

УДК 551.351.2:5783(292.48)

DOI <https://doi.org/10.30970/pal.58.1>

РОЛЬ ВЕНДОТЕНІЄВИХ ВОДОРОСТЕЙ У ФОРМУВАННІ НАФТОГАЗОГЕНЕРАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ КАЛЮСЬКИХ ВЕРСТВ ЕДІАКАРІЮ ВОЛИНСЬКО-ПОДІЛЬСЬКОЇ ПЛИТИ

Наталія Радковець¹, Юрій Колтун²

^{1,2}Інститут геології і геохімії горючих копалин
Національної академії наук України,
вул. Наукова, 3а, Львів, Україна, 79060

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79052

¹radkov_n@ukr.net; ²ykoltun@gmail.com

¹orcid.org/0000-0002-1770-6996; ²orcid.org/0000-0001-9884-5957

Відклади едіакарію південно-західного схилу Східноєвропейської платформи моноклінально занурюються на південний захід в напрямку зони Тейссейре-Торнквіста. Ці давні нашарування поширені в межах платформи до Чорного моря до Люблінсько-Підляського басейну, а їх товщини сягають понад 600 м. Для едіакарської товщі характерним є наявність нашарувань збагачених органічною речовиною, які мають глобальне поширення і є нафтогазогенеруючими породами для низки родовищ світу. На території України, зокрема в межах Волинсько-Подільської плити чорносланцеві відклади представлені калюськими верствами, товщина яких перевищує 90 метрів. Вони локально виходять на поверхню поблизу Українського щита та занурюються в південно-західному напрямку досягаючи глибин понад 4000 м. Породи представлені тонковерстуватими темно-сірими до чорних аргілітами, з підвищеним вмістом органічної речовини. Аргіліти та глинисті алевроліти складені загалом гідрослюдою і незначною кількістю каолініту та монтморилоніту з домішками кварцу, польового шпату й глауконіту. Органічна речовина порід калюських верств переважно представлена фрагментами водоростей *Vendotenides* та їх безструктурним детритом. Геохімічні дослідження цих порід були проведені з метою встановлення їх нафтогазогенераційного потенціалу. Дослідженнями були охоплені породи, як з відслонень, так і з глибоких свердловин. Вміст органічного вуглецю в породах калюських верств коливається від 0,15 до 0,89 %, часто перевищуючи 0,5 %, що дозволяє розглядати їх, як такі, що здатні генерувати вуглеводні. Дослідження ступеня термальної зрілості порід показали, що на території прилеглої до Українського щита вони є термально незрілими, на більшій частині дослідженої території по мірі зростання глибини залягання породи послідовно входять у зону генерації рідких та газоподібних вуглеводнів, а у прилеглої до зони Тейссейре-Торнквіста частині Волинсько-Подільської плити породи є перезрілими.

Ключові слова: Волинсько-Подільська плита, калюські верстви, вендотенієві водорості, нафтогазогенераційний потенціал.



Вступ. Відклади едіакарію Волинсько-Подільської плити вміщують збагачені органічною речовиною калюські верстви, які є одною з найдавніших чорносланцевих товщ осадового чохла південно-західного схилу Східноєвропейської платформи й водночас найдавнішими потенційно нафтогазогенеруючими нашаруваннями у розрізі дослідженого регіону.

Аналіз досліджень. На теперішній час проведено значний обсяг геологічних, літологічних та палеонтологічних досліджень едіакарських відкладів, які висвітлені в численних публікаціях [2–4; 9; 10]. Однак, геолого-геохімічні дослідження мають істотне значення для вивчення умов седименто-літогенезу збагачених органічною речовиною калюських нашарувань та оцінки ролі вендотенієвої флори у формуванні їх нафтогенераційного потенціалу, оскільки цей аспект залишається недостатньо висвітленим у наукових публікаціях.

Метою даного дослідження є вивчення палеогеографічного середовища седиментації калюських верств, умов, які спричинились до збагачення осадів органічною речовиною та формування їх генераційного потенціалу. Для висвітлення поставлених завдань були проведені мінералого-петрографічні та геохімічні дослідження порід калюських нашарувань.

