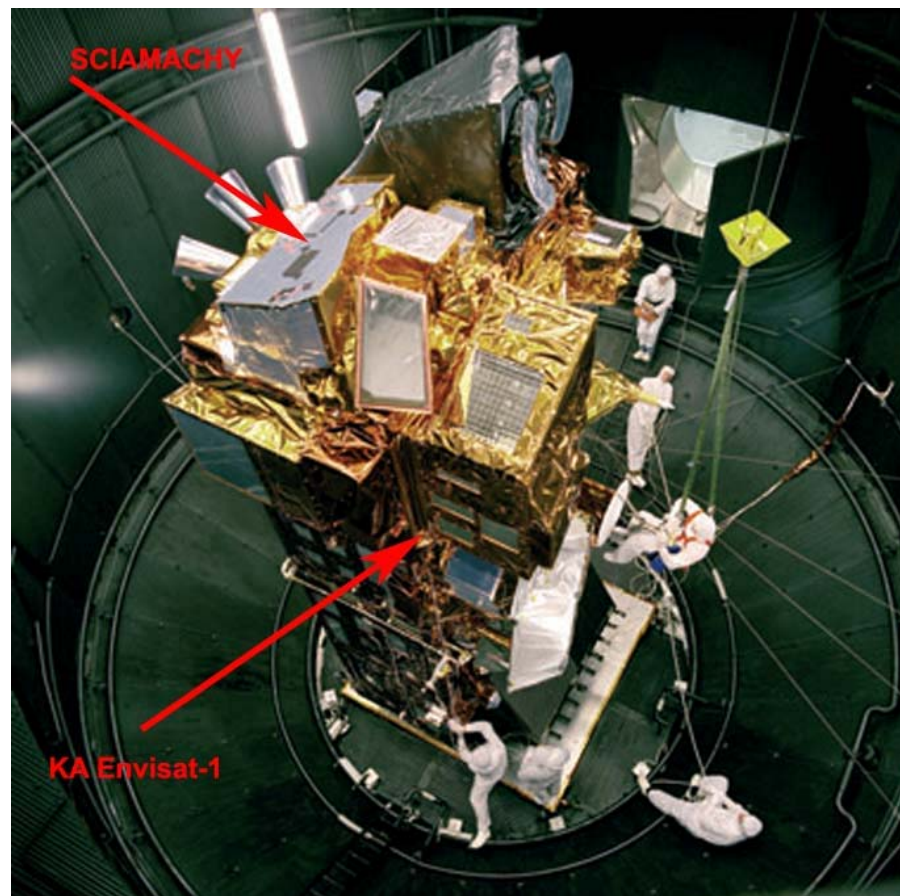
# Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України

## Космические аппараты с сенсорами для определения содержания парниковых газов в атмосфере

Космический аппарат	Запуск			Параметры орбиты					Спектрометр								
	Страна	Компания	Дата	Высота, км	Наклонение	Период, мин	Повтор трассы, сут	Частота съемки, сут	Тип орбиты	Масса, кг	Габариты, см	Потребляемая мощность, Вт	Поле зрения, км	Спектральный канал, нм (спектральное разрешение, нм)	Ширина полосы обзора, км	Перекрытие площадкой съемки трех КА	Наличие результатов современных съемок в Интернете
Ibuki / GOSAT	Япония	JAXA, MOE (Japan), NIES (Japan)	23.01.09 г.	666	98.05°	98.2	29.3	~ 3	Солнечно-синхронная, квазипериодическая	T A N S O – F T S (ABB Bomem Remote Sensing Group of Quebec City, Canada)							
										250	120×110×70	310	10.5	4 кан. 0.758 - 0.775, 1.56 - 1.72, 1.92 - 2.08, 5.56 - 14.3; (0.2 см <sup>-1</sup> )	790	Глобальное	Есть
Aqua	США (NASA)	NASA, TRW Inc., Goddard Space Flight Center, BAE Systems-Lockheed-Martin), Jet Propulsion Laboratory	04.05.02 г.	705.3	98.2°	98.8	32	~ 3	Солнечно-синхронная, околополярная, восходящая	A I R S							
										177	116.5×158.7×95.3	220	2.3 для Вид./БИК; 13.5 для ИК	2382 (4 Вид./БИК; 2378 ИК) 0.4 - 15.4 (0.4 - 1.1 Вид./БИК; 3.74 - 15.4 ИК)	1690	Глобальное	Есть
Envisat - 1	ЕвроСоюз	ESA	01.03.02 г.	799.8	98.55°	100.59	35	~ 3	Солнечно-синхронная, околополярная	S C I A M A C H Y (ФРГ)							
										215	Оптич. 109×65×101 Электрон. 82×90×28 Охлажд. 51×91×62	140	15	UV-SWIR: 240-314, 309-3405, 394-620, 604-805, 785-1050, 1000-1750, 1940-2040, 2265-2380	480	Глобальное	Есть



