

**Висновок про наукову новизну теоретичне та практичне значення результатів дисертації Малоштана Сергія Миколайовича на тему "Флюїдний синтез кубічного графіту та інших поліморфних модифікацій вуглецю", поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 103 Науки про Землю**

**Обґрунтування вибору теми дослідження :**

Дискусійність генезису вуглецевих фаз у природі;  
Недостатня вивченість ролі надкритичних флюїдів;  
Необхідність ідентифікації проміжних фаз вуглецю;  
Енергетичні та технологічні виклики промислового синтезу;  
Практичний запит на нові вуглецеві матеріали.

**Об'єкт дослідження** — Розробка методу флюїдного синтезу кристалів.

**Предмет дослідження** — Синтез кубічного графіту та інших поліморфних модифікацій карбону.

**Мета:** показати, що у розробленому методі, синтез кристалів може здійснюватись за менших Р-Т параметрів ніж тих, що нині існують; на прикладі багатьох експериментів довести існування фази Кубічний графіт, а також можливості одночасного утворення різних поліморфних модифікацій карбону у процесі синтезу.

**Методи дослідження:** теоретичний, ретроспективний, інструментальний (рентгенографічні дослідження, растрова електронна мікроскопія, електронно-зондовий мікроаналіз, заміри твердості, електронна дифракція), порівняльний метод, метод спостереження, метод узагальнення.

**Наукова новизна дослідження.**

- доведено, що розроблений метод флюїдного синтезу кристалів може здійснюватись за менших Р-Т параметрів, ніж нині існують;
- за допомогою багатьох експериментів доведено існування фази кубічного графіту, а також можливості одночасного утворення різних поліморфних модифікацій карбону;
- визначені оптимальні Р-Т параметри утворення кубічного графіту із сажі і активованого вугілля;
- запропоновано нові (уточнені старі) рентгенівські дані для кубічного графіту (параметри ґратки, міжплощинні відстані і інтенсивність дифракційних рефлексів);
- експериментальні результати з флюїдного синтезу гексагонального графіту із сажі (700–800 °С) скориговані з визнаною в літературі температурою його кристалізації (400–750 °С) у природних умовах, яка водночас істотно відрізняється від температури промислового синтезу графіту із сажі (>2000 °С).

**Теоретичне значення** дослідження полягає в тому, що: висвітлено основні засади методу флюїдного синтезу, захищеного патентом України. Наведена порівняльна характеристика цього методу і традиційних методів отримання різноманітних матеріалів у контексті природного мінералоутворення;

- у перспективі відповідно до теоретичних розрахунків, відкривається можливість використання цих матеріалів для зберігання водню, створення надтвердих покриттів, пористих низькодіелектричних матеріалів та розвитку нових напрямів у нанотехнологіях.

**Практичне значення:** обґрунтовано та експериментально реалізовано принципово новий спосіб флюїдного синтезу поліморфних модифікацій вуглецю.

- Визначено та систематизовано чіткі технологічні параметри (температура, тиск, час витримки та склад газового флюїду)

- Модернізовано експериментальну газову установку високого тиску «ГазВД-1»

- Експериментально доведена можливість утворення гексагонального графіту та діаманту за умов помірного тиску земної кори (0.2 ГПа) у флюїдних системах ( $\text{CO}_2$  -  $\text{CO}$ ). Це суттєво розширює пошукові та прогностичні критерії для виявлення нетрадиційних типів дрібнодисперсного діамантоносного та графітового оруденіння у метаморфічних комплексах і зонах глибокого метасоматозу (зокрема, в межах Українського щита).

**Особистий внесок здобувача.** Робота є результатом наукових і експериментальних досліджень автора. Зокрема, самостійно здійснено формулювання мети, завдань, обрано та застосовано комплекс методів досліджень, проведено обробку, інтерпретацію, аналіз і узагальнення отриманих результатів.

#### Апробація результатів дослідження

Малоштан С. М., Смоляр А. С. Покропивний О. В. Вплив тиску, температури та часу на утворення кубічного графіту при флюїдному синтезі у надкритичних параметрах  $\text{CO}_2$  Всеукраїнська наукова конференція "Геологічна будова корисних копалин", Інститут геохімії мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, 16–17 вересня, 2025 р., Київ.

