

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ІІАКДЗ ІІН НАН України
член-кореспондент НАН України
Михайло ПОПОВ
« 29 » вересня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Методи класифікування об'єктів на аеро- та космічних зображеннях та інших геопросторових даних

(Object classification technique on aerial and space imagery and other geospatial data)

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: Андреев Артем Андрійович, молодший науковий співробітник відділу геоінформаційних технологій в дистанційному зондуванні Землі, доктор філософії

© А.А. Андреев, 2025

КИЇВ – 2025

Розробники: Андреев Артем Андрійович, молодший науковий співробітник відділу геоінформаційних технологій в дистанційному зондуванні Землі, доктор філософії

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 –формування у здобувачів знань і навичок, необхідних для ефективного використання сучасних алгоритмів контрольованого та неконтрольованого класифікування, обробки та підготовки до класифікування аеро- та космічних зображень та інших геопросторових даних, а також оцінювання точності результатів класифікування.

2. Вимоги до вибору навчальної дисципліни:

- диплом магістра однієї зі спеціальностей галузі наук про Землю або електронних комунікацій;
- наявність базових знань методів класифікування;
- наявність базових навичок обробки аерокосмічних зображень та інших геопросторових даних.

3. Анотація навчальної дисципліни

Предметом дисципліни є теоретичні основи та практичні підходи до класифікування об'єктів на аеро- та космічних зображеннях та інших типах геопросторових даних. В рамках даного курсу розглядаються різні типи методів класифікування, серед яких як контрольовані, так і неконтрольовані. Також курс спрямований на вивчення підходів до обробки та підготовки вхідних даних для класифікування. Разом з цим досліджуються відомі методи оцінюванню точності отриманих результатів класифікування.

Окрім теоретичних основ, розглядаються також практичні аспекти використання сучасних інструментів і технологій класифікування для вирішення тематичних задач дистанційного зондування Землі.

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.

СК03. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською, англійською або іншими мовами, глибоке розуміння іншомовних (зокрема, англійських) наукових текстів за напрямом досліджень.

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.

- Після завершення курсу аспіранти зможуть:
- підготувати геопросторові дані для класифікування;
 - виконувати класифікування об'єктів на аеро- та космічних зображеннях та інших геопросторових даних;
 - оцінювати точність одержаних класифікацій.

5. Результати навчання:

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		<i>Форма/Методи викладання і навчання</i>	<i>Форма/Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	<i>Підходи до формування геопросторових даних для класифікування об'єктів</i>	<i>Лекція</i>	<i>Усне опитування</i>	<i>до 5%</i>
1.2	<i>Методи неконтрольованого класифікування аеро- та космічних зображень та інших геопросторових даних</i>	<i>Лекція</i>	<i>Усне опитування</i>	<i>до 10%</i>
1.3	<i>Методи контрольованого класифікування аеро- та космічних зображень та інших геопросторових даних</i>	<i>Лекція</i>	<i>Усне опитування</i>	<i>до 10%</i>
1.4	<i>Методи оцінювання точності класифікації</i>	<i>Лекція</i>	<i>Усне опитування</i>	<i>до 5%</i>
2.1	<i>Формувати набір вхідних геопросторових даних для класифікування об'єктів з використанням методів контрольованого та неконтрольованого класифікування</i>	<i>Практична робота, самостійна робота</i>	<i>Виконання практичної роботи</i>	<i>до 10%</i>
2.2	<i>Застосовувати методи неконтрольованого класифікування до геопросторових даних, зокрема аеро- та космічних зображень</i>	<i>Практична робота, самостійна робота</i>	<i>Виконання практичної роботи</i>	<i>до 15%</i>
2.3	<i>Застосовувати методи контрольованого класифікування до геопросторових даних, зокрема аеро- та космічних зображень</i>	<i>Практична робота, самостійна робота</i>	<i>Виконання практичної роботи</i>	<i>до 15%</i>
2.4	<i>Оцінювати точність одержаних класифікацій</i>	<i>Практична робота, самостійна робота</i>	<i>Виконання практичної роботи</i>	<i>до 10%</i>
3.1	<i>Обґрунтовувати вибір методу класифікування об'єктів на аеро- та космічних зображеннях, аргументуючи його переваги над іншими методами</i>	<i>Практична робота, самостійна робота</i>		<i>до 5%</i>
3.2	<i>Представляти одержані класифікації у зрозумілій та візуально доступній формі</i>	<i>Практична робота, самостійна робота</i>		<i>до 10%</i>
4.1	<i>Використовувати отримані знання про класифікування об'єктів на аеро –</i>	<i>Практична робота</i>		<i>до 5%</i>

