

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**  
« 29 вересня 2025 року

Робоча програма навчальної дисципліни

**Основи синтезу статистичних моделей фрактальних геофізичних полів,  
геосистем та процесів за даними дистанційного зондування**  
*(Fundamentals of synthesis of statistical models of fractal geophysical fields, geosystems and processes  
according to remote sensing data)*

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії

галузь знань	<b>17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації</b>
спеціальність	<b>172 – Електронні комунікації та радіотехніка</b>
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: **Артюшенко Михайло Віталійович**, доктор технічних наук, доцент,  
головний науковий співробітник відділу геопросторового моделювання в  
аерокосмічних дослідженнях ЦАКДЗ ІГН НАН України

© М. В. Артюшенко, 2025

Київ – 2025

Розробник: Артюшенко Михайло Віталійович, доктор технічних наук, доцент,  
головний науковий співробітник відділу геопросторового моделювання в  
аерокосмічних дослідженнях ЦАКДЗ ІГН НАН України

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** – сформувані у аспірантів уявлення про:

- негладкі (недиференційовані) геофізичні поля, що досліджуються дистанційними методами;
- методи статистичного опису, мультифрактального та комп'ютерного моделювання геосистем і процесів для інтерпретації даних дистанційного зондування (ДЗ) довкілля.

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

- Диплом магістра з технічних або фізико-математичних спеціальностей.
- Теоретичні знання та практичні навички з обробки та класифікації матеріалів ДЗ, Теорії ймовірностей, Математичної статистики.
- Вміння самостійної роботи з науковою літературою.

### **3. Анотація навчальної дисципліни**

Розглядаються теоретичні основи статистичних методів синтезу моделей фрагментів систем географічних оболонок Землі на основі спостережень за фізичними полями.

У результаті зондування Землі створюються і аналізуються на цифрових знімках в різних спектральних діапазонах образи природних або штучних фізичних полів: спектральних яскравостей, радіолокаційних, температурних, лідарних вимірів та ін. В процесі комп'ютерної обробки даних, представлених космічними знімками, виявляється залежність структури поля, що спостерігається, від просторової розрізненості. Зі збільшенням розрізненості мінливість геофізичних полів зростає, що вказує на неоднорідність і анізотропність середовища зондування; обмеження на гладкість і диференційованість функції поля, на яких побудована прикладна теорія поля, стають мало обґрунтованими. Таке поле має безліч особливих точок, в яких функція поля не є такою, що диференціюється. У таких полях інакше відбуваються процеси дифузії, тепло- і масопереносу. Очевидно, що опис процесів сучасної обробки сигналів і полів неможливо виконати за допомогою формул класичної регулярної математики, отриманих на основі представлення гладких функцій.

Стосовно задач інтерпретації даних ДЗ у даний час набувають розповсюдження методи і моделі, що ґрунтуються на засадах статистичних та інформаційних ентропій та дивергенцій, мультифрактальних мір. Для багатьох просторово-розподілених геосистем коректне вивести детермінований закон еволюції спостережуваної системи або її частини не представляється можливим з причини великої кількості непередбачуваних і невідомих чинників, що впливають на систему. Проте на мікрорівні доступними для спостереження є статистичні розподіли елементів системи та інформаційні ентропії, що дозволяє визначити стан системи і передбачати її поведінку.

### **4. Цілі навчання**

Ознайомити аспірантів з теоретичними основами, принципами і показниками сучасних методів статистичного та мультифрактального моделювання геосистем за даними ДЗ. Вивчити та застосувати у своїх подальших дослідженнях сучасні методи та алгоритми нелінійної динаміки (самоорганізації), інформаційних ентропій для синтезу моделей інтерпретації даних ДЗ природного середовища.

Протягом навчання аспіранти мають здобути загальні компетентності (ЗК):

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК03. Здатність працювати в міжнародному контексті.

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.

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

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.

## 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 степеневих розподілів та принципи синтезу статистичних фрактальних моделей геосистем та процесів за даними ДЗ	лекції	залік	10%
1.2	Математичні методи і алгоритми ідентифікації степеневих розподілів спектральних сигнатур геосистем	лекції, ПЗ	залік	15%
1.3	Інформаційні ентропії, дивергенції і їх застосування при аналізі даних ДЗ геосистем і процесів	лекції, ПЗ	залік	15%
1.4	Перколяційна модель опису просторових кластерних розподілів геосистем, мультифрактальне модулювання даних ДЗ	лекції	залік	10%
2	Синтез статистичних, комп'ютерних моделей геосистем і процесів при вирішенні тематичних задач ДЗ, математичний опис систем та прогнозування процесів	практичні заняття	захист результатів ПЗ	30%
3	Комп'ютерне моделювання статистичних моделей за даними ДЗ	практичні заняття	захист результатів ПЗ	10%
4	Валідація статистичних моделей ДЗ	практичні заняття	захист результатів ПЗ	10%

**Структура курсу:** лекційні та практичні заняття, самостійна робота аспірантів.

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

Результати навчання дисципліни. Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3	4
РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, 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.	+	+	+	+	+		
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 нефхівцями 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.	+	+	+	+	+	+	+
РН09. Організовувати і здійснювати освітній процес у сфері електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, його наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення, розробляти і викладати спеціальні навчальні дисципліни у закладах вищої освіти.					+	+	

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання студентів.