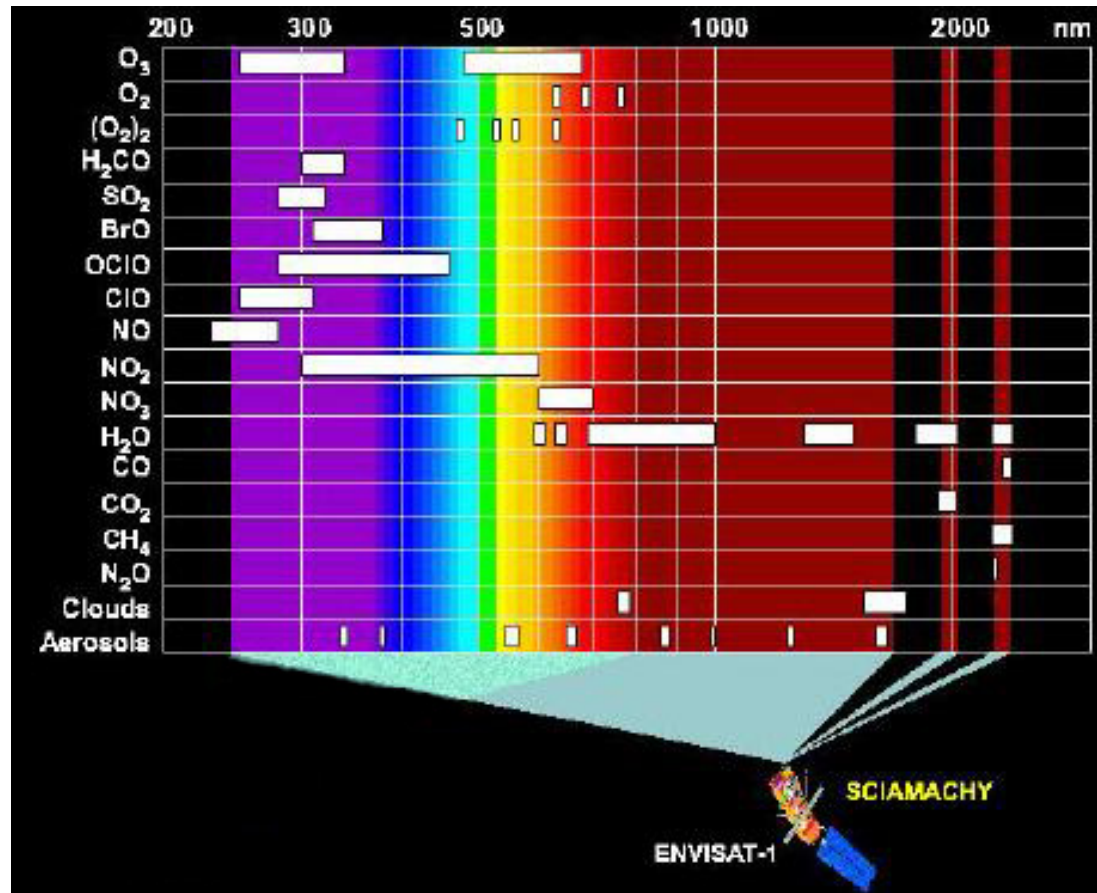
## КА Envisat-1, сенсор SCIAMACHY







## Спектральна розрізненність по каналам сенсора SCIAMACHY КА Envisat-1

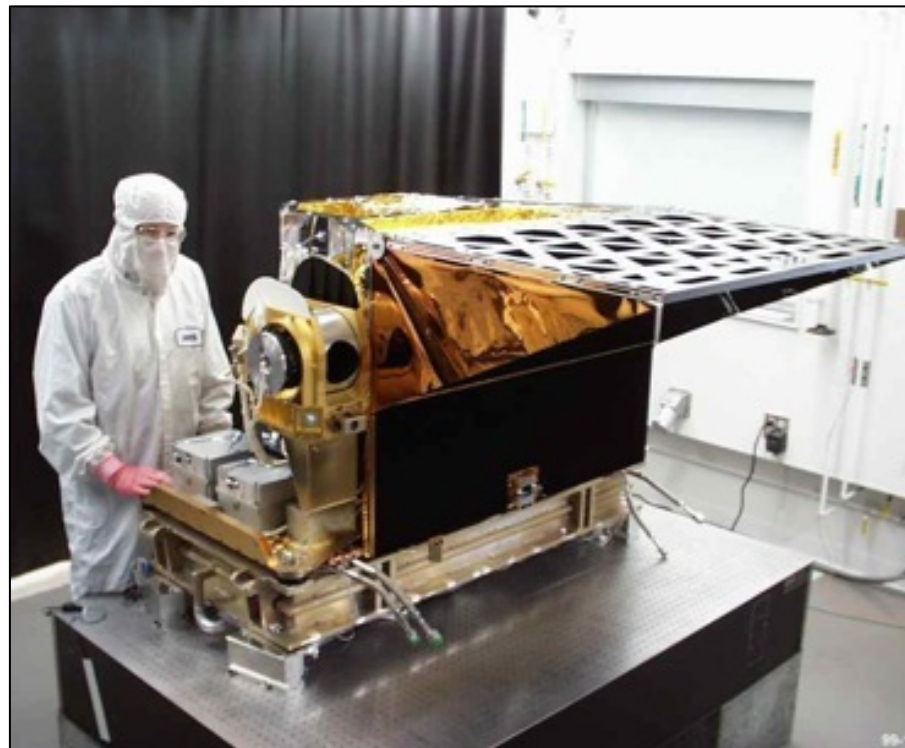


Точність вимірів парникових газів

$$\Delta\text{CO}_2 \approx \pm 1 \text{ ppmV} = 10^{-6} \text{ (часток / V)}$$
$$\Delta\text{CH}_4 \approx \pm 1 \text{ ppbV} = 10^{-9} \text{ (часток / V)}$$



