

ВІДГУК

офіційного опонента доктора геологічних наук, професора

КУРОВЦЯ Сергія Сергійовича на дисертаційну роботу

Дікол Олени Сергіївни на тему:

**«ПРОЯВИ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ ДЕГАЗАЦІЇ В ДОННИХ ВІДКЛАДАХ
ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ ТА ЇХ
ГЕНЕТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ»**

поданої на здобуття наукового ступеня

**доктора філософії в галузі знань: 10 – Природничі науки, за спеціальністю 103 –
«Науки про Землю»**

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 171 найменування та 7 додатків. Загальний обсяг роботи – 188 сторінок. Дисертація містить 12 таблиць, 49 ілюстрацій.

СТУПІНЬ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Чорне море є найбільшим природним резервуаром метану на Землі. За різними даними щороку з його дна у водну товщу вивільняється близько 80 млрд м³ метану. З огляду на постійне оновлення вод Чорного моря внаслідок водообміну з Середземним морем і надходження прісної води від річок (Дунай, Дніпро, Дністер та ін.), можна припустити наявність значного висхідного потоку метану з надр.

Величезний інтерес до дегазації дна Чорного моря видно зі значної кількості національних та міжнародних проєктів. Саме це забезпечує своєчасність і актуальність вивчення прояв вуглеводневої дегазації в донних відкладах північно-західного шельфу Чорного моря та їх генетичну інтерпретацію. Цьому сприяють унікальні геолого-структурні характеристики північно-західного шельфу Чорного моря, які вирізняють його від інших частин шельфу. Це найширший (125-240 км) шельф у басейні, який становить 60-70% від загальної геоморфологічної провінції шельфу або близько 20% від загальної площі Чорного моря (Panin & Jira, 1998).

У межах шельфу виявлено понад 200 антиклінальних і купольних структур, частина з яких вже дали промислові притоки газу. Крім того, наявність численних газових сипів, факелів, грязьових вулканів і ізотопних аномалій свідчить про активну міграцію глибинних флюїдів, що підтверджує високий прогнозний потенціал району.

Відповідно до викладеного, обрана тематика дисертаційного дослідження є доцільною, актуальною та відповідає завданням Закону України № 3268-VI «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-

сировинної бази України на період до 2030 року», а також Морській доктрині України, орієнтованій на стратегію розвитку України як морської держави.

ОЦІНКА ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ, ЇЇ ДОСТОВІРНОСТІ ТА НОВИЗНИ

Усі наукові висновки та положення дисертації обґрунтовані дисертанткою на основі тривалих експедиційних і експериментальних досліджень, а також обробки їх результатів із використанням сучасних досконалих науково-прикладних методів. Достовірність одержаних результатів ґрунтується на значному обсязі фактичного матеріалу (158 проб, відібраних за профілями на трьох ділянках шельфу, виділених за допомогою геофізичних методів), зібраного кафедрою загальної та морської геології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова безпосередньо під час морських експедиційних досліджень. Оброблення матеріалу здійснювалося із застосуванням сучасних методик та ГІС-технологій, що дозволило визначити просторовий розподіл проявів глибинних флюїдних потоків (ГФП) у донних відкладах у межах досліджених ділянок.

Цінність роботи полягає у проведенні мультидисциплінарного аналізу донних відкладів з ціллю виявлення в них ознак вуглеводневої дегазації у формі ГФП, визначених кількісно-генетичними показниками, зафіксованими геофізичними, геолого-структурними, газогеохімічними, мінералого-термобарогеохімічними, хімічними, ізотопними, біоіндикаційними та дистанційними (спутниковими) методами.

Достовірність сформульованих висновків забезпечується надійним вибором мультидисциплінарних методологічних підходів з коректним використанням як наукового, так і емпіричного матеріалу. Обсяг, якість та комплексність залучених даних, а також ретельність їхнього аналізу створюють надійне підґрунтя для високої наукової вірогідності та обґрунтованості результатів дисертаційного дослідження.

Новизна одержаних результатів полягає в тому, що авторкою на основі комплексу мультидисциплінарних методів, аналітично та кількісно обґрунтовано ознаки вуглеводневої дегазації у формі ГФП в донних відкладах, розроблено кількісно-генетичну модель ГФП, описану через систему модельних геолого-геофізичних, газогеохімічних, мінералогічних, хіміко-ізотопних та біоіндикаційних ознак, які дозволили: підтвердити наявність у складі ГФП метану, його гомологів, алкенів і ацетилену; засвідчити здатність глинистих мінералів до сорбції вуглеводневих газів; - вивчити типоморфізм хімічного складу біогенного карбонату у мушлях *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) та виявити хімічні елементи, які були захоплені організмами під час їх росту у зоні впливу ГФП; зафіксувати зміни $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ в черепашках форамініфер *Ammonia tepida* (Cushman, 1926) та мушлях молюска *Cardium (Cerastoderma) edule* (Linnaeus, 1758) як показника флюїдного потоку, а також простежити зміни

в просторовому та таксономічному розподілі мейобентосних організмів (форамініфери, нематоди) як індикаторів генезису метану (біогенний чи абіогенний) та ідентифікувати території перспективні на скупчення вуглеводнів в осадовому чохлі.

