

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ**  
**ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК**  
**НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Директор ЦАКЛЗ П Н НАН України  
 член-кореспондент НАН України.

Михайло ПОПОВ  
 « 29 » вересня 2025 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ОЦІНЮВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ АТМОСФЕРНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ**  
**ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**  
*(Estimation of the greenhouse gases regional atmospheric concentration by satellite observations)*  
 для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії

галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	103 «Науки про Землю»
освітній рівень	доктор філософії
освітня програма	«Дистанційні аерокосмічні дослідження природного середовища»
вид дисципліни	Вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	<b>2025/2026</b>
Семестр	4
Кількість кредитів ECTS	2
Мова викладання.	
навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач: Апостолов Олександр Анатолійович, кандидат геологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу енергомасообміну в геосистемах ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

© О.А. Апостолов, 2025

КИЇВ – 2025

Розробник: Апостолов Олександр Анатолійович, кандидат геологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу енергомасообміну в геосистемах ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

Затверджено  
Гарант освітньої програми  
к.геол.н., с.н.с.



(підпис)

Ольга СЕДЛЕРОВА  
(власне ім'я, прізвище)

*Схвалено: Вченою радою Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України»  
протокол від «23» вересня 2025 року № 12.*

Голова вченої ради  
д.т.н., професор  
член-кореспондент НАН України



Михайло ПОПОВ

Учений секретар вченої ради,  
к.т.н., ст. досл.



Анна ХИЖНЯК

**Мета дисципліни:** формування знань щодо причин та наслідків глобальних та регіональних змін клімату, ролі та можливостях супутникового спостереження для оцінки балансу парникових газів на регіональному рівні і проблемно-орієнтованих моделей енергомасообміну в геосистемах як основи для прогнозування кліматичних змін.

**2. Вимоги до вибору навчальної дисципліни:**

Диплом магістра з спеціальності науки про Землю і телекомунікації. Теоретичні знання основ фізичної географії, кліматології, метеорології, загальної геології, четвертинної геології, стратиграфії, екології.

**3. Анотація навчальної дисципліни.**

Розглядаються сучасні уявлення про причини та наслідки змін кліматичних показників з метою впорядкування знань про сучасні радіаційні властивості атмосфери, сучасні підходи до відтворення стану кліматичної системи та аналізу кліматичних змін за допомогою кліматичних моделей та можливостей супутникового моніторингу по оцінці впливу чинників, що провокують кліматичні зміни.

Основна увага приділяється визначенню атмосферних концентрацій парникових газів (Одним із чинників, що впливають на зміну клімату, визначено парникові гази, які, за думкою та спостереженнями науковців, викликають так званий «парниковий» ефект) за даними супутникових спостережень для оцінки балансу парникових газів на регіональному рівні і проблемно-орієнтованих моделей енергомасообміну в геосистемах як основи для прогнозування кліматичних змін.

Навчальна дисципліна враховує новітні тенденції, методологію, методіку і стандарти прийняті в ЄС та Україні, забезпечує набуття здобувачами вищої освіти компетентностей, направлених на досягнення глобальних цілей сталого розвитку до 2030 року, проголошених резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 року № 70/1, визначених Указом Президента України від 30 вересня 2019 року № 722. Навчальна дисципліна забезпечує визначені в даних документах цілі сталого розвитку, для прикладу, пом'якшення наслідків змін клімату (Ціль 13), захист та відновлення екосистем суші (Ціль 15) забезпечуються знаннями параметрів природного середовища і характеристик, що спостерігаються та вимірюються дистанційними методами, планування експериментів в аерокосмічних дослідженнях.

**4. Ціль навчання.**

Сформувати погляди щодо причин та наслідків змін основних кліматичних показників та можливостях супутникового спостереження для оцінки балансу парникових газів на регіональному рівні і проблемно-орієнтованих моделей енергомасообміну в геосистемах як основи для прогнозування кліматичних змін.