Геологічна будова. Відклади едіакарію (верхній венд) залягають на нашаруваннях волинської серії (нижній венд) або звітрілих магматичних чи метаморфічних породах кристалічного фундаменту. Едіакарський розріз представлений глинисто-теригенними породами (конгломерати, гравеліти, пісковики, алевроліти, аргіліти) [4]. Уламкова складова цих нашарувань відповідає складу корінних порід Українського щита, а також частково складена вулканоміктовими породами, що виникли внаслідок руйнування молодого базальтового плато, яке сформувалося до кінця волинської епохи на заході Волинсько-Подільської плити і піддалося інтенсивному субаеральному вивітрюванню. Чорносланцева товща калюських верств, яка є складовою частиною розрізу едіакарію, поширена на усій території Волинсько-Подільської плити (рис. 1).

Ці відклади занурюються моноклінально в напрямку зони Тейссейре-Торнквіста, а їх товщини сягають 90 м і більше. На теренах, прилеглих до Українського щита, калюські нашарування виходять на денну поверхню (рис. 2), а у найзануренішій частині Східноєвропейської платформи глибина їх залягання сягає понад 4000 м. Калюські відклади належать до нагірянської світи могилів-подільської серії едіакарію (верхнього венду) [4] (рис. 3).

Виклад основного матеріалу. Відклади едіакарію належать до найдавніших осадових нашарувань, які формувалися, як в межах шельфів, так і в глибоководних умовах. В палеошельфових утвореннях цього вікового діапазону майже на всіх сучасних платформах виявлені товщі, збагачені органічною речовиною. Їх формування стало результатом глобальної безкисневої події, яка в межах південно-західного схилу Східноєвропейської платформи (палеоконтинент Балтика) спричинила нагромадження калюських чорносланцевих нашарувань, що є предметом даного дослідження. Завдяки тому, що у вузький проміжок едіакарію – калюський час, палеосередовище змінилося, відбулася глобальна трансгресія, яка зумовила затоплення палеократонів, зокрема і Балтики (рис. 4).

Особливість едіакарської безкисневої події полягала в тому, що майже всі палеошельфи, як і глибоководні частини океану, були охоплені стагнацією водної товщі, а зона кисневого мінімуму у водній колонії починалася з глибини щонайменше 50 метрів. Темноколірні відклади едіакарію – калюські верстви, встановлені у глибоководних шельфових нашаруваннях, а також вони облямовують схил Українського щита [9; 10].



Рис. 1. Карта поширення та товщин калюських верств едіакарію Волинсько-Подільської плити. Модифіковано за [9]

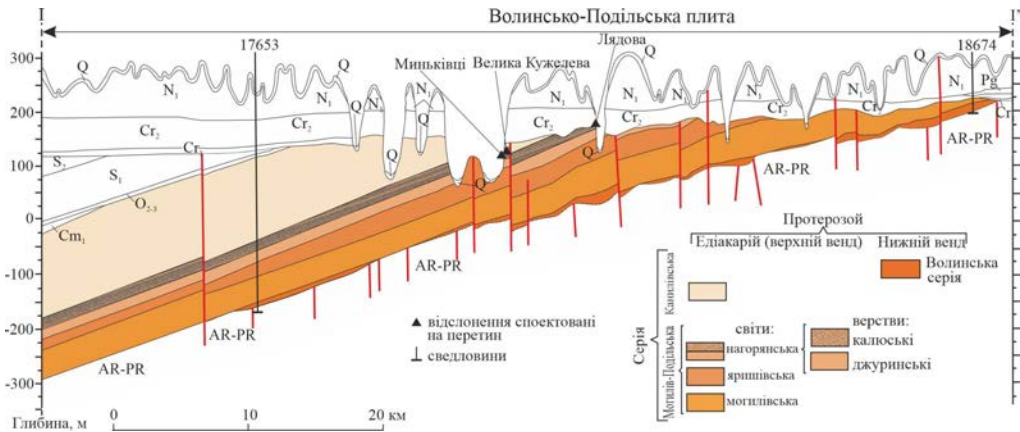


Рис. 2. Геологічний перетин (для локалізації див. рис. 1) I – I' через Волинсько-Подільську плити. Модифіковано за [1]. Відслонення Велика Кужелева і Мицьківці на перетині спроектовані близько 30 і 27 км з північного заходу; Лядова – 25,5 км з південного сходу. AR-PR – архей-нижній протерозой, Cm₁ – нижній кембрій, O₁₋₂ – нижній і середній ордовик, S₁ – нижній силур, S₂ – верхній силур, Cr₁ – нижня крейда, Cr₂ – верхня крейда, Pg – палеоген, N₁ – міоцен, Q – четвиртинний період