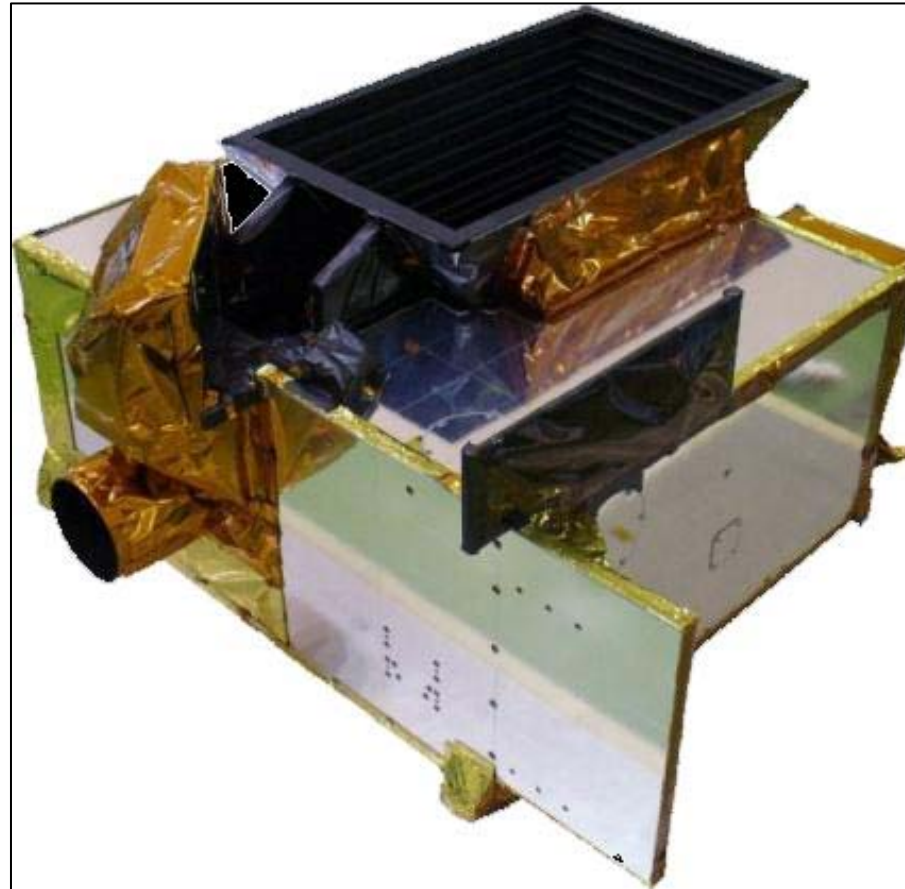
## КА Aqua, сенсор AIRS





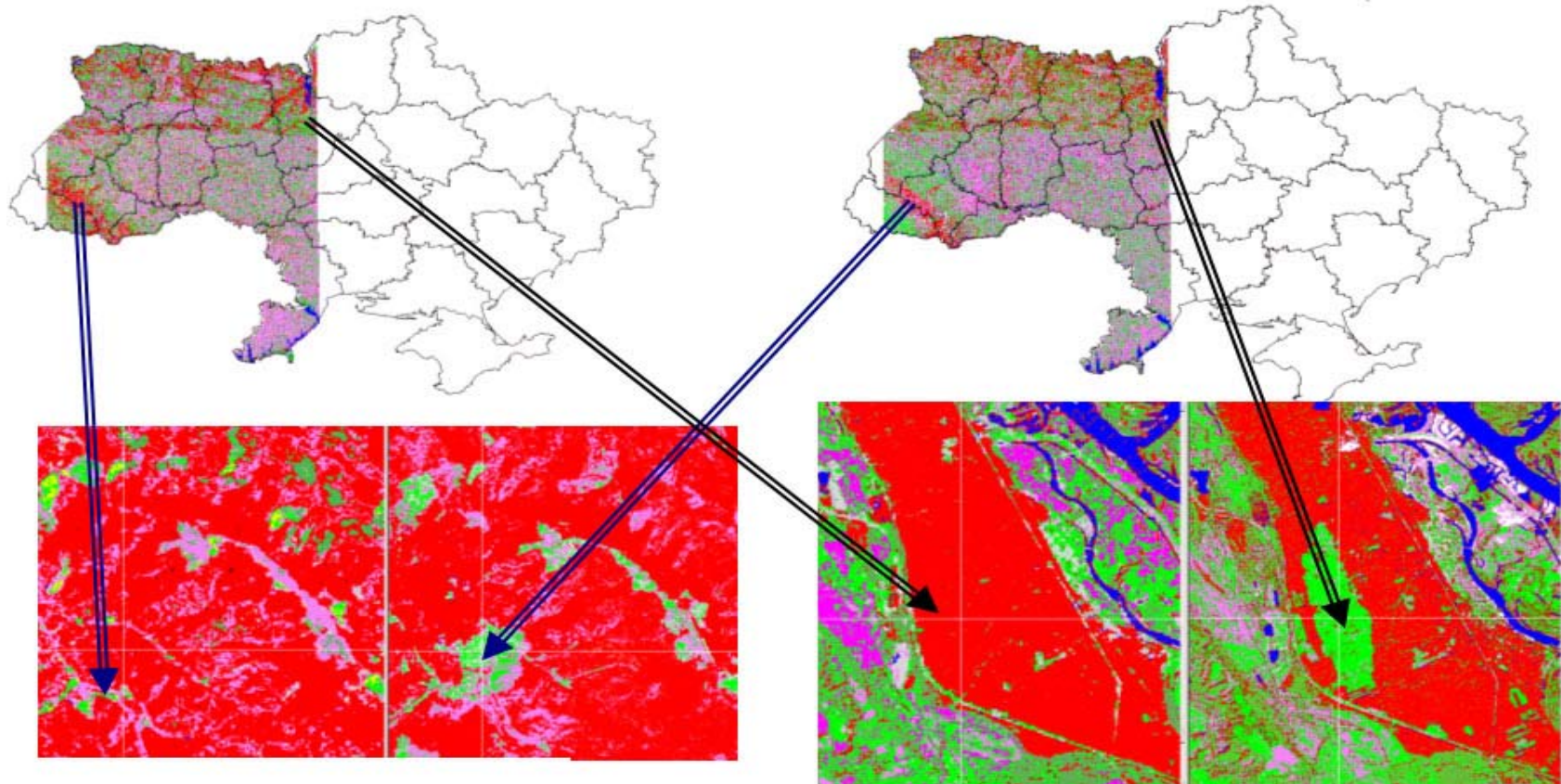


## КА Ibusi / GOSAT, сенсор TANSO-FTS





Приклад зміни видів рослинного покриву в Поліському та Карпатському регіонах за знімками Landsat TM (1990) (А) та Landsat ETM+ (2000) (В)



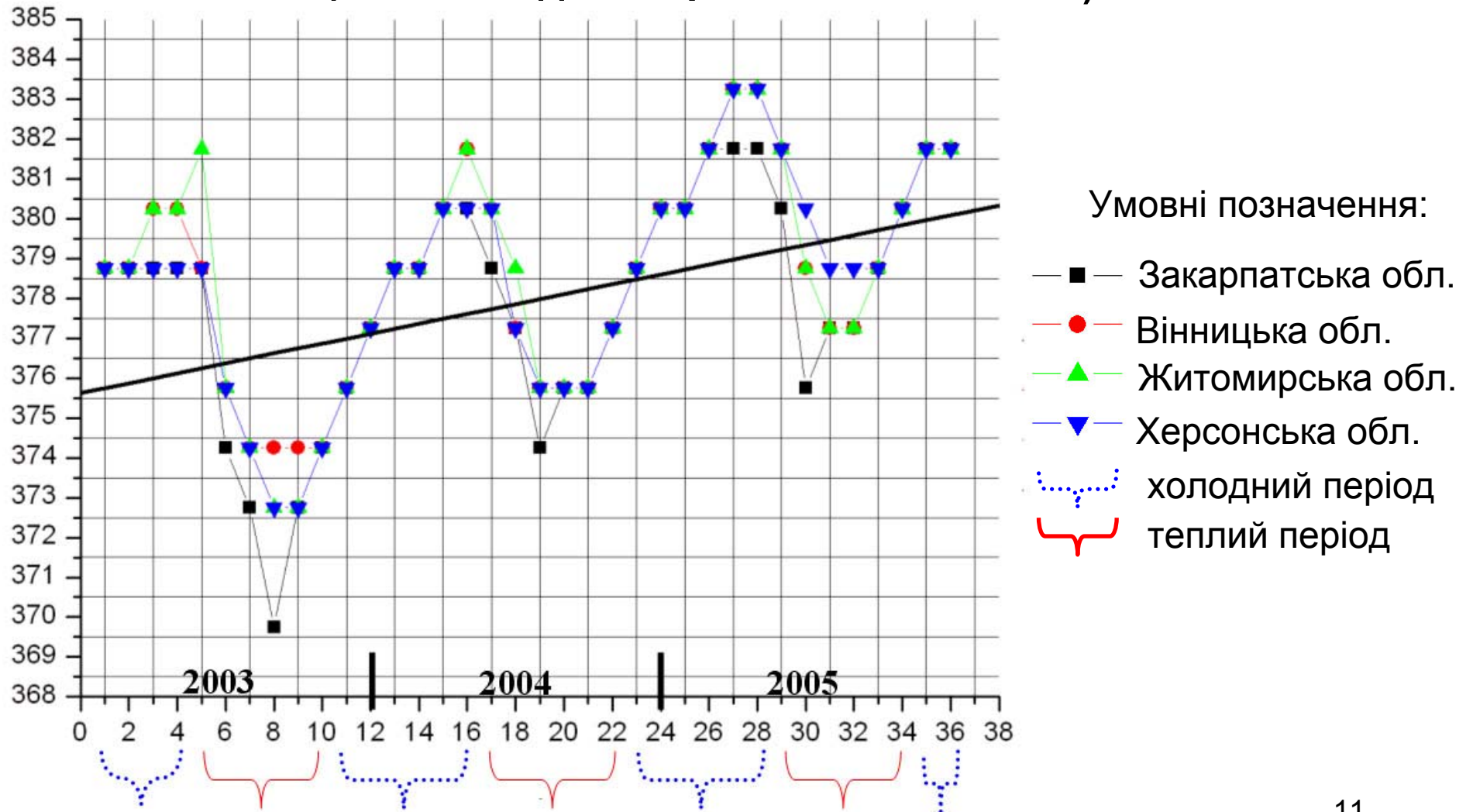
Умовні позначення:

- |                |                   |         |
|----------------|-------------------|---------|
| - хвойні ліси  | - агрозони        | - вода  |
| - листяні ліси | - населені пункти | - хмари |
| - трава        | - болота          |         |