У теоретичному плані галузь науки, залучена до дисертаційного дослідження, отримала нові знання. Теорія глобального флюїдогенезу збагатилася новими доказами існування та значущості абіогенного різновиду метану в загальному його балансі, шляхів його проходження через осадовий чохол, а також моніторингу забруднення морських акваторій вуглеводнями. З урахуванням того, що абіогенні вуглеводневі гази постійно виділяються з надр Землі, по-перше, вони безперервно забруднюють морське середовище, а по-друге, роблять скупчення (аж до родовищ) вуглеводнів у надрах шельфу морів потенційно невичерпними. Отримана інформація про типоморфні ознаки біогенного кальциту мушлів молюсків, ізотопного складу черепашок форамініфер, та інші параметри в зонах розвантаження ГФП забезпечила додаткові дані про генезис метану та можливості їх використання при пошуково-розвідувальних роботах на вуглеводні.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Практичне значення одержаних результатів полягає в створенні кількісно-генетичної моделі проявів вуглеводневої дегазації у формі ГФП, зафіксованих в донних відкладах, яка зможе бути використаною як інструмент розв'язання прямої геологічної пошукової задачі. У прикладному аспекті описані модельні ознаки функціонуватимуть як робочі критерії при проведенні пошуково-розвідувальних робіт на перспективних територіях, тобто для розв'язання зворотної геологічної задачі — прогнозування територій перспективних на скупчення вуглеводнів. На цій основі запропонований спосіб наведено-рангової кореляції геолого-геофізичної інформації, захищений патентом України, дозволить підвищити ефективність виявлення територій перспективних на пошуки скупчень вуглеводнів в осадовому чохлі морів та океанів.

ОПРИЛЮДНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наукові результати дисертації висвітлені у 18 наукових працях, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 12 – в матеріалах та тезах науково-практичних конференцій.

Отже автор має достатню кількість публікацій прийнятного наукового рівня за період з 2021 по 2024 рр., що засвідчують значний досвід здобувача та його здібність до самостійного наукового аналізу результатів та наукової діяльності загалом.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі достатньо повно апробовані і висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок із науковими програмами; сформовано мету і задачі досліджень; визначено методи, об'єкт і предмет досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; наведені дані щодо публікацій, апробації результатів дослідження, структури і об'єму дисертації; зазначено особистий внесок автора у працях.

У *розділі 1* розглянуто сучасний стан вивчення умов дегазації на дні Чорного моря. Перша частина розділу присвячена огляду абіогенної чи неорганічної гіпотези вуглеводнів. У сучасній науковій літературі існує низка гіпотез щодо абіогенного генезису вуглеводнів. Всі з них перелічені в цьому підрозділі.

У другій частині першого розділу розглянуто глобальний флюїдогенез та його докази. Початкові концепції флюїдогенного походження вуглеводнів базуються на уявленнях про формування нафтоподібних систем у високотемпературному та високотисковому середовищі астеносфери мантії з подальшою їх міграцією через земну кору. У межах цієї гіпотези було запропоновано модель мінералонафтидогенезу, яка передбачає синтез як вуглеводневих сполук, так і мінералів у системі маґма — літосфера. Основна увага при цьому приділяється зональним порушенням у земній корі, де під впливом високотемпературного й високотискового абіогенного флюїду відбувається мінерало- та вуглеводнеутворення. Такий підхід розглядається як один із напрямів полігенетичної концепції походження природних вуглеводнів. Один з підрозділів першого розділу стосується флюїдних включень. Окремим підрозділом авторка виділила докази генезису глибинних флюїдних потоків.

Заключний підрозділ першого розділу стосується ролі вивчення розвантаження ГФП для пошуків територій перспективних на скупчення вуглеводнів в осадовому чохлаі.

У *другому розділі* «основні риси геологічної будови північно-західного шельфу Чорного моря» описано результати геологічного вивчення Чорного моря за останні 150 років.

Перший підрозділ характеризує морфологію і районування північно-західного шельфу Чорного моря. У другому підрозділі наведено стратиграфію північно-західного шельфу Чорного моря. Окремо схарактеризовано стратиграфію дочетвертичних відкладів та четвертичних відкладів.

Третім підрозділом наведено дані про геодинаміку та магматизм Чорного моря. У четвертому схарактеризовано тектоніку та неотектоніку

П'ятий підрозділ описує історію формування западини Чорного моря.