8. Maloshtan S.M., Pokropivny A.V., Smolyar A.S. Supercritical fluid synthesis and structure of cubic carbon C96 phase as carbon KFI zeolite. 12<sup>th</sup> International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials" NANO-2024, 21-24 of August 2024, Uzhhorod, **Ukraine**.

9. Малоштан С. М., Покропивний О. В., Смоляр А. С., Куц В. О., Бархоленко В. О., Тітенко А. М. Надкритичний флюїдний синтез і структура нової кубічної C96 фази як вуглецевого цеоліту KFI з  $\text{sp}^3/\text{sp}^2$  гібридизацією. IX International Samsonov Conference "Materials Science Of Refractory Compounds" (MSRC-2024) May 27-30, 2024, Kyiv, Ukraine

10. Pokropivny A., Malochtan S., Smolyar A., Sylenko P., Solonin Y. "Supercritical fluid synthesis of nanocrystalline c-BN and other BN structures from graphite-like boron 8<sup>th</sup> International Materials Science Conference HighMatTech-2023, 2–6 october, 2023, Kyiv, Ukraine.

11. Малоштан С. М., Покропивний О. В., Смоляр А. С., Куц В. А., Бархоленко В. О. Надкритичний флюїдний синтез і структура нової кубічної C96 Фази як вуглецевого цеоліту KFI з  $\text{sp}^3/\text{sp}^2$  Гібридизацією Конференція "Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання" Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. Семененка НАН України 19–20 вересня 2023 р. Київ. С. 218–221.

12. Покропивний А. В. Малоштан С. М., Смоляр А. С. Куц В. А., Кравець А. Ф., Товстоліткін А. І., Герасімов Ф. Ю., Чанк М., Діпмеєр В., Силенко П. М., Солонін Ю. М. "Надкритичний флюїдний синтез кубічного нітриду бору та пов'язаних нетрадиційних фаз BN з графітоподібних BN як прекурсорів" Конференція "Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання" Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, 19–20 вересня 2023 р. Київ. С. 231–234.

**Публікації.** Основні результати роботи опубліковано у 19 наукових працях: 1 монографія, 6 статей (3 — Scopus) та 12 у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій (2 — Scopus).

**Список опублікованих праць за темою дисертації**

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

*(які входять до переліку МОН України)*

1. Малоштан С.М., Павлишин В.І. Вплив тиску, температури та часу на утворення кубічного графіту в процесі флюїдного синтезу з надкритичними параметрами CO<sub>2</sub>. *Мінерал. журн.*, 2026, т. 48, № 2, с. 57—63. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.48.02.057>

2. Смоляр А. С., Покропивний О. В., Малоштан С. М., Павлишин В. І., Куц В. О., Бархоленко В. О., Тітенко А. М. Бродніковський М. П., Шелудько В. Є., Блощаневич О. М., Стегній А. І., Хоменко В. Г. Флюїдний синтез кубічного графіту. *Мінерал. журн.*, 2026, т. 48, № 1, с. 43—57. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.48.01.045>

3. Малоштан С. М., Покропивний О. В., Смоляр А. С., Куц В. О., Бархоленко В. О., Тітенко А. М. Надкритичний флюїдний синтез і структура нової кубічної C96 фази як вуглецевого цеоліту KFI з sp<sup>3</sup>/sp<sup>2</sup> гібридизацією. *Мінерал. журн.*, 2024, 46, № 2, С. 46-53. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.02.046>

**Структура та обсяг дисертації.** Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел; містить 135 сторінок друкованого тексту, 71 рисунок, 19 таблиць, Список використаних джерел з 145 найменувань.