antiqua Gnil., *Fusosquamula viasovi* Ass., *Pilitella composite* Ass. [2]. Серед добре збережених решток ідентифіковані всі чотири форми роду *Vendotaenia antiqua* (*Vendotaenia antiqua tertia*, *V. antique forma secunda*, *antique forma prima*, *antique forma quarta*) [2; 4]. Їх збереженість у породах калюських верств різноманітна – від великих добре збережених стрічкоподібних і коркоподібних фрагментів водоростей довжиною 10–15 см до безструктурного детриту. Знахідки Metazoa, багатоклітинних безскелетних тварин, що вели прикріплений спосіб життя, представлені у вигляді відбитків на підшвах верств пісковику [3].

Нами проведені петрографічні дослідження збагачених органічною речовиною порід калюських нашарувань, як із відслонень, так і з глибоких свердловин, які пройшли відклади едіакарію у найзануренішій частині Волинсько-Подільської плити на глибинах понад 4 000 м. Породи представлені тонковерстуватими темно-сірими до чорних аргілітами та глинистими алевролітами, з підвищеним вмістом органічної речовини (рис. 5).

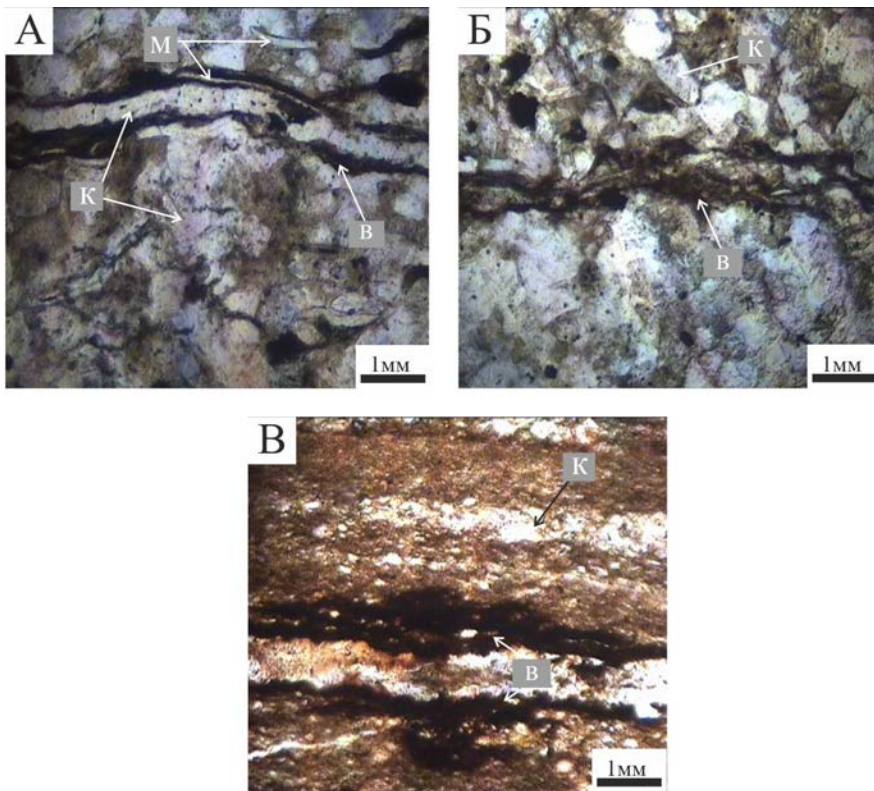


Рис. 5. Мікрофотографії збагачених органічною речовиною порід нагорянської світи калюських верств. Глинистий алевроліт. Свердловини: А – Сокальська-1, глибина 3484–3506 м, Б – Літовизька-1, глибина 3500–3507 м. Аргіліт. В – Відслонення поблизу с. Миньківці; к – кварц, м – мусковіт, в – фрагменти вендотенієвих водоростей

Вони складені загалом гідрослюдою і незначною кількістю каолініту та монтморилоніту з домішками кварцу, польового шпату й глауконіту. Як видно на мікрофотографіях

(рис. 5), органічна речовина у породах калюських верств Волинсько-Подільської плити представлена фосилізованими фрагментами вендотенієвих водоростей і їх детритом.

