

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

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

Михайло ПОПОВ

« 29 » вересня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

*Методи підвищення інформативності інфрачервоного аерокосмічного
знімання*

*(The technique for the informativeness enhancement of infrared aerospace
imaging)*

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії

галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальність 172 – Електронні комунікації та радіотехніка
освітній рівень доктор філософії
освітня програма «Дистанційні аерокосмічні дослідження»
вид дисципліни вибіркова

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

Викладач: Лубський Микола Сергійович, кандидат технічних наук, науковий співробітник лабораторії методів обробки даних дистанційного зондування при відділі геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях.

© М.С. Лубський, 2025 рік

КИЇВ – 2025

Розробники: Лубський Микола Сергійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник лабораторії методів обробки даних дистанційного зондування при відділі геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях.

Затверджено
Гарант освітньої програми
д.т.н., професор



(підпис)

Сергій СТАНКЕВИЧ
(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

1. Мета дисципліни – ознайомлення аспірантів із методологічними основами картування температурного поля земної поверхні за допомогою даних дистанційного зондування та формування навичок обробки аерокосмічних даних у просторовій та частотній області з метою підвищення їх інформативності.

2. Вимоги до вибору навчальної дисципліни:

- диплом магістра однієї зі спеціальностей галузі наук про Землю або телекомунікацій;
- наявність базових знань теорії розповсюдження електромагнітного випромінювання;
- наявність базових навичок обробки аерокосмічних зображень земної поверхні;

3. Анотація навчальної дисципліни

Предметом дисципліни є методи підвищення інформативності аерокосмічних даних довгохвильового інфрачервоного діапазону випромінювання. Навчальний курс також включає формування навичок обробки даних довгохвильового інфрачервоного діапазону для картування розподілу поверхневої температури. Особливу увагу буде приділено визначенню поверхневого розподілу коефіцієнтів теплового випромінювання об'єктів земної поверхні та можливостям обробки зображень у частотній області.

4. Цілі навчання:

Протягом навчання аспіранти мають здобути загальні компетентності (ЗК):

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері електронних комунікацій, радіотехніки, дистанційних аерокосмічних досліджень на основі системного наукового та загального культурного світогляду із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

спеціальні компетентності (СК):

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у науках про електронні комунікації, радіотехніку та дистанційні аерокосмічні дослідження та дотичних міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних міжнародних наукових виданнях.

СК02. Здатність із застосуванням сучасних методологій, методів та інструментів наукової діяльності за фахом ставити експеримент, обробляти отримані експериментальні дані, встановлювати аналітичні і системні залежності між об'єктами; застосовувати сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності.

СК04. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в галузі електронних комунікацій, радіотехніки та дистанційного аерокосмічних досліджень та дотичні до них міждисциплінарні проекти.

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері електронних комунікацій, радіотехніки та дистанційного аерокосмічних досліджень, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06. Здатність дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК07. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті.

Після завершення курсу аспіранти зможуть:

- виконувати картування розподілу поверхневої температури земної поверхні;
- визначати за даними аерокосмічного знімання коефіцієнти теплового випромінювання об'єктів земної поверхні;
- обробляти аерокосмічні зображення у частотній області з метою підвищення їх інформативності.

5. Результати навчання:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 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	Теоретичні основи поширення теплового випромінювання	Лекція	Усне опитування	до 5%
1.2	Теоретичні основи закономірностей зв'язку густини теплового випромінювання та температури	Лекція	Усне опитування	до 5%
1.3	Поняття абсолютно чорного тіла та сірого тіла, коефіцієнт теплового випромінювання	Лекція	Усне опитування	до 10%
1.4	Атмосферна корекція даних довгохвильового інфрачервоного діапазону	Лекція, практичне заняття	Виконання практичної роботи	до 10%
1.5	Картування температури земної поверхні	Лекція, практичне заняття	Виконання практичної роботи	до 10%
1.6	Представлення растрових даних у просторовій та частотній області	Лекція	Усне опитування	до 10%
1.7	Обробка даних довгохвильового інфрачервоного діапазону у частотній області	Лекція	Усне опитування	до 10%
1.8	Підвищення просторової розрізненості даних довгохвильового інфрачервоного діапазону на основі субпіксельних зміщень	Лекція, практичне заняття	Виконання практичної роботи	до 10%
2.1	Виконувати високорівневу обробку даних довгохвильового інфрачервоного діапазону, отримувати дані розподілу поверхневої температури та коефіцієнтів теплового випромінювання	Практична робота, самостійна робота		до 10%
2.2	Обробляти дані аерокосмічного знімання в частотній області	Практична робота, самостійна робота		до 10%
3.1	Обґрунтовувати можливості застосування обробки зображень у частотній області з метою підвищення розрізненості	Лекція, практична робота, самостійна робота		до 5%
4.1	Використовувати отримані знання при обробці аерокосмічних даних та оцінювати точність та ефективність методики	Практична робота		до 5%

