

ВІДГУК

офіційного опонента **Бойченко Світлани Григорівни**,
провідного наукового співробітника відділу геомагнетизму
Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
доктора географічних наук, доцента
на дисертацію **Чигаревої Анастасії Юріївни** на тему:
«Хмари та опади в районі Антарктичного півострова: мікрофізика,
мезомасштабні процеси, кліматичні проєкції до кінця XXI ст.», подану на
здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 – Природничі науки за
спеціальністю 103–Науки про Землю

За результатами вивчення даної дисертаційної роботи та публікацій за
тему дослідження оцінюю її наступним чином:

1. Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень

Наукова цінність поданої до захисту дисертаційної роботи визначається поглибленням існуючих теоретичних положень, розробленням науково-практичних принципів моделювання атмосферних процесів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що дисертантом вперше:

- оцінено та знайдено спільні і відмінні риси характеристик мікрофізичних процесів опадо- та хмароутворення на перерізі через гори Антарктичного півострова від станції «Академік Вернадський» до бухти на місці зруйнованого льодовика Ларсен В під час проходження інтенсивних циклонів за результатами числового моделювання Polar WRF;

- визначено основні мезомасштабні процеси, що асоціювалися з інтенсивними опадами зі зміною фази для різних сезонів в районі Антарктичного півострова за проведеним комплексним аналізом на основі супутникових даних, реаналізу і числового моделювання;

- оцінено зміни температурного режиму холодного періоду, режиму рідких опадів та характеристик хмар, включно з водною фракцією, над Антарктичним півостровом за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей на основі аналізу спеціалізованих кліматичних індексів;

- запропоновано районування регіону Антарктичного півострова на основі проведеного аналізу зміни кліматичних індексів та визначено території, що найбільш вразливі до зміни режиму опадів, хмарності та приземної температури.

- удосконалено методичний підхід до отримання кліматичної характеристики регіону Антарктичного півострова на основі даних РКМ включно з оцінкою змін кліматичних характеристик, що пов'язані з хмаро та опадоутворенням.

Крім того, подальший розвиток дістали:

Крім того, отримано подальший розвиток в таких напрямках:

- використання числового моделювання з високою просторово-часовою роздільною здатністю для вивчення мезомасштабних та мікрофізичних процесів, пов'язаних із формуванням інтенсивних опадів в регіоні Антарктичного півострова;

- розкриття особливостей різних конфігурацій числової моделі Polar WRF у контексті параметризації фізичних процесів в регіоні Антарктичного півострова.

В результаті виконання досліджень автором отримано науково-обґрунтовані результати, які мають теоретичне та практичне значення.

Зокрема, отримані висновки можуть служити основою для удосконалення прогнозу інтенсивних опадів з метою подальшого планування експедиційних місій та навігації в регіоні. Вони також важливі для визначення мас-балансу льодовиків, формування поверхневого стоку та інших процесів в Антарктичному півострові та помірних широтах, наприклад, при інтенсивних снігопадах в Україні.

Наукова обґрунтованість теоретичних та експериментальних результатів

Матеріали досліджень. В дослідженні використовувалися дані бази реаналізу ERA5, регіональних кліматичних моделей міжнародної ініціативи ANT-CORDEX з початковими і граничними умовами глобальних кліматичних моделей з проекту CMIP5 та дані спостережень і вимірів на станції «Академік Вернадський» та інших в районі Антарктичного півострова.

Методи досліджень. Для виконання поставлених задач у дослідженні використовувалися методи *наукових досліджень*:

Емпіричні методи: збір емпіричних даних під час участі у загоні 26 та 27 Українських антарктичних експедицій; проведення радіозондування; порівняння результатів моделювання різних конфігурацій моделі Polar WRF; порівняння результатів моделювання для різних ділянок Антарктичного півострова.

Комплексні методи: глибоке дослідження регіону Антарктичного півострова, зокрема аналіз циркуляційних процесів в межах виділеної ділянки. Дослідження мікрофізичних процесів базується на результатах моделювання, яке має просторове розділення 1 км; аналіз різних типів вхідних даних; об'єднання та аналіз різноманітних видів вхідних даних для отримання комплексного уявлення про досліджувану область; налаштування конфігурації числової моделі Polar WRF для отримання точних та деталізованих результатів дослідження.