Наявність вендотенієвих водоростей в едіакарських нашаруваннях в глобальному масштабі підтверджена на багатьох палеоконтинентах [7; 11]. Органічна речовина у породах цього вікового інтервалу в значній мірі складена їх фосилізованими рештками. Оскільки збагачені органічною речовиною породи едіакарського віку мають глобальне поширення, вони відіграють істотну роль у формуванні нафтогазових систем різних регіонів світу. Чорносланцеві товщі, які є віковими аналогами калюських верств, поширені в межах всієї Східноєвропейської платформи, зокрема на території Польщі та Литви [8]. Аналіз глобального поширення палеошельфових едіакарських відкладів, збагачених органічною речовиною, показав, що вони фіксуються майже на всіх кратонах, і їх продовженням є давні глибоководні нашарування (рис. 6).

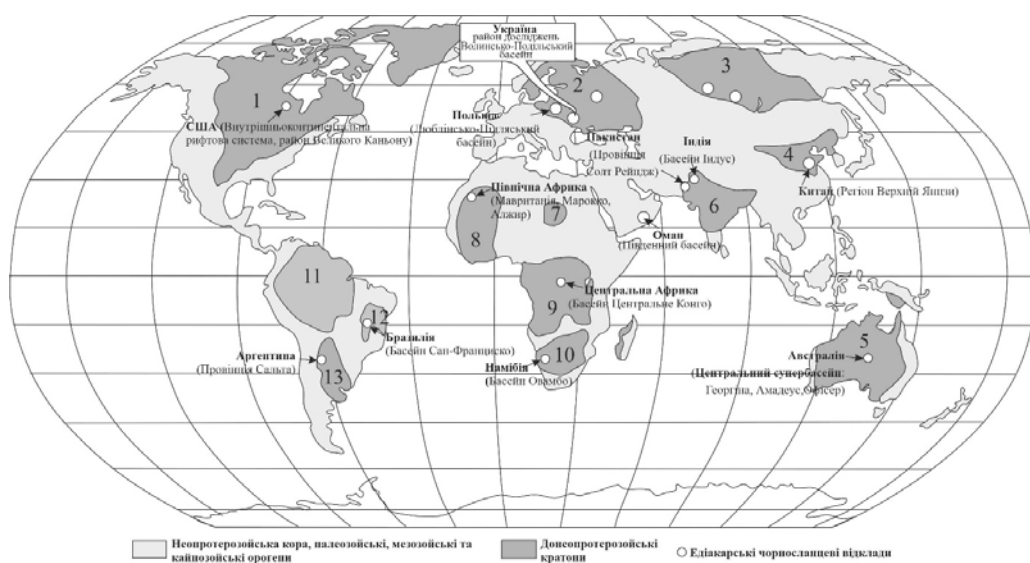


Рис. 6. Глобальне поширення едіакарських чорносланцевих відкладів. Модифіковано за [9]. 1 – Північноамерикансько-Гренландський кратон, 2 – Балтико-Східноєвропейський кратон, 3 – Сибірський кратон, 4 – Північнокитайський кратон, 5 – Австралійський кратон, 6 – Індійський кратон, 7 – Увендіат, 8 – Західноафриканський кратон, 9 – кратон Конго, 10 – Південноафриканський кратон, 11 – Амазонський кратон, 12 – кратон Сан-Франциско, 13 – кратон Ріо де ла Плата

Збагачені органічною речовиною відклади едіакарію становлять істотний інтерес з точки зору генерації вуглеводнів. Зокрема вони є нафтогенеруючими породами для таких родовищ, як Центральний Супербасейн в Австралії [7] та Південний Басейн Оману на Аравійському півострові [5].