## Зміна вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері з 2003 по 2005 роки

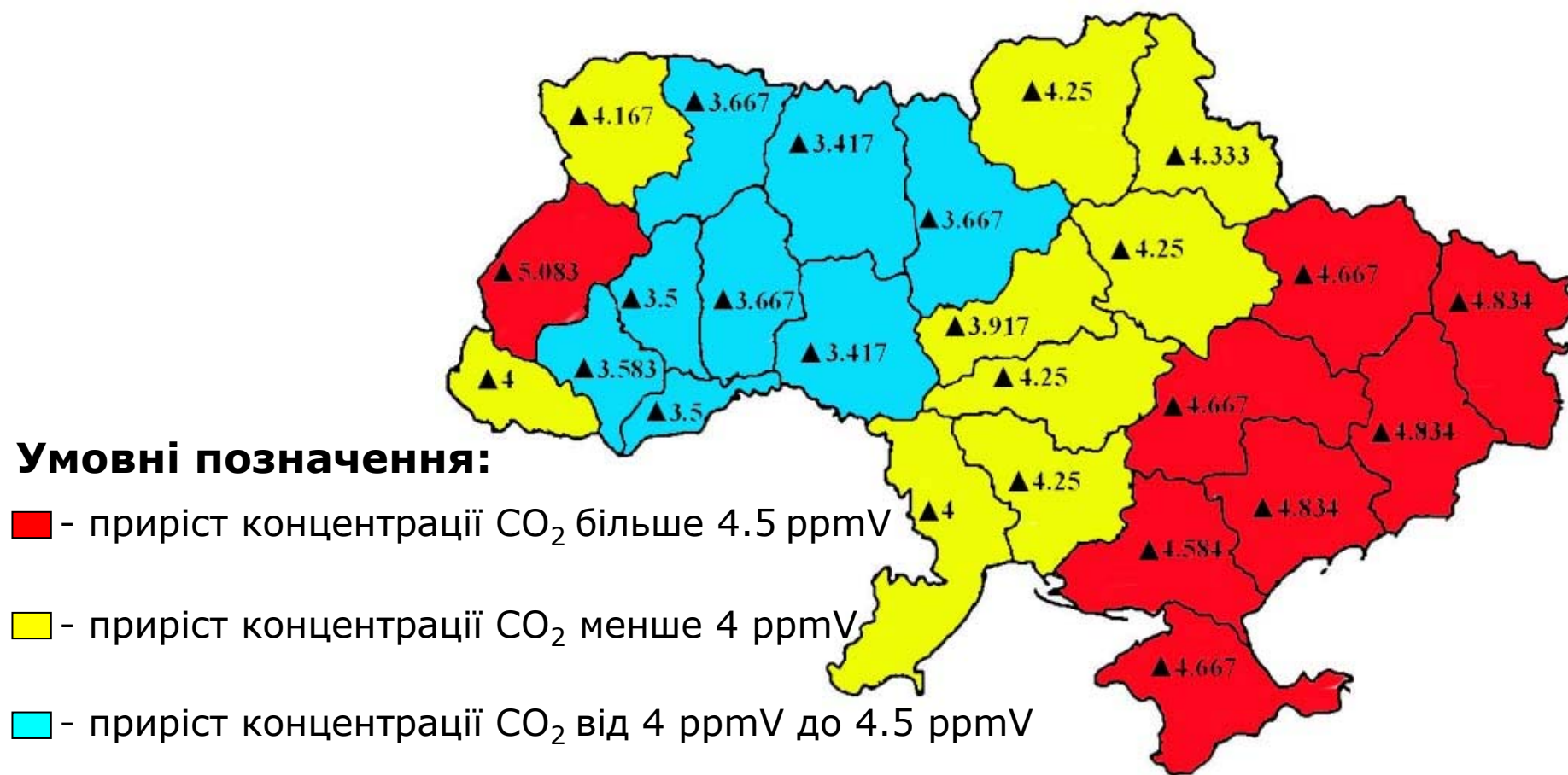
(в межах адміністративних областей)







## Зростання середньорічної концентрації CO<sub>2</sub>, (ppmV) в період з 2003 по 2005 роки





**Оцінка сумарного підвищення середньорічної температури повітря над Україною до 2030 р., обумовленого змінами вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері. (за матеріалами вимірів CO<sub>2</sub> приладом SCIAMACHY з КА ENVISAT на протязі 2003-2005 р.)**

$$\Delta T(t) = -0,1 + 3 \ln \frac{C(t)}{C(t_0)}$$

де  $t$  – час, роки;  $C_0$  – початкова концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері (375 ppmv) на момент часу  $t_0$  (2003 рік);  $C(t)$  – прогнозована концентрація CO<sub>2</sub> (420 ppmv) на момент часу  $t$  (2030 рік).

Орієнтовний прогноз підвищення температури з 2003р. до 2030р. може становити:

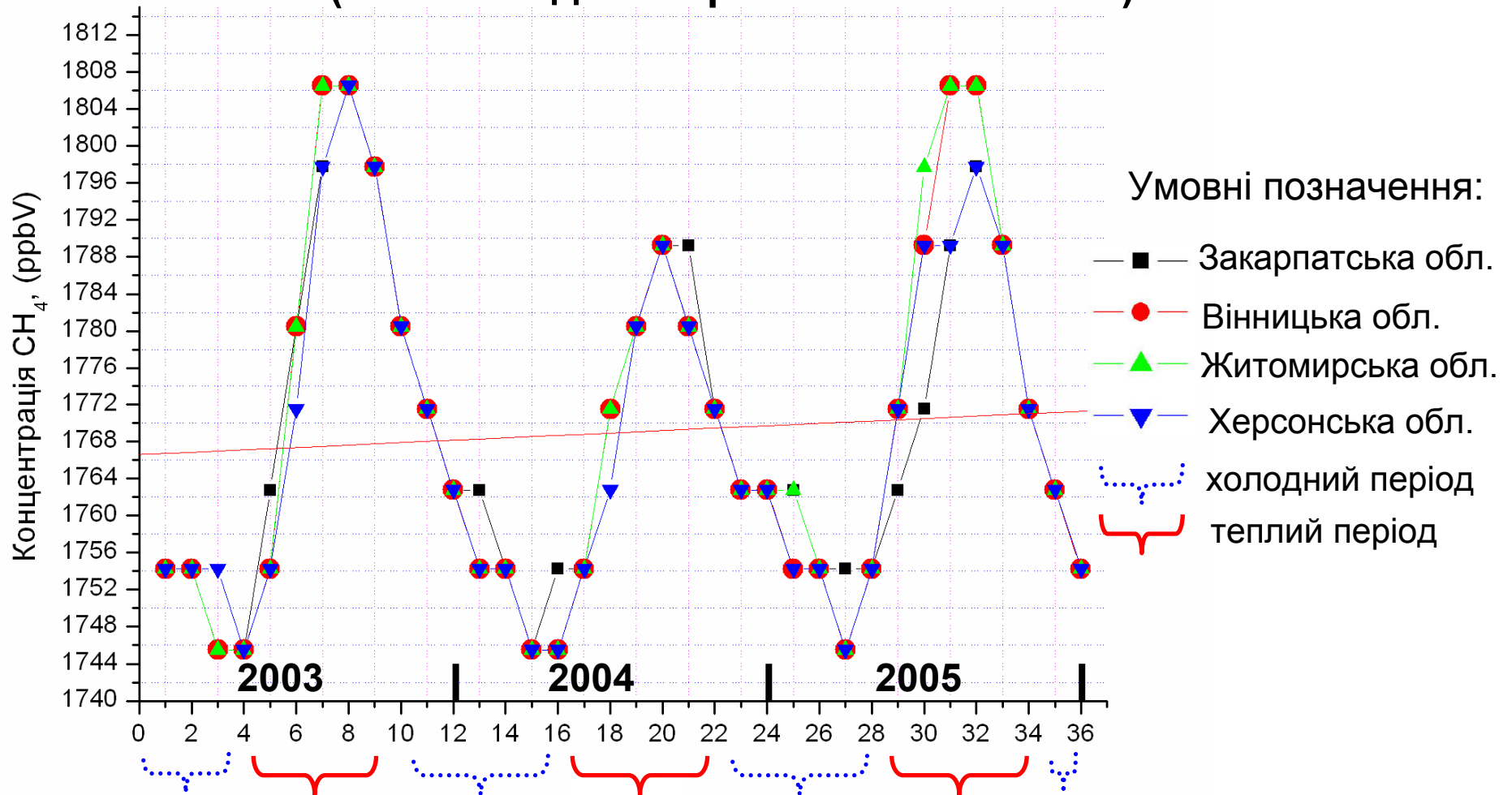
$$\Delta T(t_{2030}) = -0,1 + 3 \ln \frac{420 \text{ ppmv}}{375 \text{ ppmv}} = -0,1 + 0,3 \approx 0,2^\circ \text{C}$$