Структура курсу: лекційні і практичні заняття, самостійна робота.

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	3.1	4.1
РН02. 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.	+	+	+	+	+	+	+	+				
РН03. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми з електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, кваліфіковано оприлюднювати в тому числі іноземною мовою результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях та на наукових заходах.	+	+	+	+	+	+	+	+				
РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, та дотичних міждисциплінарних напрямках.					+	+		+				
РН05. Глибоко розуміти загальні принципи та методи електронних комунікацій, дистанційних аерокосмічних досліджень, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях та у викладацькій практиці.	+	+	+	+	+	+	+	+				
РН06. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, та дотичних міждисциплінарних напрямків 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. 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 сфері електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.															
PH08. Застосовувати загальні принципи та методи математики, сучасні програмно-технічні засоби, 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:

7.1. Форми оцінювання студентів

1. Семестрове оцінювання:

1) Контрольна робота «Обробка даних дистанційного зондування в частотній області з метою підвищення інформативності» – 10 балів (рубіжна оцінка – 6 балів).

2) Оцінка за роботу на лекційних та практичних заняттях – 50 балів (рубіжна оцінка – 30 балів)

2. Підсумкове оцінювання у формі іспиту: максимальна оцінка 40 балів (рубіжна оцінка – 24 бали). Під час іспиту аспірант виконує реалізацію проекту з використанням знань та вмінь з підвищення інформативності зображень довгохвильового інфрачервоного діапазону. Підсумкове оцінювання у формі іспиту не є обов'язковим, при відмові від участі у даній формі оцінювання аспірант не отримує відповідні бали до підсумкової оцінки.

Результати навчальної діяльності аспірантів оцінюються за 100 бальною шкалою.

Загальна оцінка виставляється за результатами роботи студента впродовж двох семестрів та підсумкового оцінювання у формі іспиту, як сума (проста або зважена) балів за систематичну роботу впродовж семестрів та балів отриманих в результаті підсумкового оцінювання у формі іспиту.

	Семестрова кількість балів за семестр	ПКР (підсумкова контрольна робота) чи/або іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

Аспірант не допускається до підсумкового оцінювання у формі іспиту, якщо під час семестрів набрав менше 20 балів.

7.2. Організація оцінювання: Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою та передбачає: 8 лекцій та виконання 3 практичних робіт (де аспіранти мають продемонструвати якість засвоєних знань та вирішити поставлені задачі використовуючи окреслені викладачем методи та засоби) та проведення 1 модульної контрольної роботи. Підсумкове оцінювання проводиться у формі письмово-усного 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	Самостійна робота
1	Тема 1. Теоретичні основи поширення теплового випромінювання	1		2
2	Тема 2. Теоретичні основи закономірностей зв'язку густини теплового випромінювання та температури	1		2
3	Тема 3. Поняття абсолютно чорного тіла та сірого тіла, коефіцієнт теплового випромінювання	1		2
4	Тема 4. Атмосферна корекція даних довгохвильового інфрачервоного діапазону	1		4
5	Тема 5. Картування температури земної поверхні	2		4
6	Тема 6. Представлення растрових даних у просторовій та частотній області	2		4
7	Тема 7. Обробка даних довгохвильового інфрачервоного діапазону у частотній області	2		4
8	Тема 8. Підвищення просторової розрізненості даних довгохвильового інфрачервоного діапазону на основі субпіксельних зміщень	2		4
	Практична робота 1. Виконання атмосферної корекції зображень довгохвильового інфрачервоного діапазону		2	2
	Практична робота 2. Виконання картування розподілу поверхневої температури за даними супутникового знімання довгохвильового інфрачервоного діапазону		2	4
	Практична робота 3. Підвищення інформативності розподілу поверхневої температури з використанням субпіксельно зміщених пар зображень		2	4
	Модульна робота			2
	Контрольна робота			2
	Іспит з дисципліни			2
	Всього за семестр	12	6	42