Зважаючи на вищевикладені факти, нами проведена оцінка нафтогенераційного потенціалу калюських верств Волинсько-Подільської плити. Органічна речовина калюських верств є виключно морського походження оскільки в едіакарський час наземної

рослинності ще не існувало. Зважаючи на те, що фрагменти вендотенієвих водоростей та їх безструктурний детрит формують основну частину органічної речовини, геохімічні дослідження цих порід дозволяють оцінити генераційні властивості керогену сформованого цим комплексом Metaphyta. Нами були проведені дослідження порід калюських верств методом піролізу Rock-Eval [10]. Вміст загального органічного вуглецю коливається від 0,15 до 0,89 %. Значна частина досліджених зразків, відібраних як зі свердловин, так і з відслонень, демонструє вміст органічного вуглецю понад 0,5 %, що дозволяє розглядати ці породи, як такі, що здатні генерувати вуглеводні. З огляду на це, важливим є дослідження термальної зрілості керогену порід калюських нашарувань. Температура піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену (T_{max}) коливається в широкому діапазоні від 350 до 492°С і не фіксується в низці зразків з високою термальною зрілістю.

Дослідження показали, що на території Волинсько-Подільської плити, прилеглої до Українського щита, породи калюських верств є термально незрілими, в той час, як на більшій частині дослідженої території їх ступінь зрілості відповідає зоні генерації рідких та газоподібних вуглеводнів. У найбільш зануреній частині плити, що прилягає до зони Тейссейре-Торнквіста, породи є перезрілими. Це пояснюється тим, що у відслоненнях калюські відклади мають невисокий ступінь термальної зрілості, що відповідає самому початку зони генерації рідких вуглеводнів. Таким чином, геохімічні дослідження калюських верств показали, що органічна речовина порід, яка складена переважно рештками трьох різновидів вендотенід *Vendotaenia antiqua* Gnil., *Fusosquamula viasovi* Ass., *Pilitella composite* Ass. Мають істотний генераційний потенціал та можуть розглядатися, як потенційно нафтогазогенеруюча товща.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

1. Калюські верстви едіакарію Волинсько-Подільської плити є відображенням глобальних подій, які спричинилися до формування збагачених органічною речовиною відкладів на усіх континентах світу.

2. Петрографічні дослідження порід калюських нашарувань Волинсько-Подільської плити, як із відслонень, так і з глибоких свердловин, показали поширення вендотенієвих водоростей в межах усього палеошельфового басейну континенту Балтика.

3. Геохімічні дослідження показали, що органічна речовина калюських порід, складена переважно фрагментами вендотенієвих водоростей та їх безструктурним детритом, мають істотний нафтогазогенераційний потенціал і ці породи можна розглядати, як потенційно нафтогазогенеруючими.

4. Калюські верстви на значній частині Волинсько-Подільської плити знаходяться в зоні генерації рідких та газоподібних вуглеводнів і ймовірно є частиною нафтогазової системи регіону.

5. Для детальнішої характеристики нафтогазогенераційного потенціалу калюських нашарувань необхідні подальші петрографічні, палеонтологічні та геохімічні дослідження цих відкладів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брацлавський, П. Ф., Шевченко, О. М., Кузьменко, Л. С., Веклич, Ю. М. *Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуші М-35-XXVIII (Бар), М-35-XXXIV (Могилів-Подільський) (в межах України). Пояснювальна записка*. 2008. Київ : УкрДГРІ, 206 с; карта – 9 листів.
2. Менасова А. Ш. Найдавніші водорості Подолії як каталізатор процесів фосфоритоутворення. *Мінеральні ресурси України*. 2019. № 1. С. 21–25. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2019.1.21-25>.