### 5. Результати навчання:

Результат навчання (1. знати; 2. вмiти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форма/Методи викладання і навчання	Форма/Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Провести аналітичний огляд досліджень з визначення радіаційних властивостей атмосфери	Лекція, самостійна робота	тестування, виконання самостійної роботи, презентація	до 5%
1.2	Проаналізувати сучасні оцінки зміни радіаційного балансу за рахунок внеску парникових газів та аерозолів у радіаційні властивості атмосфери	Лекція, самостійна робота		до 15%
1.3	Провести аналіз сучасних підходів до відтворення стану кліматичної системи та аналізу кліматичних змін за допомогою кліматичних моделей	Лекція, самостійна робота		до 10%
2.1	Проаналізувати Засоби та методи супутникового спостереження для аналізу стану атмосфери та атмосферних процесів	Лекція, самостійна робота	тестування, виконання самостійної роботи, презентація	до 5%
2.2	Провести огляд методів визначення концентрацій парникових газів (на прикладі CO <sub>2</sub> ) в атмосфері за даними сенсорів SCIAMACHY супутника Envisat-1, сенсора AIRS супутника Aqua, сенсора TANSO-FTS супутника Ibuki/GOSAT	Лекція, самостійна робота		до 10%
2.3	Проаналізувати методичні основи застосування даних про хімічний склад атмосфери та	Лекція, самостійна робота		до 5%

	концентрацій парникових газів для вдосконалення кліматичних моделей			
3.1	Визначити способи застосування даних супутникового спостереження для аналізу чинників та наслідків кліматичних змін та калібрування кліматичних	Лекція, самостійна робота	тестування, виконання самостійної роботи, презентація	до 5%
3.2	Визначити способи та привести практичні приклади застосування даних спеціалізованих космічних зйомок для розрахунку кількісних показників вмісту парникових газів (на прикладі CO <sub>2</sub> та CH <sub>4</sub> ) на регіональному рівні	Лекція, практична робота		до 30%
3.3	Провести огляд та привести практичні приклади аналізу похибок визначення концентрацій парникових газів	Лекція, практична робота		до 15%

**Структура курсу:** лекції, практичні та самостійні роботи, консультації.

## **6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:**

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
РН01. Знання. Мати передові концептуальні та методологічні знання з наук про Землю, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень природного середовища, і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення	+	+	+	+	+	+	+	+	+

інновацій.									
РН04. Уміння. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
РН06. Уміння. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з наук про Землю та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів та дотриманням норм професійної і академічної етики, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
РН07. Відповідальність. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми у науках про Землю з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
РН08. Уміння. Застосовувати загальні принципи та методи математики й природничих наук, а також сучасні методи та інструменти, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для провадження досліджень у сфері наук про Землю, зокрема, дистанційних аерокосмічних досліджень природного середовища.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
РН09. Комунікація. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи і технології.	+	+	+	+	+	+	+	+	+

## 7. Схема формування оцінки:

Обов'язковими для іспиту є знання про чинники, що впливають на зміни кліматичних параметрів і наслідки цих змін. Також необхідним є знання про застосування даних супутникового спостереження для аналізу чинників (на прикладі парникових газів) та наслідків кліматичних змін та калібрування кліматичних моделей.

### 7.1. Форми оцінювання аспірантів.

#### 1. Семестрове оцінювання:

- 1) Самостійна робота – 10 балів (рубіжна оцінка – 6 балів)
- 2) Оцінка за роботу на лекційних та практичних заняттях – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів)
- 3) Оцінка за роботу на семінарських заняттях – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів)

**2. Підсумкове оцінювання у формі іспиту:** максимальна оцінка 40 балів, рубіжна оцінка 24 балів. Під час іспиту аспірант виконує реалізацію проєкту з використанням знань та вмінь з основ та новітніх досліджень зміни клімату. Результати навчальної діяльності аспірантів оцінюються за 100 бальною шкалою.

