

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Дікол Олени Сергіївни «Прояви вуглеводневої дегазації в донних відкладах північно-західного шельфу Чорного моря та їх генетична інтерпретація»,
представленої на здобуття
наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань: 103 – Науки про Землю

Актуальність теми дослідження. Чорне море є найбільшим природним резервуаром метану на Землі. За даними, розрахованими John D. Kessler et al. (2006), щороку з його дна у водну товщу вивільняється близько 4,95–5,65 Тг метану ($1 \text{ Тг} = 10^{12} \text{ г}$). За іншими оцінками (Созанський, 2013), у водах Чорного моря міститься приблизно 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.

За даними щодо історії геологічного розвитку басейну Чорного моря, починаючи з кінця еоцену і до сьогодення, дно басейну перебуває в умовах стиснення, внаслідок чого воно розбите численними розломами та тріщинами (Никишин та ін., 2001). Розривні тектонічні порушення формують ослаблені зони в осадовому чохла й виконують роль «димоходів», якими до поверхні дна піднімаються фільтраційні потоки газу, переважно метану. Потужна дегазація надр відбувається за рахунок струменевих виділень (холодних сипів), грязьових вулканів та мікробіологічних процесів у всьому діапазоні глибин (Шнюков & Янко, 2014).

Величезний інтерес до дегазації дна Чорного моря видно зі значної кількості національних та міжнародних проєктів (Шнюков та ін., 2013). З національних проєктів можна згадати науково-технічний проєкт «Газовий

вулканізм дна Чорного моря як пошукова ознака газогідратних покладів та традиційної вуглеводневої сировини» у рамках цільової програми НАН України «Мінеральні ресурси України та їх видобуток». Серед міжнародних проєктів важливими є європейські проєкти п'ятої та шостої рамкових програм METROL «Methane Flux Control in Ocean Margin Sediments» (2002-2005 pp.), ASSEMBLAGE «Assessment of the Black Sea sedimentary system since the Last Glacial Extreme», «Contribution of high-intensity gas seeps in the Black Sea to Methane Emission to the atmosphere» (2003-2005 pp.), HERMES «Hot spot ecosystem research on margins of European Seas» (2006-2009 pp.), а також німецька національна геотехнологія METRO «Methane and methane hydrates within the Black Sea: Structural analyses, quantification and impact of a dynamic methane reservoir» (2004-2007 pp.), ESONET «The European Sea Floor Observatory Network» (2003-2004 pp.) та низка інших.

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 прогностичний 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.

Мета дослідження. Вивчення проявів вуглеводневої дегазації у донних відкладах північно-західного шельфу Чорного моря у вигляді глибинних флюїдних потоків (ГФП), ознак їх розвантаження та генетичної інтерпретації отриманих матеріалів.

Завдання дослідження.

1. Проаналізувати сучасний стан вивчення проявів вуглеводневої дегазації у формі ГФП та ознак їх розвантаження в морських і океанічних басейнах з урахуванням актуальних геологічних даних.
2. Охарактеризувати основні риси геологічної будови північно-західного шельфу Чорного моря як регіону активного прояву ГФП, з виокремленням структурних елементів, пов'язаних з їхнім виходом.
3. Обґрунтувати вибір методів дослідження та описати аналітичну базу, використану для виявлення та інтерпретації ознак вуглеводневої дегазації у донних відкладах.
4. Підтвердити глибинну природу походження та склад ГФП на основі отриманих аналітичних результатів.
5. На основі 1-4 створити кількісно-генетичну модель розвантаження проявів вуглеводневої дегазації у формі ГФП в осадовому чохлах північно-західного шельфу Чорного моря, описану в модельних ознаках (пряме геологічне завдання).
6. На основі розробленої моделі сформулювати методологію вирішення зворотного геологічного завдання, тобто направлено-рангового підходу до інтерпретації геолого-геофізичної інформації та використання її для прогнозування площ, перспективних на скупчення вуглеводнів у межах північно-західного шельфу Чорного моря.

Об'єкт дослідження. Прояви вуглеводневої дегазації у донних відкладах української частини північно-західного шельфу Чорного моря.

Предмет дослідження. Ознаки вертикальної міграції вуглеводнів в складі ГФП в донних відкладах.

Достовірність та наукова новизна одержаних результатів.

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 газових вуглеводнів 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 (супутниковими) 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.

Наукова новизна отриманих результатів для північно-західного шельфу Чорного моря.

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

У **теоретичному плані** галузі науки, залучені в дисертаційне дослідження, отримала нові знання. Теорія глобального флюїдогенезу збагатилася новими доказами існування і значущості абіогенного різновиду в загальному балансі метану, шляхів його проходження через осадовий чохол та моніторингу забруднення морських акваторій вуглеводнями з урахуванням того, що абіогенні вуглеводневі гази постійно виділяється з надр Землі, є відновлюваним, і тому постійно забруднює морське середовище, разом з тим робить скупчення вуглеводнів у надрах шельфу морів 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 робіт на вуглеводні.