та космічних зображеннях і інших геопросторових даних при вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі			
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--

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	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	4.1
PH02. 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.	+	+	+	+	+	+	+	+			
PH03. 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.	+	+	+	+	+	+	+	+			
PH04. 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.	+	+	+	+	+	+	+	+			
PH05. 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.					+	+	+	+			
PH06. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, 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. 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.						+	+	+	+	+	+
РН08. 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 “Застосування методів класифікування об’єктів до геопросторових даних” – 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 класифікування об’єктів на аеро та космічних зображеннях та інших геопросторових даних. **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: 4 лекції та виконання 4 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. Підходи до формування геопросторових даних для класифікування об'єктів	1		4
2	Тема 2. Методи неконтрольованого класифікування аеро- та космічних зображень та інших геопросторових даних	2		4
3	Тема 3. Методи контрольованого класифікування аеро- та космічних зображень та інших геопросторових даних	2		4
4	Тема 4. Методи оцінювання точності класифікації	1		4
5	Практична робота 1. Формування набору вхідних геопросторових даних для класифікування об'єктів з використанням методів контрольованого та неконтрольованого класифікування		1	6
6	Практична робота 2. Застосування методів неконтрольованого класифікування до геопросторових даних, зокрема аеро-та космічних зображень		2	6
7	Практична робота 2. Застосування методів контрольованого класифікування до геопросторових даних, зокрема аеро-та космічних зображень		2	6
8	Практична робота 4. Оцінювання точності одержаних класифікацій		1	4
	<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 - 38 год.

Контрольна робота – 2 год.

Іспит з дисципліни – 2 год.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА:

Основні:

1. Андреев, А. А. (2023). Методика класифікування об'єктів на аеро- та космічних зображеннях в умовах низької розділимості розпізнавальних ознак. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 10(3), 4-9. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.3.244>
2. Станкевич, С.А., Сахацький, О.І., Козлова, А.О. (2008). Класифікування покриттів ландшафту з використанням повного набору нормалізованих міжканальних індексів і додаткових контекстуальних ознак. *Космічна наука і технологія*, 14(2), 28-31.
3. Andreiev, A., & Artiushyn, L. (2024). Improvement of land cover classification accuracy by training sample clustering. *RADIOELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEMS*, 66–72. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.06>
4. Andreiev, A., Kozlova, A., Artiushyn, L., & Sedlacek, P. (2024). Enhancement of Land Cover Classification by Geospatial Data Cube Optimization. *Computer Modeling and Intelligent Systems*, 3702, 292-304.
5. Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
6. Berry, M., Mohamed, A., & Yap, B. W. (2019). *Supervised and Unsupervised Learning for Data Science*. Springer, Cham.
7. Dhu, T., Giuliani, G., Juárez, J., Kavvada, A., Killough, B., Merodio, P., Minchin, S., & Ramage, S. (2019). National Open Data Cubes and their contribution to Country-Level Development Policies and Practices. *Data*, 4(4), 144. <https://doi.org/10.3390/data4040144>
8. Foody G, Ling F, Boyd D et al (2019) Earth observation and machine learning to meet sustainable development goal 8.7: mapping sites associated with slavery from space. *Remote Sens*, 11, 266. <https://doi.org/10.3390/rs11030266>
9. Foody, G. M. (2015). The effect of mis-labeled training data on the accuracy of supervised image classification by SVM. *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. <https://doi.org/10.1109/igarss.2015.7326952>
10. Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
11. Hearst, M. A., Dumais, S. T., Osuna, E., Platt, J., & Scholkopf, B. (1998). Support vector machines. *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*, 13(4), 18-28. <https://doi.org/10.1109/5254.708428>
12. Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., & Coops, N. C. (2022). Land cover classification in an era of big and open data: Optimizing localized implementation and training data selection to improve mapping outcomes. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112780. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112780>
13. Mas, J., & Flores, J. J. (2007). The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(3), 617–663. <https://doi.org/10.1080/01431160701352154>
14. Montero, D., Kraemer, G., Anghela, A., Camacho, C. A., Brandt, G., Camps-Valls, G., Cremer, F., Flik, I., Gans, F., Habershon, S., Ji, C., Kattenborn, T., Martínez-Ferrer, L., Martinuzzi, F., Reinhardt, M., Söchting, M., Teber, K., & Mahecha, M. (2023). Data Cubes for Earth System research: Challenges ahead. EarthArXiv (California Digital Library). <https://doi.org/10.31223/x58m2v>
15. Popov, M. O. (2007). Methodology of accuracy assessment of classification of objects on space images. *Journal of Automation and Information Sciences*, 39, 1–10. <https://doi.org/10.1615/J Automat Inf Scien.v39.i1.50>
16. Sedgwick, P. (2014). Cluster sampling. *BMJ*, 34, 1215. <https://doi.org/10.1136/bmj.g1215>