**Оцінка за семестр виставляється за результатами роботи здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії впродовж усього семестру, як сума (проста або зважена) балів за систематичну роботу впродовж семестру.**

	Семестрова кількість балів	ПКР (підсумкова контрольна робота) чи/або іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	45	15	60
Максимум	70	30	100

Здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії не допускається до підсумкового оцінювання у формі іспиту, якщо під час семестру набрав менше 20 балів.

**7.2. Організація оцінювання:** Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою та передбачає: 12 лекцій та виконання 3 практичних робіт (де аспіранти мають продемонструвати якість засвоєних знань та вирішити поставлені задачі використовуючи окреслені викладачем методи та засоби). Підсумкове оцінювання проводиться у формі іспиту.

### 7.3. Шкала відповідності

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

## 8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин			
		лекції	практичні	семінари	самостійна робота
<b>Метод виявлення регіональних атмосферних концентрацій парникових газів за даними супутникових спостережень</b>					
1	Тема 1. Аналітичний огляд досліджень з визначення радіаційних властивостей атмосфери	1			2
2	Тема 2. Сучасні оцінки зміни радіаційного балансу за рахунок внеску парникових газів та аерозолів в радіаційні властивості атмосфери та її спектральні характеристики і зміни концентрації атмосферних галоїдвуглеводнів, стратосферного та тропосферного озону і інших газів.	2			4
3	Тема 3. Огляд сучасних підходів до відтворення стану кліматичної системи та аналізу кліматичних змін за допомогою кліматичних моделей	1			2
4	Тема 4. Засоби та методи супутникового спостереження для аналізу стану атмосфери та атмосферних процесів	2			4
5	Тема 5. Методи визначення концентрацій парникових газів (на прикладі CO <sub>2</sub> ) в	2	4		6

	атмосфері за даними сенсорів SCIAMACHY супутника Envisat-1, сенсора AIRS супутника Aqua, сенсора TANSO-FTS супутника Ibuki/GOSAT				
6	Тема 6. Методичні основи застосування даних про хімічний склад атмосфери та концентрацій парникових газів для вдосконалення кліматичних моделей	1			2
7	Тема 7. Застосування даних супутникового спостереження для аналізу чинників та наслідків кліматичних змін та калібрування кліматичних	2	4		6
8	Тема 8. Застосування даних спеціалізованих космічних зйомок для розрахунку кількісних показників вмісту парникових газів (на прикладі CO <sub>2</sub> та CH <sub>4</sub> ) на регіональному рівні	1	4		6
	Консультація				2
	Іспит з дисципліни		2		
	Усього	12	14	0	34