Практичне значення роботи 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 направлено-рангової кореляції геолого-геофізичної інформації, захищений патентом України, дозволить підвищити ефективність виявлення територій перспективних на пошуки скупчень вуглеводнів в осадовому чохлі морів та океанів.

Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації.

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані у 6 наукових працях, серед яких: 1 в періодичному науковому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази (Web of Science), 5 в фахових виданнях України, 1 патент України, 12 матеріалів та тез доповідей на конференціях.

Статті у журналах, що індексуються у Scopus:

1. Yanko, V., Kravchuk, A., Kondariuk, T., Kulakova, I., Kadurin, V., **Dikol, O.**, Kadurin, S. (2024). Influence of methane and its homologues on foraminifera and nematodes in the northwestern part of the Black Sea. *Marine Environmental Research*, 193, Article 106285. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106285>

Статті у журналах, що індексуються у наукових фахових виданнях України:

2. **Дікол, О. С.** (2022). Особливості розподілу вуглеводневих газів у донних відкладах Каркінітської затоки. *Вісник Одеського національного*

університету. *Географічні та геологічні науки*, 27(1(40)), 133–143.
[https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.1\(40\).257538](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.1(40).257538)

3. **Дікол, О. С.** (2023). Типоморфізм хімічного складу біогенних карбонатів в межах Прадніпровської метанової аномалії на шельфі Чорного моря. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 28(2(43)), 149–167. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.2\(43\).292745](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.2(43).292745)

4. **Дікол, О. С.,** Кадурін, С. В., Янко, В. В., Кадурін, В. М. (2024). Оцінка можливостей використання космічних знімків у теплових діапазонах для пошуку й оцінки виходів ендегенних флюїдів на поверхню дна Чорного моря (розв’язання прямої задачі). *Геолого-мінералогічний вісник*, (1–2), 24–34.
<https://doi.org/10.31721/2306-5443-2024-26-1-24-34>

5. Янко, В. В., Кадурін, В. М., Какаранза, С. Д., Кравчук, А. О., Кадурін, С. В., **Дікол, О. С.** (2022). Геологія, яка нам потрібна. *Геологія і корисні копалини Світового океану*, 18(2), 58–65.
<https://doi.org/10.15407/gpimo2022.02.058>

6. Янко, В. В., **Дікол, О. С.,** Кадурін, С. В., Кравчук, Г. О., Кадурін, В. М., Кондарюк, Т. О. (2024). Безпекова складова вивчення розвантаження глибинних флюїдних потоків на дні Чорного моря. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 29(2[45]), 150–165. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2\(45\).318042](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2(45).318042)

Патенти:

1. Янко, В. В., Кадурін, В. М., Наумко, І. М., Какаранза, С. Д., Кравчук, Г. О., **Дікол, О. С.** (2022). *Спосіб визначення прогнозних критеріїв і пошукових ознак вуглеводневих покладів на шельфі моря* (Патент № 150716, Україна). Бюл. № 13.

Тези конференцій:

1. Наумко, І. М., Янко, В. В., Кадурін, В. М., Зінчук, І. М., Кадурін, С. В., Какаранза, С. Д., Кравчук, Г. О., **Дікол, О. С.** (2022). Термобарогеохімічні показники способу визначення прогнозних критеріїв і

пошукових ознак вуглеводневих покладів на шельфі моря [Тезид оповіді]. *Геологічна будова та корисні копалини України: збірник тез Всеукр. наук. конф., м. Київ, 12–13 жовтня 2022 р. (с. 40–43).* Київ: ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України.

2. Kadurin, S., Yanko-Hombach, V., Naumko, I., Kadurin, V., **Dikol, O.** (2022). Hydrocarbon gases in sediments as indicators of “degassing pipes” releasing deep hydrocarbon fluids on the Black Sea bottom [Abstract]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 54(5). <https://doi.org/10.1130/abs/2022AM-380440>

3. **Дікол, О. С.** (2022). Використання значень стабільних ізотопів вуглецю та кисню при пошуках нафтогазових родовищ [Тези доповіді]. *Сучасні тенденції розвитку науки і техніки: зб. тез міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 18–19 серпня 2022 р. (с. 27–32).* Львів: Університет лідерства та інновацій.

4. Наумко, І. М., Кадурін, В. М., Янко, В. В., Зінчук, І. М., Яремчук, Я. В., Кадурін, С. В., Белецька, Ю. А., Редько, Л. Р., Занкович, Г. О., **Дікол, О. С.** (2021). Глинисті мінерали донних відкладів площі «Прадніпровська» як індикатор глибинних флюїдних потоків (північно-західний шельф Чорного моря, Україна) [Тези доповіді]. *Проблеми геології фанерозою України: зб. тез XII Всеукр. наук. конф. (6–8 жовтня 2021, м. Львів). Ч. 1 (с. 19–24).* Львів: ЛНУ імені Івана Франка. <https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/10/chastyna-1-MATERIALY-konferentsii-2021.pdf>