17. Steel, C., & Tech, V. (2015). ARCADE: Accurate Recognition of Clusters Across Densities. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36141.79843>

Додаткові:

1. Bruzzone, L., & Persello, C. (2009). A novel context-sensitive semisupervised SVM classifier robust to mislabeled training samples. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(7), 2142–2154. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2008.2011983>
2. Congalton, R. G., & Green, K. (2008). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
3. Ferreira, B., Silva, R. G., & Pereira, V. (2017). Feature selection using non-binary decision trees applied to condition monitoring. *22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. <https://doi.org/10.1109/etfa.2017.8247642>
4. Huang X, Cao R, Cao Y (2019) A density-based clustering method for the segmentation of individual buildings from filtered airborne LiDAR point clouds. *J Indian Soc Remote Sens*, 47, 907–921. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0911-y>
5. Huang, Z. (1998). Extensions to the k-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(3), 283-304. <https://doi.org/10.1023/A:1009745219419>
6. Hurskainen, P., Adhikari, H., Siljander, M., Pellikka, P., & Hemp, A. (2019). Auxiliary datasets improve accuracy of object-based land use/land cover classification in heterogeneous savanna landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111354. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111354>
7. Latham, J., He, C., Alinovi, L., DiGregorio, A., & Kalensky, Z. (2002). FAO Methodologies for Land cover Classification and Mapping. *In Springer eBooks* (pp. 283–316). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0985-1_13
8. Liu, T., Shi, C., Benediktsson, J. A., & Du, H. (2019). Novel Land Cover Change Detection Method Based on k-Means Clustering and Adaptive Majority Voting Using Bitemporal Remote Sensing Images. *IEEE Access*, 7, 34425–34437. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2892648>
9. Montero, D., Aybar, C., Mahecha, M. D., Martinuzzi, F., Söchting, M., & Wieneke, S. (2023). A standardized catalogue of spectral indices to advance the use of remote sensing in Earth system research. *Scientific Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02096-0>
10. Stewart, J. S. (1998). Combining satellite data with ancillary data to produce a refined land-use/land-cover map. <https://doi.org/10.3133/wri974203>

Питання до іспиту

1. Порівняльний аналіз методів контрольованого та неконтрольованого класифікування. Їхні переваги та недоліки.
2. Порівняльний аналіз центроїдних методів неконтрольованого класифікування та тих, що базуються на щільності ознак. Їхні переваги та недоліки.
3. Центроїдні методи неконтрольованого класифікування. Навести приклади таких методів.
4. Методи неконтрольованого класифікування, що базуються на щільності ознак. Навести приклади таких методів.
5. Метод класифікування K-середніх.
6. Метод класифікування CURE.
7. Метод класифікування DBSCAN.
8. Метод класифікування K-найближчих сусідів.
9. Метод класифікування відстань Махаланобіса.
10. Метод класифікування максимальної правдоподібності.
11. Метод класифікування опорних векторів.
12. Метод класифікування Random forest.
13. Поняття куба геопросторових даних. Умови його формування для класифікування.
14. Поняття навчальної вибірки. Репрезентативність, достатність та чистота навчальної вибірки.
15. Матриця помилок для класифікації, яка має більше 2 класів. Загальна точність, Капа-індекс, точність користувача та точність виробника.
16. Матриця помилок для бінарної класифікації. Загальна точність, F-міра, влучність і повнота.