Фундаментальні методи: Аналіз кліматичних характеристик (детальне вивчення довгострокових патернів та змін в кліматі регіону Антарктичного

півострова); аналіз мезомасштабних процесів (розгляд масштабів, що знаходяться між кліматичними та мікрофізичними, для розуміння впливу середньомасштабних явищ на опадоутворення); аналіз мікрофізичних особливостей хмаро- та опадоутворення (вивчення мікромасштабних процесів у хмарах та в процесі утворення опадів для отримання деталізованої інформації).

Спеціальні методи: кліматичний аналіз на основі даних реаналізу ERA5 та проєкцій зміни клімату ANT-CORDEX CMIP5 з використанням мов програмування Python та синоптичний аналіз за даними реаналізу ERA5 та моделювання PolarWRF (розрахунки усереднених та екстремальних показників за ансамблями кліматичних моделей; візуалізація даних спостережень, вимірів, кліматичних моделей, реаналізу та даних моделювання, для чого адаптовано стандартні скрипти бібліотек wrf-python та MetPy).

Практичне використання результатів досліджень. Результати симуляції числової моделі Polar WRF для інтенсивних опадів можуть слугувати як база для подальших наукових досліджень у даному регіоні. Отримані висновки можуть бути використані для глибшого розуміння мезомасштабних та мікрофізичних процесів, пов'язаних з опадами. Розроблений удосконалений методичний підхід до отримання кліматичної характеристики може бути застосований з новим поколінням числових моделей та сценаріями, що дозволить покращити точність та надійність кліматичних оцінок та прогнозів для регіону. Розроблені методи та отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень, таких як вивчення інших атмосферних процесів та їх впливу на клімат.

Отже, зазначений у дисертації фактаж, використані методи та підходи до обробки та аналізу даних, а також представлені матеріали в додатках переконливо свідчать про достовірність наукових положень і висновків, викладених у дисертаційній роботі.

2. Рівень виконання поставленого наукового завдання

Метою дисертаційної роботи є визначення мезомасштабних та мікрофізичних особливостей процесів хмаро- та опадоутворення під час випадків інтенсивних опадів в районі Антарктичного півострова та аналіз їх кліматичних проєкцій до кінця XXI століття. Для досягнення мети автором окреслено наступні завданнями:

- визначити методичні підходи для аналізу характеристик режиму хмар та опадів до кінця XXI ст., а саме оптимальних налаштувань регіональної чисельної моделі Polar WRF для моделювання випадків з інтенсивними опадами;

- оцінити мезомасштабні умови формування інтенсивних атмосферних опадів, що впливають на кліматичну вразливість в регіоні Антарктичного півострова;

- визначити особливості мікрофізичних характеристик хмар та атмосферних опадів під час випадків інтенсивних опадів зі зміною фази в районі Антарктичного півострова;

- оцінити кліматичні проєкції до кінця XXI ст. та визначити області з різною кліматичною вразливістю індексів, що асоціюються з режимом хмаро-та опадоутворення у регіоні Антарктичного півострова.

Дисертація написана українською мовою. Стиль викладення матеріалу відповідає прийнятому у науковій літературі. Дисертаційна робота має належну структуру – складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 133 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 263 сторінок, текстова частина проілюстрована табличними, графічними матеріалами достатньою мірою (76 рисунків та 5 таблиць). Основні положення дисертаційного дослідження чіткі, добре структуровані, логічномотивовані.

У вступі аргументовано висвітлено актуальність теми дисертаційного дослідження, наведена загальна характеристика роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет, завдання наукового дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи.

У розділі 1: *«Сучасні дослідження характеристик хмар та опадів в полярних регіонах»*, представлено аналіз попередніх досліджень кліматичних особливостей полярних регіонів, характеристик мезо- та мікомасштабних атмосферних процесів в полярних регіонах та в Антарктиді.

Розділ 2: *«Початкові дані та методичні підходи до дослідження полярних хмар та опадів»*, присвячено опису даних та інструменти їхньої обробки, що використовувалися як для оцінки зміни клімату у регіоні, так і для вивчення процесів опадо- і хмароутворення у найбільш вразливих до зміни клімату районах Антарктичного півострова.