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 60 год., в тому числі:

Лекцій – 12 год.

Самостійна робота - 36 год.

Контрольна робота– 2 год.

Практичні заняття - 6 год

Модульна робота– 2 год.

Іспит – 2 год.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА:

Основні:

1. Tang H., Li Z.-L. Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 2014. 281 p. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1977. 600 с.
2. Кононов В. И., Станкевич С. А. Сравнительная оценка цифровых аэрокосмических изображений высокого и низкого разрешения. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, 2004. Т. 17. № 2. С. 88-95.
3. Станкевич С. А. Кількісне оцінювання інформативності гіперспектральних аэрокосмічних знімків при вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі. Доповіді НАН України, 2006. № 10. С. 136-139.
4. Кононов В.И. Обоснование методики определения разрешения на местности аэрокосмических систем с дискретными фотоприемниками. Космічна наука і технологія, 2002. Т. 8. № 2-3. С. 91-102.
5. Колобродов В. Г., Лихоліт М. І., Тягур В. М. Мінімальна розділювана різниця температур тепловізора аэрокосмічного базування. Космічна наука і технологія, 2014. Т. 20. № 1. С. 23-27.
6. Попов М. А., Станкевич С. А., Шкляр С. В. Алгоритм повышения разрешения субпиксельно смещенных изображений. Математичні машини і системи, 2015. № 1. С. 29-36.
7. Young S. S., Driggers R. G., Jacobs E. L. Signal Processing and Performance Analysis for Imaging Systems. Norwood: Artech House, 2008. 304 p.
8. Лялько В. І., Попов М. О., Станкевич С. А., Шкляр С. В., Подорван В. М., Лихоліт М. І., Тягур В. М., Добровольська К. В. Фізична модель інфрачервоного спектрорадіометра з підвищенням просторової розрізненості за допомогою субпиксельної обробки зображень. Наука та інновації, 2015, № 11(6). С. 16-28.
9. Das A.. Guide to Signals and Patterns in Image Processing. Foundations, Methods and Applications. Cham, Springer, 2015, 442 p.
10. Ahmed S. N. Physics and Engineering of Radiation Detection. San Diego, Elsevier, 2015, 763 p.
11. Williams T. L. The Optical Transfer Function of Imaging Systems. London, CRC Press, 1999, 504 p.
12. Boreman G. D. Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems. Second edition. Bellingham, SPIE Press, 2021, 156 p.
13. Лялько В. І., Попов М. О., Станкевич С. А., Шкляр С. В., Подорван В. М., Лихоліт М. І., Тягур В. М., Добровольська К. В. Фізична модель інфрачервоного спектрорадіометра з підвищенням просторової розрізненості за допомогою субпиксельної обробки зображень. Наука та інновації, 2015. Т. 11. № 6. С. 16-28.
14. Thermal Infrared Remote Sensing: Sensors, Methods, Applications. C. Kuenzer, S. Dech (Eds). Dordrecht: Springer, 2013. 556 p.
15. Holst G. C. Electro-Optical Imaging System Performance. Winter Park: JCD Publishing, 1995. 264 p.
16. Sobrino J. A., Jiménez-Muñoz J. C., Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment, 2004. Vol. 90. P.434-440.

