

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



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ЦАКДЗ ІГН НАН України
член-кореспондент НАН України

Михайло ПОПОВ

« 10 » вересня 2024 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	2024/2025
Семестр	5
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.

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

© Лубський М.С., 2024 рік

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 «17» вересня 2024 року № 7.*

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:

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	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	3.1	4.1
Програмні результати навчання												
ПРО1 Знання ролі та місця дистанційних досліджень у системі наук про Землю та космос, сучасного стану і загальносвітових тенденцій розвитку дистанційних методів і засобів вивчення Землі та об'єктів космічного простору. базових принципів дистанційних досліджень і аерокосмічного моніторингу, загальної схеми проведення дистанційного аерокосмічного дослідження та тематичних задач дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), їх класифікації.	+	+	+	+	+	+	+	+				
ПРО3 Знання методів оброблення та аналізу аерокосмічних зображень та інших дистанційних даних. Критерії якості аерокосмічних зображень. Інформативність аерокосмічних зображень.	+	+	+	+	+	+	+	+				
ПРО12 Знання та вміння використовувати методологічні засади визначення характеристик земної поверхні, класифікації земної поверхні та дослідження часової динаміки характеристик земної поверхні, та інших способів обробки даних дистанційного зондування в просторовій та частотній області					+	+		+				
ПРО13 Уміння аналізувати сучасні наукові	+	+	+	+	+	+	+	+				

праці, виокремлюючи дискусійні та мало досліджені питання, здійснювати моніторинг наукових джерел інформації щодо досліджуваної проблеми, встановлювати їх наукову цінність шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами, формулювати наукову проблему.												
<i>ПРН19. Уміння</i> використовувати сучасні інформаційні та комунікаційні технології, засоби дистанційного навчання, комп'ютерні засоби та програми при проведенні наукових досліджень.					+	+			+	+	+	+
<i>ПР22 Уміння</i> ефективної комунікації та представлення складної комплексної інформації у доступній формі усно та письмово, використовуючи інформаційно-комунікаційні технології та відповідні технічні терміни.									+	+	+	+
<i>ПР25 Дотримуватись</i> етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.									+	+	+	+
<i>ПР27 Брати</i> участь у міжнародних симпозиумах, конференціях, школах, робочих нарадах. Бути ініціатором програм стажування і співпраці з міжнародними науковими колективами.									+	+	+	+

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 проєкту 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 отримає 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

	<i>Модульна робота</i>			2
	<i>Контрольна робота</i>			2
	<i>Іспит з дисципліни</i>			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.**

Практичні заняття - **6 год.**

Самостійна робота - **36 год.**

Модульна робота– **2 год.**

Контрольна 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 аерокосмічних 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 аерокосмічного 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 спектро радіометра 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 спектро радіометра 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., Lubskyi 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.