У розділі 3: *«Процеси формування полярних хмар та інтенсивних опадів в районі Антарктичного півострова»*, представлено аналіз процесів атмосферної циркуляції, мезомасштабним умовам та мікрофізичним процесам формування хмар та опадів, що асоціюються з утворенням інтенсивних опадів зі зміною фази в районі Антарктичного півострова.

Розділ 4: *«Кліматичні проєкції хмар та опадів в районі Антарктичного півострова до кінця XXI ст.»*, присвячено аналізу проєкцій кліматичних характеристик за ансамблем РКМ в районі Антарктичного півострова за двома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 для середини та кінця XXI століття.

Про обґрунтованість отриманих результатів свідчить їх апробація, а саме наукові результати дисертаційного дослідження опубліковано у 26 наукових працях (6 статей у періодичних наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та WebofScience) та у 20-и тезах конференцій.

Обсяг і зміст опублікованих праць Чигаревої Анастасії Юріївни свідчить, про належний рівень викладу основних результатів дисертаційного

дослідження, обґрунтованість та достовірність висновків та рівень висвітлення, отриманих здобувачем результатів на конференціях та у наукових статтях, можна вважати, що поставлене наукове завдання є виконаним. Дисертантка успішно реалізувала завдяки коректно обраній вихідній інформації, належній методологічній базі, глибокому аналізу літературних джерел, інтерпретації отриманих результатів та встановленню причинно-наслідкових зв'язків.

3. Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Аналіз використаних в роботі Чигаревої Анастасії Юріївни методів дослідження, а також отримані результати, їх інтерпретація та форми представлення, свідчать про належний рівень оволодіння здобувачем методології наукової діяльності.

Здобувачка послідовно виконала потрібні етапи - проаналізовано і узагальнено існуючі підходи сучасних досліджень за темою дисертації, вибір достовірної вихідної інформації та методів дослідження, аналіз отриманих результатів та формування на його основі висновків дослідження. Вибір підходів, методів та моделей для одержання нових результатів здобувачкою показує її високий рівень оволодіння методологією наукової діяльності. Використовуючи теоретичні методи синтезу та узагальнення інформації визначено, що репрезентативні висновки можна отримати шляхом комплексного підходу з використанням ряду методів та моделей.

Наведені в дисертації висновки доцільно та влучно узагальнюють наукові результати роботи, є науково обґрунтованими і містять рекомендації з їхнього подальшого використання.

5. Дискусійні положення, зауваження та пропозиції

Позитивно оцінюючи дисертаційне дослідження Чигаревої Анастасії Юріївни, хочу відмітити, що робота містить певні дискусійні моменти і зауваження, які можуть бути з'ясовані під час захисту дисертації та враховані дисертантом у подальшій науковій роботі, а саме:

1. В розділі 3.1. представлені результати симуляції числової моделі Polar WRF та дані реаналізу ERA-5 для станцій «Академік Вернадський» та «Професор Хуліо Ескудеро» за періоду з 30 листопада до 8 грудня 2018 року, але в той же час автор відмічає складність верифікації моделі через недостатність відповідних вимірів (стр.75), але частина висновків Розділу 3. базується саме на оцінках моделі Polar WRF. Як Ви поясните доцільність використання цієї чисельної моделі?

2. В підрозділі 4.1, проводиться аналіз часового ходу зміни двох кліматичних індексів, а саме кількість днів коли максимальна/мінімальна температури менші за 0°C (ID – IceDays / FD - FrostDays) за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 та для ансамблю РКМ для Антарктичного півострова та для району станції «Академік Вернадський» в середині та до кінця XXI ст., але відсутній

більш детального аналізу історичного періоду, його особливостей. Розкрийте, будь-ласка, це у відповіді.

3. В підрозділ. 4.3, представлено порівняння значень змін інтегрованого вмісту льоду (IWP) та інтегрованого вмісту всієї сконденсованої вологи (CWP) у стовпі атмосфери за історичний період 1986-2005 із сценарними оцінками на основі проєкцій RCP 4.5 та RCP 8.5. Таким чином на основі історичного періоду за 20 років (1986-2005 рр.) на основі даних проєкцій представляється прогноз на віддалений період 2041-2060 і 2081-2021. Виникає запитання щодо надійності модельних оцінок, що потребує додаткових пояснень, а також не наводяться похибок проєкції (підрозділ 4.3.1.).