де  $C(t_{2003}) = 375 \text{ ppm}$ ;  $C(t_{2030}) = 420 \text{ ppm}$ .

Одержаний прогнозний результат підвищення регіональної температури повітря над територією України в 2030 році у розмірі близько 0,2 °С, менше від прогнозованого підвищення температури, на цей період, українськими гідрометеорологами (1,0 – 1,5 °С). Це може бути пояснено тим, що в наших розрахунках приймався до уваги лише вміст CO<sub>2</sub> в атмосфері і не враховувався вплив змін вмісту інших «парникових» газів, альbedo та аерозолів в атмосфері на зміни температури повітря.



### Зміна вмісту $\text{CH}_4$ в атмосфері з 2003 по 2005 роки, в типових ландшафтно-кліматичних зонах України (в межах адміністративних областей)







## Зміни середньорічної концентрації $\text{CH}_4$ , ppbV/(%) в період з 2003 по 2005 роки





Оцінка сумарного підвищення середньорічної температури повітря над територією України до 2030 р., обумовленого змінами вмісту  $\text{CH}_4$  в атмосфері (за матеріалами вимірів  $\text{CH}_4$  приладом SCIAMACHY з КА ENVISAT на протязі 2003-2005 рр.)

$$\Delta T_{\text{CH}_4} = 0,19 \{ \text{CH}_4(t)^{1/2} - \text{CH}_4(t_0)^{1/2} \}$$

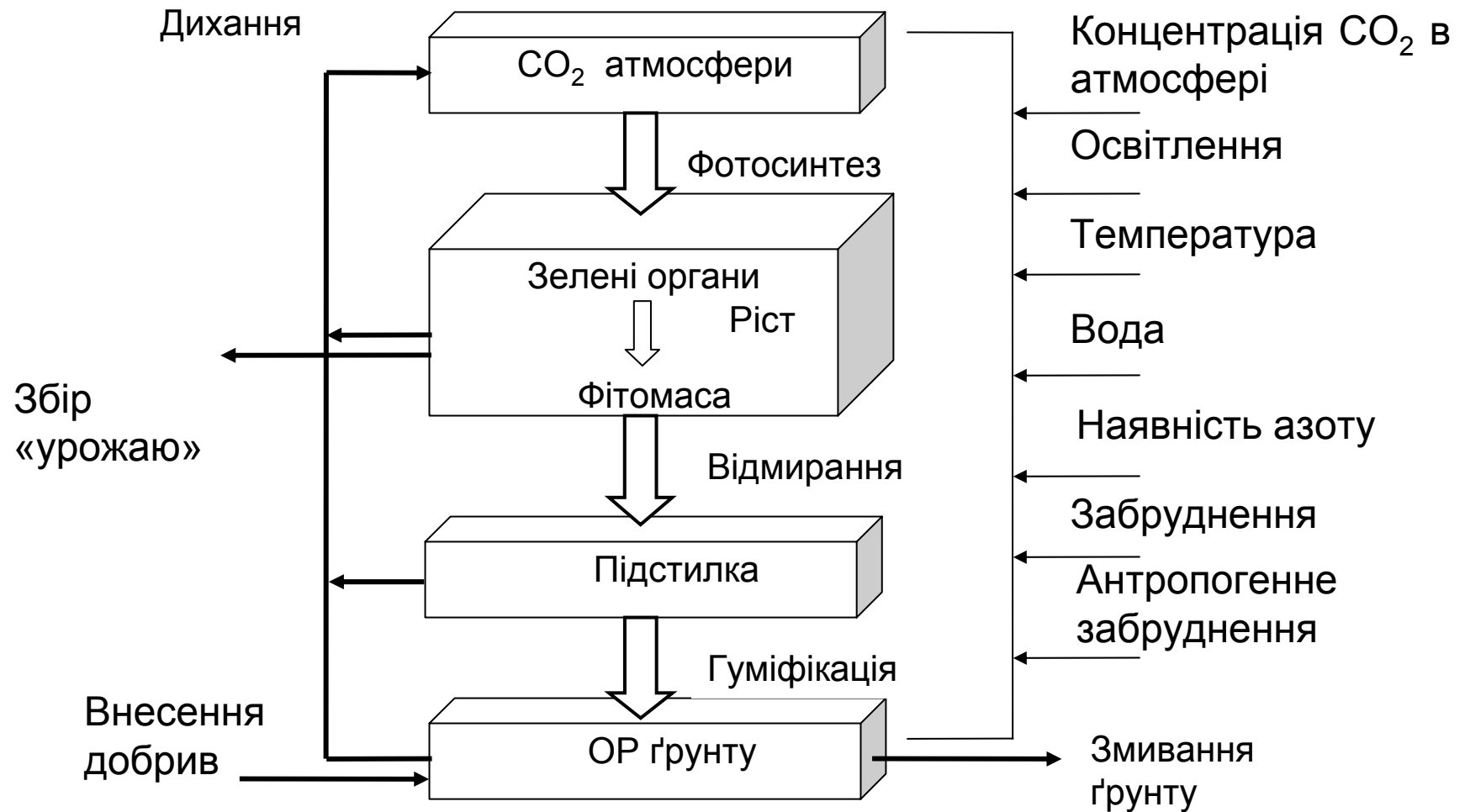
де  $t$  – час, роки;  $\text{CH}_4(t_0)$  – початкова концентрація  $\text{CH}_4$  в атмосфері (1766.6 ppbv) на момент часу  $t_0$  (2003 рік);  $\text{CH}_4(t)$  – прогнозована концентрація  $\text{CH}_4$  (2200 ppbv) на момент часу  $t$  (2030 рік).