Додаткові:

1. Баранов В. Л., Водоп'ян С. В., Гришук Р. В. Алгоритм автоматизованого оцінювання спектрального коефіцієнта теплового випромінювання. Вісник ЖДТУ, 2006. № 4(39). С. 77-83.
2. Yang H., Zhang L. F., Zhang X., Fang C., Tong Q. Algorithm of emissivity spectrum and temperature separation based on TASI data. *Journal of Remote Sensing*, 2011. Vol. 15. № 6. P. 1242-1254.
3. Witwit W., Zhao Y., Jenkins K., Zhao Y. Satellite image resolution enhancement using discrete wavelet transform and new edge-directed interpolation. *Journal of Electronic Imaging*, 2017. Vol. 26, no. 2, 023014.
4. Simon S. Modulation transfer function for optimum performance in vision systems. *Photonics Views*, 2019. Vol. 16, no. 1, pp. 72-76.
5. Lagendijk R.L., Biemond J. Basic methods for image restoration and identification. In: Bovik A.C. (Ed.), *The Essential Guide to Image Processing*, Burlington, Academic Press, 2009, 672 p.
6. Попов М. О., Ліхоліт М. І., Станкевич С. А., Полежаєв В. В., Тягур В. М., Титаренко О. В. Перспективи використання інфрачервоного аерознімання для вирішення природоресурсних спеціальних задач. Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: Праці науково-практичної конференції (Київ, 10-13 травня 2011). К.: Національний авіаційний університет, 2011. С. 33-39.
7. Stankevich S. A., Shklyar S. V., Podorvan V. N., Lubskiy N. S. Thermal infrared imagery informativity enhancement using sub-pixel co-registration. 2016 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT): Proceedings of the International conference (Rzeszów, Poland, 5-7 July 2016). IEEE, 2016. P. 245-248.
8. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004. Vol. 89. № 4. P.467-483.
9. Nelson T., Wulder M., Niemann K. O. Spatial resolution implications of digitizing aerial photography for environmental applications. *The Imaging Science Journal*, 2002. № 49. P. 223-232.
10. Боровицкий В. Н., Чёрная В. В. Применение пространственной модуляции освещения в оптической микроскопии. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 2011. № 2. С. 159-167.
11. Hu Z.-H., Ju J.-S., Perng M.-H. A sub-pixel image registration technique with applications to defect detection. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2009. Vol. 3. № 3. P. 132-137.

Питання до іспиту

1. Інтерпретація зображень у частотній області.
2. Поняття радіаційної та термодинамічної температури, відмінності між ними.
3. Процедура підвищення просторової розрізненості даних довгохвильового інфрачервоного випромінювання методом субпіксельної обробки пар зображень.
4. Оцінка інформативності температурних зображень за Кононовим.
5. Методики визначення температури земної поверхні за одноканальними даними довгохвильового інфрачервоного діапазону.
6. Роль даних видимого та ближнього інфрачервоного діапазону у підвищенні інформативності.
7. Інтерпретація зображень у просторовій області.
8. Оцінка інформативності інфрачервоних зображень за допомогою MRTD (minimum resolvable temperature difference).
9. Принципи отримання достовірних даних проявів геотермічних аномалій.
10. Критерії відбору даних інфрачервоного знімання для підвищення просторової розрізненості за допомогою субпіксельної обробки.
11. Процедура обчислення розподілу температури земної поверхні за даними дистанційного зондування.
12. Роль атмосфери у визначенні температури земної поверхні.
13. Закон Планка для визначення температури поверхонь дистанційними методами.
14. Методики визначення розподілу коефіцієнтів теплового випромінювання за допомогою даних видимого та ближнього інфрачервоного діапазону.
15. Поняття «абсолютно чорного тіла», «сірого тіла».
16. Оцінка просторової розрізненості зображень за допомогою функції передачі модуляції.
17. Космічні системи знімання в довгохвильовій інфрачервоній області.
18. Закон Стефана-Больцмана.
19. Програмні методи підвищення просторової розрізненості, їх переваги та недоліки перед апаратними.
20. Сутність субпіксельної обробки зображень.
21. Закон випромінювання Кірхгофа.
22. Апаратні методи підвищення просторової розрізненості, їх переваги та недоліки перед програмними.
23. Методика визначення температури земної поверхні за багатоканальними даними довгохвильового інфрачервоного діапазону.
24. Сутність коефіцієнта теплового випромінювання.