4. Авторка відмічає ...«Але отримані кількісні оцінки IWP і CWP слід розглядати з обережністю, оскільки у дослідженні не виконувалась верифікація результатів розрахунків РКМ за будь-якими вимірюваннями в історичний період у зв'язку з їхньою відсутністю» (стр.165), тоді висновок «на основі проведеного аналізу можна стверджувати, що зросте не тільки загальна кількість хмар в регіоні, але і рідка фаза у хмарах відповідно до співвідношення змін IWP та CWP» слід формулювати більш модально з наведенням обмежень і похибок.

5. Підрозділ 4.3.3. Дуже сильні опади (стр. 172), не пояснено, поняття «дуже сильні опади», а також вказано яку кількість опадів за певний час в цьому регіоні можна віднести до «дуже сильних»? І взагалі підрозділ названо некоректно.

6. Далі вводиться термін «зміна екстремальності опадів», це що інтенсивність, чи повторюваність (частота), чи кількість випадків?

7. Нижче за текстом авторка, вже оперує поняттям «найвищі значення 95 перцентилі» (стр.173)... Необхідно узгодити ці поняття і пояснити.

8. Для оцінки зміни режиму екстремальних опадів, було обрано показник що відповідав частці (%) днів у майбутньому періоді, коли значення добової суми опадів були вищим за значення 95го перцентилі у базовий період (рис. 4.17 с, d, g, h). Яке значення було прийнято для базового історичного періоду? (стр.173).

9. Фраза «Найбільші зміни отримано над морем Уедделла та підвітряними схилами Антарктичного півострова, оскільки в базовий період в тому регіоні значення показника відносно низькі, непрямим підтвердженням чому є найнижчі інтенсивності опадів у регіоні (рис.4.7 b). Тому навіть незначне збільшення добової кількості опадів призводить до значних відносних змін показника» є незрозумілим і доволі спірним (стр.173).

10. Рис.4.17. «Значення 95-го перцентилі суми опадів за добу та частка періоду (%) з опадами більше 1 мм/день, коли опади вище відповідного історичного значення». Але ця характеристика відноситься до кількості днів з опадами більше 1 мм/день, а не до екстремальних опадів.

Загалом, хочу відмітити, що модельні оцінки (проекційні) на основі історичного періоду за 20 років і всій роботі, слід формулювати модальні без наведенням похибок.

Зауваження щодо оформлення:

- підрозділ 1.2.3. Просторовий розподіл (стр.159) повинен бути... 4.1.3.
- у додатках дуже дрібні підписи...
- на рис.2.2-2.5, 2.9 та інші необхідно указувати масштаб (це вимоги представлення карт і схем).

Загальний висновок

Дисертаційна робота **Чигаревої Анастасії Юріївни** на тему «Хмари та опади в районі Антарктичного півострова: мікрофізика, мезомасштабні процеси, кліматичні проєкції до кінця ХХІ ст. є завершеним самостійним дослідженням, яка містить нові науково-обґрунтовані результати, що мають важливе значення в галузі природничих наук. Обрану тему розкрито в повному обсязі, вирішено поставлені завдання й досягнуто мету дослідження, отримано нові науково-обґрунтовані результати, які мають теоретичне та практичне значення. Висновки вмотивовані і несуперечливі. Оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим наказом Міністерством освіти та науки України від 12 січня 2017 року №40.

Дисертація робота відповідає спеціальності 103 Науки про Землю та вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її авторка **Чигарева Анастасія Юріївна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 Науки про Землю.

Офіційний опонент:

провідний науковий співробітник
відділу геомагнетизму

Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна
Національної Академії Наук України,
доктор географічних наук, доцент



Світлана БОЙЧЕНКО

Підпис засвідчую
Вчений секретар
Інституту геофізики
імені С.І.Субботіна НАНУ

08.12.2023

Володимир ІЛЬЄНКО