Орієнтовний прогноз підвищення температури з 2003 р. до 2030 р. може становити:

$$\Delta T(t_{2030}) = 0.1^\circ \text{C}$$



## Загальна структурна модель кругообігу вуглецю в екосистемі





# Визначення інтенсивності поглинання CO<sub>2</sub> з атмосфери рослинністю (1)

## Вегетаційні індекси

- NDVI – вегетаційний індекс нормалізованої різниці: 
$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$
- PRI – індекс фотохімічного відбивання 
$$PRI = \frac{(\rho_{531} - \rho_{570})}{(\rho_{531} + \rho_{570})}$$

(Penuelas J., Gamon J.A. та ін., 1995)



# Визначення інтенсивності поглинання $\text{CO}_2$ з атмосфери рослинністю (2)

## Розрахунок потоків $\text{CO}_2$

Інтенсивність поглинання  $\text{CO}_2 = f(\text{sPRI} \times \text{NDVI})$

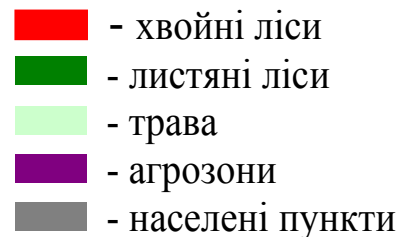
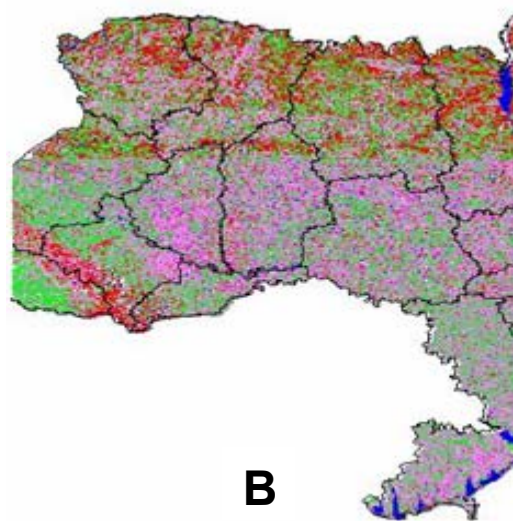
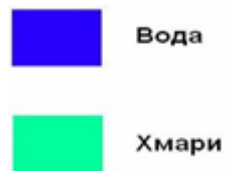
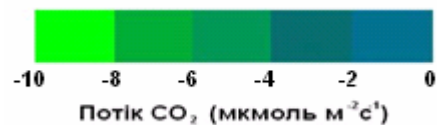
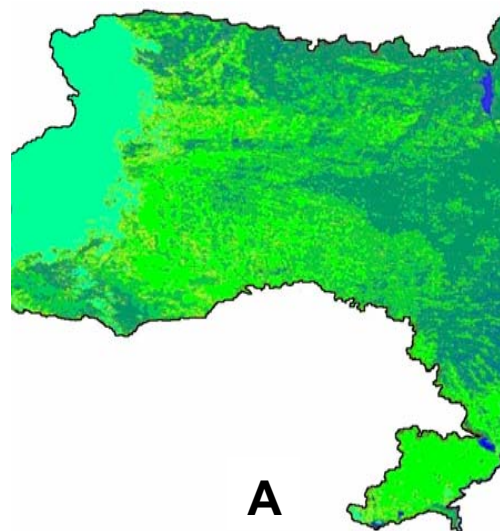
$$\text{CO}_2 = -4,3833 - 15,018 \times (\text{NDVI} \times \text{sPRI})$$

(мкмоль  $\text{CO}_2$  /  $\text{m}^2\text{s}$ )

(Rahman A. F., Gamon J. A. та ін., 2001)



Порівняння швидкості поглинання  $\text{CO}_2$  рослинністю (А),  
станом на 14 червня 2000 р. (за даними знімка MODIS)  
з типами рослинного покриву станом на 2000 р.  
(за даними знімка Landsat ETM+) (В)







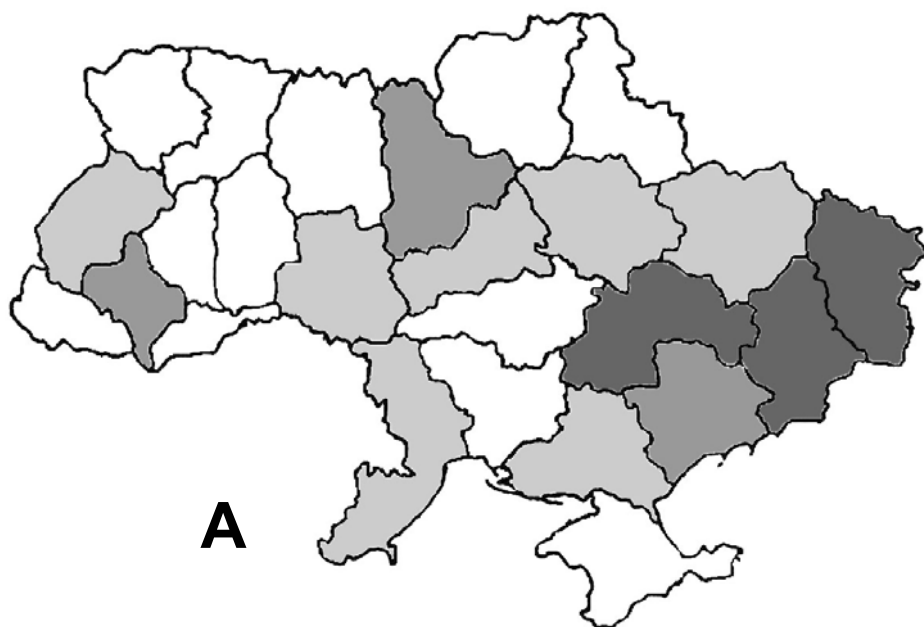
Порівняння карти потоків  $\text{CO}_2$  для західної частини території України і карти типів рослинних покривів дозволило зробити такі висновки:

- влітку (середина червня) листяні ліси мають найбільшу абсорбуючу ємність  $\text{CO}_2$ . До того ж їх абсорбуюча ємність залежить від пори року;
- для хвойних лісів характерна найменша абсорбуюча ємність, але при цьому поглинання вуглецю відбувається не тільки теплої пори року, але й цілий рік.

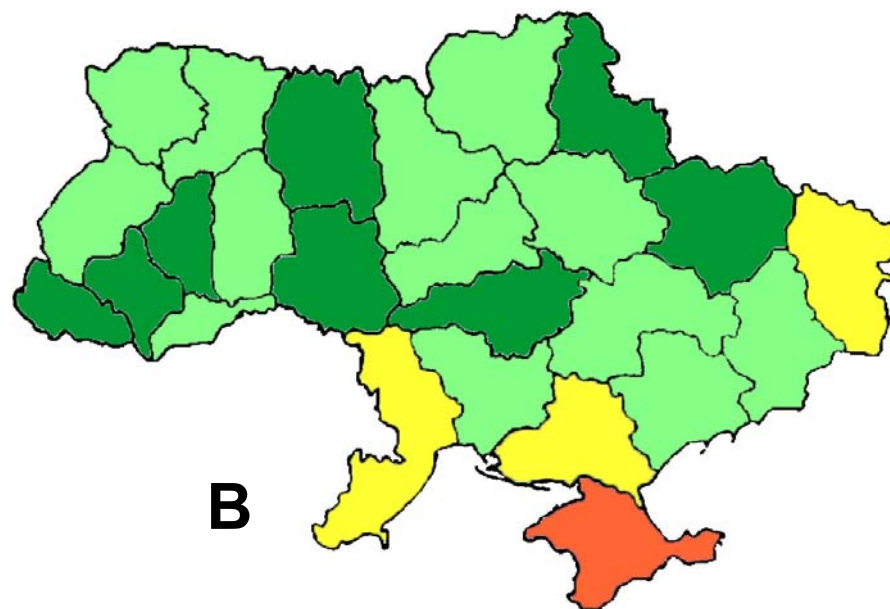
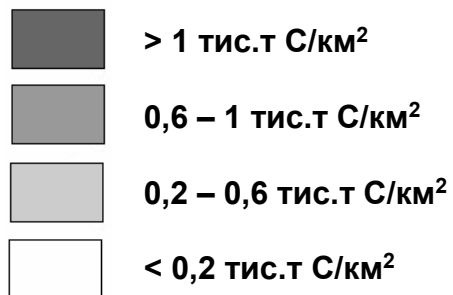
Використання даних, які ми отримали, дало змогу для подальшого дослідження щодо поліпшення оцінки зміни потоків  $\text{CO}_2$ , викликаних зміною типів рослинних покривів на досліджуваній території в результаті діяльності людини та за рахунок природних процесів. Це, в свою чергу, дозволило розрахувати цю складову у глобальному бюджеті вуглецю і краще зрозуміти значення лісу, як природного резервуару, як ще одного учасника кругообігу вуглецю.