3. Палій В. М. Унікальні палеонтологічні знахідки у відкладах венду та нижнього кембрію середнього Придністров'я. *Геолог України*. 2011. № 3–4. С. 85–88.
4. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України у двох томах. Т.1: *Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України*. / Головний редактор П. Ф. Гожик. 2013. Київ : ІГН НАН України. Логос, 637 с.
5. Craig J., Thurow J., Thusu B., Whitham A. A., Butarruma Y. *Global Neoproterozoic Petroleum Systems: The Emerging Potential in North Africa*. Geological Society, London: Special Publications, 2009. 326 p. ISBN 978-1-86239-287-8.
6. Lindsay J. F. Supersequences, superbasins, supercontinents – evidence from the Neoproterozoic–Early Palaeozoic basins of central Australia. *Basin Research*. 2002. Vol.14. P. 207–223. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.2002.00170.x>
7. Lonsdale M. C., Moore K. R., Webb L. C., Schildbach M., Livi K. J. T., Smith E. F. Ribbon-like compression fossils from the late Ediacaran Esmeralda member of the Deep Spring formation at Mount Dunfee. 2025. USA, Nevada: *PALAIOS*. Vol. 40, No 5. P. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.2110/palo.2024.027>.
8. Paczeńska J., Poprawa, P., Żywiecki M., Grotek I., Poniewierska H., Wagner M. The uppermost Ediacaran to lowermost Cambrian sediments of the Lublin-Podlasie Basin as a potential source rock formation for hydrocarbons. *Przegląd Geologiczny*. 2005. Vol. 53. P. 499–506.
9. Radkovets N., Kosakowski P., Rauball J., Zakrzewski A. Burial and thermal history modelling of the Ediacaran succession in Western and SW Ukraine and Moldova. *Journal of Petroleum Geology*. 2018. Vol. 41. P. 85–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpg.12694>.
10. Radkovets N., Pavlyuk M., Yaremchuk Y., Koltun Y. Ediacaran organic-rich Kalus Beds of western Ukraine and NW Moldova: mineralogy, total organic carbon content and hydrocarbon potential. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2021. Vol. 70. P. 210–223. DOI: <https://doi.org/10.3176/earth.2021.17>.
11. Riding J. B., Pound M. J., Hill T.C.B., Stukins S., Feist-Burkhardt S. The John Williams Index of Palaeopalynology. *Palynology*. 2012. Vol. 36, No 2. P. 224–233. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2012.682512>.

REFERENCES

1. Bratslavskyy, P.F., Shevchenko, O.M., Kuzmenko, L.S., & Veklych, Y.M. (2008). Derzhavna heolohichna karta Ukrayiny masshtabu 1:200 000, arkushi M-35-KHKHVIII (Bar), M-35-KHKHKHIV (Mohyliv-Podilskyy) (v mezhakh Ukrayiny). Poyasnyvalna zapyska. [State Geological Map of Ukraine, scale 1:200,000, sheets M-35-XXVIII (Bar), M-35-XXIV (Mohyliv-Podilskyy) (within Ukraine). Explanatory note]. Kyiv: UkrDHRI, 206 p.; map – 9 sheets.
2. Myenasova, A.S. (2019). Naydavnishi vodorosti Podoliyi yak katalizator protsesiv fosforytoutvorennia. [The oldest algae of Podolia as a catalyst for phosphorite formation processes]. *Mineralni resursy Ukrainy – Mineral resources of Ukraine*, 1, 21–25. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2019.1.21-25>.
3. Paliy, V. M. (2011). Unikalni paleontolohichni znakhidky u vidkladakh vendu ta nyzhnoho kembriyu serednoho Prydnistrovya [Unique paleontological finds in the Vendian and Lower Cambrian deposits of central Prydnistrovya]. *Heoloh Ukrainy – Geologist of Ukraine*, 3–4, 85–88.
4. Hozhyk, P.F. (Ed.) (2013). Stratyhrafiiya verkhnoho proterozoyu ta fanerozoyu Ukrayiny. T.1: Stratyhrafiiya verkhnoho proterozoyu, paleozoyu ta mezozoyu Ukrayiny [Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. T.1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine]. Kyiv : ІГН НАН України. Логос, 637 p.
5. Craig, J., Thurow, J., Thusu, B., Whitham, A.A., & Butarruma, Y. (2009). *Global Neoproterozoic Petroleum Systems: The Emerging Potential in North Africa*. Geological Society, London: Special Publications, 326p. ISBN 978-1-86239-287-8
6. Lindsay, J. F. (2020). Supersequences, superbasins, supercontinents – evidence from the Neoproterozoic–Early Palaeozoic basins of central Australia. *Basin Research*, Vol.14. P. 207–223. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.2002.00170.x>