5. Наумко, І. М., Кадурін, В. М., Янко, В. В., Зінчук, І. М., Сахно, Б. Е., Кадурін, С. В., Какаранза, С. Д., **Дікол, О. С.** (2021). Глибинна природа вуглеводневого флюїду на шельфі Чорного моря за включеннями в аутигенних мінералах [Тези доповіді]. *Геологічна наука в незалежній Україні: зб. тез наук. конф., м. Київ, 8–9 вересня 2021 р. (с. 68–71).* Київ: ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України. ISBN 978-966-02-9663-3

6. Кадурін, В., Наумко, І., Янко, В., Какаранза, С., **Дікол, О.** (2021). «Труби дегазації» і перспективи нафтогазоносності північно-західного

шельфу Чорного моря (за геолого-геофізичними і геохімічними даними) [Тезисемінару]. *Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища* (с. 85–88). Львів: Растр-7.

7. Kadurin, S., Yanko-Hombach, V., Kadurin, V., Naumko, I., Kakaranza, S., **Dikol, O.**, Zinchuk, I. (2021). Deep nature of hydrocarbon fluid within the Black Sea shelf based on inclusions in authigenic minerals [Abstract]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 53(6). <https://doi.org/10.1130/abs/2021AM-366241>

8. **Дікол, О. С.** (2023). Хімічний склад раковин молюсків *Mytilus* як показник глибинних флюїдних потоків на шельфі Чорного моря. *Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез Всеукраїнської молодіжної наукової конференції* (м. Київ, 2–3 жовтня 2023 р., с. 67). Київ: ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України. ISBN 978-966-999-648-2.

9. Yanko, V., **Dikol, O.**, Kadurin, V. (2024). Typomorphism of the chemical composition of biogenic calcium carbonates within methane anomalies on the Black Sea bottom [Abstract]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 56(5). <https://doi.org/10.1130/abs/2024AM-402700>

10. Yanko, V., Kadurin, V., Kravchuk, A., Kondariuk, T., Kulakova, I., **Dikol, O.**, Kadurin, S. (2024). Innovative methodology for exploring hydrocarbon fields on the Black Sea bottom [Abstract]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 56(5). <https://doi.org/10.1130/abs/2024AM-402682>

11. Янко, В. В., Кадурін, В. М., Кравчук, Г. О., Кадурін, С. В., Усенко, В. П., Золотарьов, Г. Г., **Дікол, О. С.** (2022). Данина життя академіка НАН України Євгена Федоровича Шнюкова. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*, 27(2[41]), 219–226. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268764](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268764)

12. Yanko, V., Naumko, I., Kadurin, V., Zinchuk, I., **Dikol, O.**, Kadurin, S. (2024, August 18–23). Innovative methodology for exploration of marine hydrocarbon deposits according to geological predictive criteria and mineralogical-thermobarogeochemical prospecting signs (using the example of the Black Sea)

[Conference presentation]. *European Mineralogical Conference, Trinity College Dublin*. <https://emc-2024.org/>

Апробація основних результатів дослідження. Основні положення дисертації були представлені на: XII Всеукраїнській науковій конференції «Проблеми геології фанерозою України» (2021 Львів), XII Всеукраїнській науковій конференції «Геологічна наука в незалежній Україні» (2021 Київ), GSA Connects 2021, Portland «T71. Advances and New Voices in Marine and Coastal Geoscience II» (2021, Oregon), Всеукраїнській науковій конференції «Геологічна будова та корисні копалини України» (2022 Київ), GSA Connects 2022 «D38. General Topics in Geochemistry» (2022, Colorado), Всеукраїнській молодіжній науковій конференції «Геологічна будова та корисні копалини України» (2023, Київ), GSA Connects 2024 «116: T154. Sedimentary Geology Division / SEPM Student Research Poster Competition: Dynamics of Stratigraphy and Sedimentation (Posters)» (2024, Anaheim), GSA Connects 2024 «237: T106. Recent Advances and New Voices in Marine and Coastal Geoscience» (2024, Anaheim), European Mineralogical Conference 2024 (2024, Dublin).

ВИСНОВОК

Усі наукові результати, які викладені в дисертаційній роботі та виносяться на захист, отримані автором самостійно.

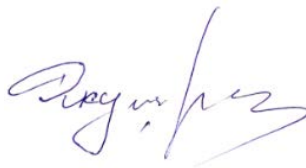
Головуючий на засіданні фахового семінару:

Академік НАН України,
професор, доктор геол.-мін.
наук,
гол.наук. сп. відділу
геології нафти і газу
Інституту геологічних наук
НАН України

О. Ю. Лукін

Рецензенти:

доктор геологічних наук,
в.о. завідувач відділу
стратиграфії та палеонтології
мезозойських відкладів
Інституту геологічних наук
НАН України



Л.М. Якушин

кандидат геологічних наук,
пр.наук.сп. відділу
геологічної екології та
пошукових досліджень
Інституту геологічних наук
НАН України



В.Р. Дубосарський

Учений секретар



Л.А. Фігура