Семестрове оцінювання:

- Реферат за однією з тем на вибір “Прояв самоорганізованої критичності у природних системах і соціальних структурах (the Science of Self-Organized Criticality)”, “Методи ідентифікації степеневих розподілів, приклади розподілу спектральних сигнатур”, “Ентропія та дивергенція Реньї, статистичні фрактали природних систем”, “Перколяційні моделі кластерних структур, на прикладах всихання лісів”, “Мультифрактальне моделювання ризиків виникнення пожеж на торф'яниках” – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів). Аспірант може запропонувати на розгляд власну назву реферату, яка узгоджується з програмою навчальної дисципліни.

- Оцінка за роботу на лекційних та практичних заняттях – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів).

Підсумкове оцінювання у формі іспиту: максимальна оцінка 40 балів (рубіжна оцінка 24 бали). Під час іспиту аспірант письмово відповідає на два теоретичних питання з курсу, розв'язує практичну задачу та усно відповідає на додаткові питання викладача.

Результати навчальної діяльності аспірантів оцінюються за 100 бальною шкалою.

Кількість балів	Семестрова робота	Реферат	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	18	18	24	60
Максимум	30	30	40	100

Аспірант не допускається до підсумкового оцінювання у формі іспиту, якщо під час семестру (включаючи написання реферату) набрав менше 20 балів.

### 7.2. Організація оцінювання

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою та передбачає: роботу на лекціях та практичних заняттях (де аспіранти мають продемонструвати якість засвоєння матеріалів курсу та вирішити поставлені задачі використовуючи визначені викладачем методи та засоби), виконання самостійних завдань (де аспіранти мають вирішувати поставлені задачі без обмеження методів та інструментарію) та написання реферату. 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

№	Назва теми	Кількість годин			
		лекції	ПЗ	СР	інше
1	Вступ. Обґрунтування, мета та завдання дисципліни, структура курсу, звітність	1			
2	Тема 1. Теоретичні основи статистичного моделювання негладких структур довкілля, знайомство з теорією самоорганізованої критичності (the Science of Self-Organized Criticality) природних систем, приклади	2		6	
3	Тема 2. Формування спектральних (гіперспектральних) даних природних систем. Степеневі розподіли та методи і алгоритми їх ідентифікації, приклади комп'ютерних реалізацій.	2	4	8	
4	Тема 3. Інформаційні ентропії та дивергенції, фрактали та статистичні фрактали (мультифрактали, або фрактали на фракталах)	2	4	10	
5	Тема 4. Алгоритми та приклади обчислення фракталів, мультифракталів, мультифрактальні індекси-міри за даними зондування природних систем.	4	4	10	
6	Тема 5. Перколяційна модель опису просторових кластерних розподілів геосистем	1			
7	Іспит з дисципліни				2
	Всього	12	12	34	2

Загальний обсяг 60 год., в тому числі:

Лекцій – 12 акад. год.

Практичні заняття – 12 год.

Самостійна робота – 34 год.

Іспит – 2 год.

## Рекомендовані джерела

### Основні:

1. Bak P. How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. Copernicus, 2013, 240 p., ISBN-10: 1475754272
2. Feder, J. Fractals. Springer US, 2013, 284 p., ISBN: 9781489921260, 1489921265  
Федер Е. Фракталы. М., Мир, 1991, 254 с.
3. Schroeder M. Fractals, chaos, power laws. N.Y., Freeman and Co, 1990, 429 p., ISBN: 0716721368
4. Newman M. E. J. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. Journal Contemporary Physics, 2005, V. 46. P. 323-351.
5. Артюшенко М. В, Томченко О. В. Перколяційна модель для контролю над поширенням заражень лісу за зображеннями з космічних апаратів. Космічна наука і технологія. 2020. 26, № 4 (125). С. 45-46. <https://doi.org/10.1507/knit2020.04.045>
6. Артюшенко М.В., Порушкевич А.Ю. Застосування інформаційних дивергенцій до аналізу геосистем і процесів за даними дистанційного зондування. Український журнал дистанційного зондування Землі, 2023, 10 (2), С.4–11. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.2.232>  
<https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/232>
7. Artiushenko M. V. Identification and Interpretation of Power-Law Distributions by Spectral Data of Remote Sensing. J. Automat. and Inform. Sci., 2018, 50(12), P. 17–33. <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v50.i12.20>
8. Artiushenko M. V. Statistical analysis of the unsmooth geophysical fields by remote sensing data. J. of Automation and Information Sciences, 2018, 50(6), P. 14–27, DOI:10.1615/JAutomatinfScien.v50.i6.20
9. Artiushenko, M. V., Khyzhniak A.V., Tomchenko O.V. Prediction and risk management of spreading forest pest infestations using satellite data, Space Science and Technology, 2024, 30, 3(148), P. 61-70. <https://doi.org/10.15407/knit2024.03.061>
10. Renyi A. On Measures of Entropy and Information // Proc. Fourth Berkeley Symp. on Math. Stat. and Prob. Univ. of Calif. Press, 1961, Vol. 1, P. 547-561.