У *третьому* розділі наведено інформацію про район робіт, матеріали та методи досліджень. Авторка не брала особистої участі у пробовідборі, але брала участь на всіх етапах проведення аналітичних досліджень, починаючи з підготовки проб, роботи безпосередньо в хроматографічній, масспектрометричній, мінералогічній, та хімічній лабораторіях та закінчуючи інтерпретацією всіх отриманих аналітичних матеріалів.

У межах дослідження використано комплекс польових, лабораторних, геофізичних та картографічних методів, що дозволили охопити різні аспекти геолого-структурних умов розвантаження ГФП в української частині північно-західного шельфу Чорного моря. Матеріал базувався на даних трьох ключових площ: «Прадніпровська», «Каркінітська» і «Гермес», що репрезентують різні тектонічні зони — внутрішній, перехідний і зовнішній шельф. Проведено сейсмічну інтерпретацію з урахуванням даних свердловини Прадніпровська-2, побудовано геолого-геофізичні розрізи. Виконано мультидисциплінарний аналіз донних відкладів: газогеохімічний (метан, його гомологи та інші вуглеводневі гази), гранулометричний, мінералогічний, термобарогеохімічний, ізотопний, атомно-емісійний спектральний.

Застосовано мейобентосний аналіз (форамініфери, нематоди) як біоіндикаційний інструмент оцінки впливу ГФП на організми.

Для виявлення потенційних зон розвантаження використано картографічні методи, включаючи аналіз супутникових знімків у тепловому діапазоні.

Обробка даних здійснювалася із застосуванням статистичних методів, що дозволили виявити просторові та структурні закономірності поширення флюїдних проявів.

У *четвертому* розділі «Походження глибинних флюїдних потоків та їх геолого-генетична модель» було проведено всебічне багаторівневе дослідження, спрямоване на доведення глибинного — абіогенного походження флюїдів, які мігрують через осадовий чохол північно-західного шельфу Чорного моря. Використано комплексну мультидисциплінарну методологію, що охоплює геофізичні, геолого-структурні, газогеохімічні, мінералого-термобарогеохімічні, хімічні, ізотопні, біоіндикаційні та дистанційні (супутникові) методи.

Багаторівневий мультидисциплінарний аналіз дозволив авторці отримати цілісну, узгоджену доказову базу щодо глибинного генезису вуглеводневих флюїдів Чорного моря, встановити їх джерела, шляхи міграції та форми розвантаження на дні. Отримані можуть бути основою для формування нових пошукових концепцій і уточнення моделей вуглеводневих систем на морському шельфі.

В *п'ятому* розділі «направлено-ранговий підхід до прогнозування вуглеводневих скупчень на основі теорії флюїдогенезу» обґрунтовано

доцільність впровадження наведено-рангового підходу до прогнозування скопчень вуглеводнів у північно-західній частині шельфу Чорного моря. У межах методики застосовано експертне ранжування індикаторів із використанням статистичних методів (зокрема коефіцієнта конкордації Кендалла), що дозволило обґрунтовано визначити вагу кожного параметра в системі прогнозу. Найвищу інформативність виявлено для геофізичних та геолого-структурних ознак, які формують перший рівень деталізації. Газогеохімічні та мінералого-геохімічні характеристики, в тому числі дані про флюїдні включення та ізотопні підписи в біогенних карбонатах, доповнили систему доказів, відображаючи більш локальні аспекти флюїдної активності. Біоіндикатори, такі як форамініфери та нематоди, виступили додатковими доказами тривалого впливу флюїдів. У межах запропонованої моделі авторці вдалося створити ефективний інструмент прогнозування флюїдонасичених структур, що спирається на цілісний і поетапний аналіз широкого спектра геологічних даних. Цей підхід авторки зафіксований патентом України.

Запитання та зауваження до дисертаційної роботи:

1. На мою думку, автором недостатньо детально показано взаємодію між трубами дегазації та реальними вуглеводневими покладами.
2. Ізотопні характеристики вуглецю та кисню могли б бути розширені з урахуванням їх наявності не лише у біогенних, а й у хемотропних карбонатах донних відкладів, а також у самій суміші вуглеводневих газів.
3. Також недостатньо детально аргументовані прийоми використання супутникових знімків з метою пошуку виходів ГФП на поверхню дна.

Тим не менш, виявлені недоліки не знижують достовірності та вагомості отриманих авторкою результатів.

ВИСНОВОК

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії ДІКОЛ Олени Сергіївни на тему «Прояви вуглеводневої дегазації в донних відкладах північно-західного шельфу Чорного моря та їх генетична інтерпретація» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для природничих наук. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6–9 «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 12.01.2022 № 44.

Здобувач ДІКОЛ Олена Сергіївни заслуговує на присудження їй ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки», за спеціальністю 103 – «Науки про Землю».

Офіційний опонент: професор
кафедри геології та розвідки нафтових
і газових родовищ Івано-
Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
доктор геологічних наук, професор



Сергій КУРОВЕЦЬ