**Характеристика особистості здобувача.**

У процесі навчання в аспірантурі С.М.Малоштан проявив себе як обізнаний фахівець у галузі експериментальної мінералогії, попередньо пройшовши класичну українську школу з вирощування штучних мінералів, які нині покращують економіку України. Вчасно та успішно виконав освітню програму свого індивідуального плану, вдало поєднавши її з напруженою експериментальною роботою. Кожен раз, закладаючи, відповідно до мети експерименту, шихту в автоклав, ростовик – експериментатор задає параметри (Р, Т, час) росту кристалів, підбирає відповідну техніку, здійснює рентгенівську діагностику продуктів синтезу, вивчає їхню структуру, фізичні властивості та морфологію, узгоджує з результатами термодинамічного аналізу, з'ясовує можливе практичне значення. Весь цей широкоформатний комплекс непростих питань, пов'язаних з синтезом нових фаз, або відомих фаз, вирощених у нових умовах, досконало оволодів Сергій Миколайович, якого відповідально і високо оцінено як вченого і фахівця в галузі експериментальної мінералогії. За своїми науковими, професійними та особистісними якостями повною мірою відповідає вимогам, що висуваються до здобувачів наукового ступеня.

**Оцінка мови та стилю дисертації.**

Текст дисертації витриманий у строгому науковому стилі.

Робота відзначається бездоганим володінням сучасною геологічною, мінералогічною, кристалохімічною термінологією.

Матеріал дисертації розподілений за розділами у чіткій причинно-наслідковій послідовності. Текст побудований за класичною схемою: від обґрунтування теоретичного базису (реакція Будуара) та опису експериментального устаткування — до безпосереднього аналізу отриманих фаз вуглецю та узагальнення їхнього практичного значення.

Мова дисертації органічно доповнюється багатим та якісним графічним матеріалом. Наведені в роботі рентгенограми, дифракційні криві, табличні термодинамічні розрахунки, фотографії електронної мікроскопії та схеми установок є високоінформативними, мають чіткі підписи й умовні позначення. Вони не просто дублюють текст, а слугують наочним доказом висунутих автором наукових положень. Текст роботи написаний сучасною українською науковою мовою, є літературно грамотним і легким для читання. У дисертації відсутні русизми, синтаксичні повтори та тавтологія. Оформлення бібліографічних посилань та списку використаних джерел відповідає чинним нормам ДСТУ та вимогам Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО).

Мова та стиль дисертаційної роботи Малоштана С.М. повною мірою відображають високу наукову культуру здобувача, його аналітичне мислення та здатність чітко, аргументовано й переконливо викладати складні результати експериментальних досліджень. Робота повністю готова до публічного захисту.

**Відділ рекомендує:** відповідно до **п.15** 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 р. № 44, **пропонується такий склад разової ради:**

**Голова ради:**

**Кульчецька Ганна Олександрівна**, доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу регіональної та генетичної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

**Опоненти:**

**Рудь Олександр Дмитрович**, доктор фізико-математичних наук, професор, Завідувач відділу фізики дисперсних систем Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

**Пащенко Євген Олександрович**, доктор технічних наук, професор, Завідувач відділу Інституту Надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля

**Рецензенти**

**Луньова Ірина Миколаївна**, кандидат геологічних наук, науковий співробітник відділу регіональної та генетичної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

**Шкуренко Кирило Олександрович**, кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник відділу космоекології і космічної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів Малоштана Сергія Миколайовича.

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація..... відповідає спеціальності 103 Науки про Землю та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 **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 р. № 44.

3. Рекомендувати дисертацію.

4. Рекомендувати Вченій раді Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

**Голова ради:**

**Кульчецька Ганна Олександрівна**, доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу регіональної та генетичної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

**Опоненти:**

**Рудь Олександр Дмитрович**, доктор фізико-математичних наук, професор, Завідувач відділу фізики дисперсних систем Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

**Пащенко Євген Олександрович**, доктор технічних наук, професор, Завідувач відділу Інституту Надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля

**Рецензенти**

**Луньова Ірина Миколаївна**, кандидат геологічних наук, науковий співробітник відділу регіональної та генетичної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

**Шкуренко Кирило Олександрович**, кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник відділу космоекології і космічної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

Голова засідання

Секретар засідання



В.І. Павлишин



Анісим О.А.