7. Lonsdale, M.C., Moore, K.R., Webb, L.C., Schildbach, M., Livi, K.J.T., & Smith, E.F. (2025). Ribbon-like compression fossils from the late Ediacaran Esmeralda member of the Deep Spring formation at Mount Dunfee. USA, Nevada: *PALAIOS*, 40 (5), 131–140. DOI: <https://doi.org/10.2110/palo.2024.027>
8. Paczeńska, J., Poprawa, P., Żywiecki, M., Grotek, I., Poniewierska, H., & Wagner, M., (2005). The uppermost Ediacaran to lowermost Cambrian sediments of the Lublin-Podlasie Basin as a potential source rock formation for hydrocarbons. *Przeгляд Geologiczny*, 53, 499–506
9. Radkovets, N., Kosakowski, P., Rauball, J., & Zakrzewski, A. (2018). Burial and thermal history modelling of the Ediacaran succession in Western and SW Ukraine and Moldova. *Journal of Petroleum Geology*, 41, 85–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpg.12694>
10. Radkovets, N., Pavlyuk, M., Yaremchuk, Y., & Koltun, Y. (2021). Ediacaran organic-rich Kalus Beds of western Ukraine and NW Moldova: mineralogy, total organic carbon content and hydrocarbon potential. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 70, 210–223. DOI: <https://doi.org/10.3176/earth.2021.17>
11. Riding, J.B., Pound, M.J., Hill, T.C.B., Stukins, S., & Feist-Burkhardt, S. (2012). The John Williams Index of Palaeopalynology. *Palynology*, 36 (2), 224–233. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2012.682512>

THE ROLE OF VENDOTHENIAN ALGAE IN THE FORMATION OF THE PETROLEUM GENERATION POTENTIAL OF THE EDIACARAN KALUS BEDS OF THE VOLYN-PODILLIA PLATE

Nataliya Radkovets¹, Yuriy Koltun²

^{1,2}*Institute of geology and geochemistry of combustible minerals
of the National Academy of Science of Ukraine,
Naukova Str., 3a, Lviv, Ukraine, 79060*

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevskogo Str., 4, Lviv, Ukraine, 79052*

The Ediacaran strata of the southwestern slope of the East European Platform dip monoclinally to the southwest in the direction of the Teisseire-Tornquist Zone. These sediments are distributed within the platform from the Black Sea to the Lublin-Podlasie Basin, and their thickness reaches more than 600 m. The Ediacaran sequence is characterized by the presence of organic-rich beds, which have a global distribution and are petroleum source rocks for a number of fields in the world. In Ukraine, in particular, within the Volyn-Podillia Plate, black shale strata are represented by Kalus Beds whose thickness exceeds 90 meters. They locally reach the surface near the Ukrainian Shield and dip in the southwest direction reaching depths of over 4000 m. The rocks are represented by thin-bedded dark gray to black mudstones, enriched with organic matter. Mudstones and clay siltstones are made up of mainly of hydromica and a small amount of kaolinite and montmorillonite with admixture of quartz, feldspar and glauconite. The organic matter of the rocks of the Kalus Beds is mainly represented by fragments of Vendotenides algae and their structureless detritus. Geochemical investigations of these rocks were carried out to establish their petroleum generation potential. The studies covered rocks from both outcrops and deep wells. The total organic carbon content in the rocks of the Kalus Beds ranges from 0.15 to 0.89%, often exceeding 0.5%, which allows us to consider them as the potential petroleum source rocks. Studies of the thermal maturity of rocks have shown that in the territory adjacent to the Ukrainian Shield they are immature. In most of the studied territory, as the depth of the rock increases, they successively enter the oil and gas generation zones. In the part of the Volyn-Podillia Plate adjacent to the Teisseire-Tornquist Zone the rocks are overmature.

Key words: Volyn-Podillia Plate, Kalus Beds, Vendotenides algae, petroleum generation potential.

Дата першого надходження статті до видання: 29.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026