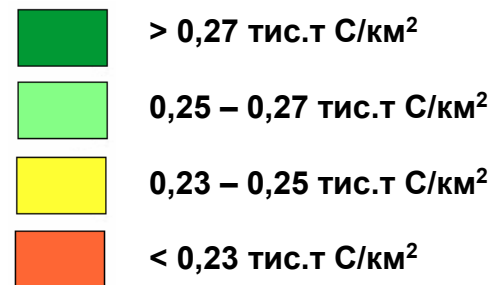
## Розподіл промислових викидів CO<sub>2</sub> (А) та його поглинання (В) по території України



**A**

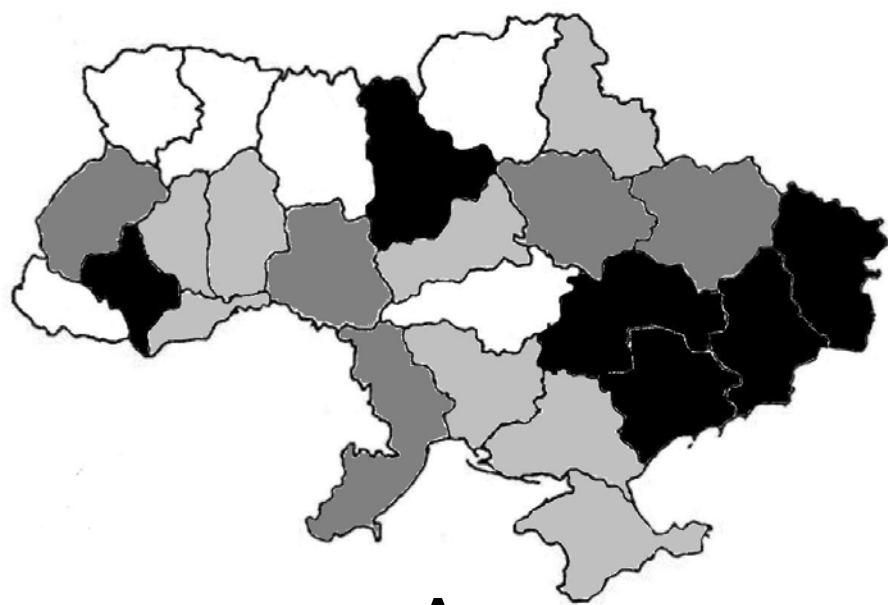


**B**





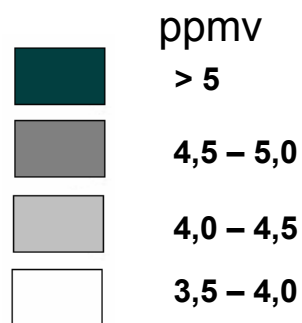
Співвідношення поглинальної здатності  $\text{CO}_2$  рослинності до промислових викидів (А); зростання концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері в період 2003 – 2005 рр. за даними приладу SCIAMACHY (В)



**А**



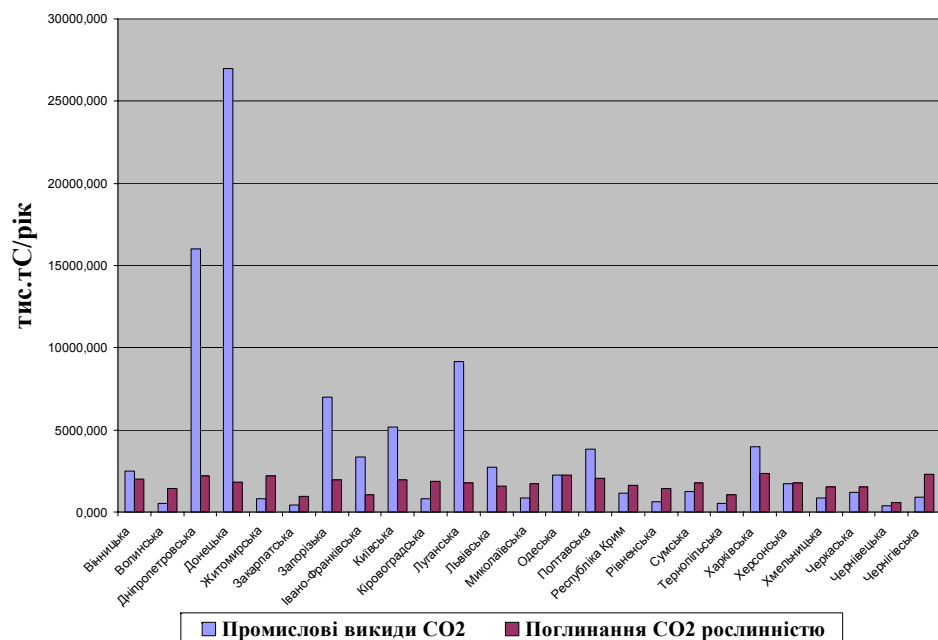
**В**



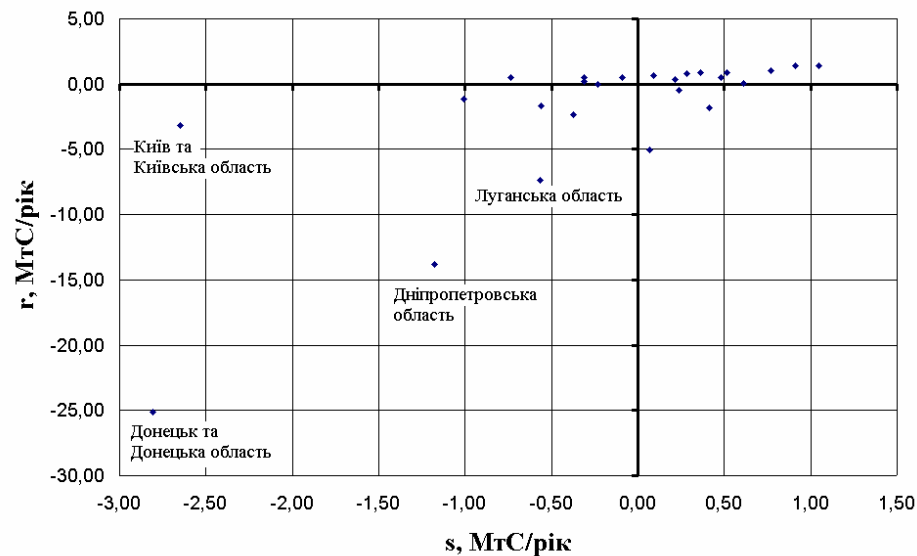


## Співвідношення викиди-поглинання CO<sub>2</sub> (A) та s – r діаграма для областей України (B)

A



B





Отримані результати дозволяють стверджувати:

- для території України характерне переважання промислових викидів  $\text{CO}_2$  над його поглинанням рослинним покривом приблизно в 2 рази;
- основними джерелами промислового  $\text{CO}_2$  є південно-східний та західний промислові регіони України;
- простежується певна закономірність локалізації зон найбільш інтенсивного зростання концентрацій  $\text{CO}_2$  над промислово розвиненими регіонами;
- на значній частині території України простежується від'ємна біотична компенсація антропогенного впливу, а це значить, що природне середовище не встигає відновлювати ті ресурси, які людина вилучає в процесі своєї життєдіяльності. Як правило, це території з високою щільністю населення, і пов'язано це з нерівномірним розподілом населення та промисловості по території України.



## Висновки

- Вчені установ НАН України останнім часом, зокрема, співпрацюючи з міжнародною науковою спільнотою, отримали вагомі результати з оцінки та прогнозування стану геосистем в умовах не лише України, але й усієї Східної Європи. Це знайшло відображення в ряді спільних публікацій, а також у запланованій до видання англomовній монографії «Зміни земних систем у Східній Європі».





## Висновки (продовження)

- Виконані в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України дослідження з застосуванням сучасних космічних технологій дистанційного зондування Землі по формуванню в Україні балансу парникових газів і, зокрема, метану в системі «атмосфера-рослинність-народне господарство» показали, що з врахуванням вперше для України таким чином визначеної величини щорічних обсягів надходження цього газу в атмосферу (~ 75 млн. т/рік), можна отримати додатковий обсяг енергетичного потенціалу України саме на цю величину, а також уточнити квоти України по викидах цього парникового газу.



## Висновки (продовження)

- Аналогічні дослідження балансу ( $\text{CO}_2$ ) засвідчили, що з урахуванням вперше для України таким чином отриманої величини фотосинтетичної абсорбції  $\text{CO}_2$  рослинністю з атмосфери ( $\sim 156$  млн. т/рік), можна визначити додатковий обсяг нейтралізації цього газу, що може слугувати аргументом для збільшення квот України на продаж викидів  $\text{CO}_2$  згідно з Кіотським протоколом саме на цю величину.



## Висновки (продовження)

Одержання зазначених результатів стало можливим завдяки визначенню параметрів круговороту вуглецю у системі «рослинність-атмосфера-народне господарство» за матеріалами багатоспектральних космічних зйомок та проведенню гіперспектрометричних досліджень на калібрувальних-завіркових полігонах в типових для України ландшафтно-кліматичних зонах (лісовій, лісостеповій, степовій та гірській).

За вказаними матеріалами були вперше для України побудовані карти та діаграми розподілу викидів та поглинання рослинністю вуглекислого газу по адміністративних областях, за якими можна приймати управлінські рішення по раціональному природокористуванню та торгівлі квотами парникових газів згідно Кіотського протоколу. Ці результати знайшли відображення в ряді публікацій в українських та міжнародних фахових виданнях.



## Висновки (продовження)

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на створення космічного аудиту балансу парникових газів, як частини відповідних блоків Міжнародних програм, у рамках яких у координації з міжнародним науковим співтовариством мають бути виконані в Україні такі види робіт:

- Створення мережі тест-полігонів для дистанційного та наземного вимірювання потоків парникових газів для різних ландшафтно-кліматичних регіонів.
- Зіставлення вимірюваних наземних потоків із синхронними вимірами цих газів в атмосфері з допомогою матеріалів космічних зйомок над тест-полігонами.
- Створення регіональних і глобальних моделей енергомасообміну в геосистемах Землі на основі отриманої гідрометеорологічної і іншої інформації та калібрувально-завіркових робіт на тест-полігонах з метою комп'ютерного моделювання прогнозування сценаріїв кліматичних змін і розробки управлінських рішень по оптимізації соціо-екологічних процесів, обумовлених змінами клімату.



## Висновки (продовження)

- При цьому керівництву держави слід передбачити:
- обов'язковість використання матеріалів сучасних космічних технологій ДЗЗ та інформаційних технологій в роботі Мінприроди та Нацагентства по екологічних інвестиціях України для моніторингового відстеження та прогнозування змін викидів і поглинання рослинністю парникових газів в Україні з метою прийняття управлінських рішень по оперативному коригуванню кліматозахисних заходів та обґрунтуванню квот по торгівлі парниковими газами згідно Кіотського протоколу;
  - забезпечення фінансової підтримки вказаних комплексних міждисциплінарних робіт з метою їх впровадження в практику оптимального природокористування в державі.



## Література

1. *Лялько В.І.* Оцінка впливу природно-антропогенних змін потоків CO<sub>2</sub> у системі рослинність-атмосфера на формування парникового ефекту Землі // Доп. НАН України. –2007. –№4. –С. 130-137.
2. *Лялько В.І., Артеменко І.Г., Жолобак Г.М., Костюченко Ю.В., Левчик О.І., Сахацький О.І.* Дослідження впливу змін CO<sub>2</sub> та CH<sub>4</sub> в атмосфері на клімат за матеріалам космічних зйомок // Геол. журн. –2007. –№ 4. – С. 7-16.
3. *Мовчан Д.М.* Можливості використання даних супутникових зйомок MODIS для оцінки продуктивності різних видів рослинності та оцінки потоків CO<sub>2</sub> в системі рослинність - атмосфера (на прикладі території України) // Доповіді НАН України. – 2008.–№8. – С. 108- 112.
4. *Лялько В.І., Мовчан Д.М.* Визначення балансових складових CO<sub>2</sub> у формуванні парникового ефекту в Україні із залученням матеріалів багатоспектральних космічних зйомок //Доп. НАН України –№ 8. – 2009. – С. 115-120.
5. *Lyalko V.I., Artemenko I.G., Zholobak G.M., Kostyuchenko Vu. V., Levchik O.I., Sakhatsky O.I.* Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine//Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe. Subseries: NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Groisman, Pavel Ya; Ivanov, Sergey (Eds.) Springer 2009, 278 h..
6. *Лялько В.І.* Дослідження впливу змін парникових газів в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок. – Матер. конф. «Перспективи використання нетрадиційних джерел енергії в Україні» (м. Євпаторія, Україна, 25-28.08.2009р.). – УкрДГРІ, Київ. – 2009,–С. 97-99.
7. *Лялько В.І., Мовчан Д.М., Сябряй С.В.* Оцінка впливу астрономічних та геоботанічних факторів на формування кліматичних особливостей регіонів (на прикладі України). Геоінформатика2009, №3, –С. 74-81.
8. *Лялько В.І.* Оцінка і прогнозування взаємопов'язаних природно-антропогенних та соціо-економічних процесів: погляд з космосу. Екологічний вісник, 2008 – №4 (50) –С. 12-15.