**Загальний обсяг 60 год., в тому числі:**

Лекцій – **12 год.**

Практичні заняття – **12 год.**

Самостійна робота – **32 год.**

Консультації/іспит – **2 год./ 2 год.**

## РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА:

1. [Резолюція Генеральної Асамблеї ООН від 25 вересня 2015 року «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року»](#)
2. Указ Президента України від 30 вересня 2019 року № 722.
3. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)
4. Уотсон Роберт Т. Изменение климата, 2001 г. Обобщенный доклад / Уотсон Роберт Т., Албриттон Даниель Л., Баркер Терри, Башмаков Игорь А. и другие // Женева. – 2001. – 220 с.
5. Lyalko V. I., Yu. V. Kostyuchenko, D. M. Movchan, A. I. Sakhatsky, Z. M. Shportuk, O. N. Sibirtseva, A. A. Apostolov, E. I. Levchik G. M. Zholobak, I. G. Artemenko Estimation of anthropogenic and natural sources of greenhouse gases over Ukraine using remote sensing data // Earth Systems Change over Eastern Europe / Akadempriodyka. – Kiev. 2012. – Chapter 3. – 93-128 pp.
6. Schneising O. Three years of greenhouse gas column-averaged dry air mole fractions retrieved from satellite – Part 2: Methane / Schneising O., Buchwitz M., Burrows J. P., H. Bovensmann, P. Bergamaschi and W. Peters // Atmos. Chem. Phys. – 2009. – №9. 443-465 pp. <https://acp.copernicus.org/articles/9/443/2009/>
7. Buchwitz M. Atmospheric methane and carbon dioxide from SCIAMACHY satellite data: Initial comparison with chemistry and transport models / Buchwitz M., de Beek R., Burrows J. P., Bovensmann H., Warneke T., Notholt J., Meirink J. F., Goede A. P., Bergamaschi H., Korner P., Heimann M., and Schulz A. // Atmos. Chem. Phys. – 2005. – №5. 94-962 pp. <https://acp.copernicus.org/articles/5/941/2005/acp-5-941-2005.html>
8. Buchwitz M. Retrieval of CH<sub>4</sub>, CO, and CO<sub>2</sub> total column amounts from SCIAMACHY near-infrared nadir spectra: Retrieval algorithm and first results, in: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere VIII / Buchwitz M., Burrows J. P. // Proceedings of SPIE. – 2004 №5235. 375-388 pp. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/5235/1/Retrieval-of-CH4-CO-and-CO2-total-column-amounts-from/10.1117/12.514219.full>
9. Edward T. Olsen AIRS Version 5 Release Tropospheric CO<sub>2</sub> Products // Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. –2009. – 34 p. [https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/AIRS/3.3\\_Scienc](https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/AIRS/3.3_Scienc)

[eDataProductDocumentation/3.3.4\\_ProductGenerationAlgorithms/AIRS-V5-Tropospheric-CO2-Products.pdf](#)

10. GOSAT Project: <http://www.gosat.nies.go.jp/eng/gosat/page2.htm>
11. Кондратьев К. Я. Глобальный климат // С.–Пб.: Наука. – 1992. – 357 с.
12. Кондратьев К. Я. Моделирование глобального круговорота углерода / Кондратьев К. Я., Крапивин В. Ф. // М.: Наука. Сов. энцикл. – 2004. – 336 с.
13. Лялько В. І. Дослідження впливу змін CO<sub>2</sub> та CH<sub>4</sub> в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / Лялько В. І., Сахацький О. І., Костюченко Ю. В., Артеменко І. Г., Жолобак Г. М., Левчик О. І. // Геол. Журнал. – 2007. – №4. С. 7-16.
14. Лялько В. І. Космічний моніторинг балансу парникових газів з метою уточнення їхньої інвентаризації // Лялько В. І., Сахацький О. І., Костюченко Ю. В., Артеменко І. Г., Жолобак Г. М., Левчик О. І., Мовчан Д. М. // КНіТ. – 2012. – № 2. С. 3-14.
15. Kostyuchenko Yu. V., Movchan D., Artemenko I., Korachevsky I. (2016). Stochastic Approach to Uncertainty Control in Multiphysics Systems: Modeling of Carbon Balance and Analysis of GHG Emissions Using Satellite Tools. In: Mathematical Concepts and Applications in Mechanical Engineering and Mechatronics, ed. by Mangey Ram and J. Paulo Davim, IGI Global, USA, pp. 350-378, doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1639-2.ch017>
16. Todchuk, D., Onopchuk, I., Yelistratova, L., Apostolov, A., Zakharchuk, Y. (2025). Dynamics of Greenhouse Gas and Other Pollutant Emissions from Transport in Ukraine. In: Slavinska, O., Danchuk, V., Kunytska, O., Hulchak, O. (eds) Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort. ITSESQC 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1335. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8_14)
17. Yelistratova, L., Apostolov A., Khodorovskiy A., Tymchyshyn M. (2024). Application of Information and Communication Technologies in Environmental Scientific Research (on Example of Sulfur Dioxide Emissions Research into the Atmospheric Air of Ukraine). In: Faure, E., Tryus, Y., Vartiainen, T., Danchenko, O., Bondarenko, M., Bazilo, C., Zaspá, G. (eds.) Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer, Cham. 221, 357–367 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_26), URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-71801-4\\_26](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-71801-4_26)