

<https://doi.org/10.15407/ggcm2025.197-198.005>

УДК 550:551.351.2:5783(477)

Наталія РАДКОВЕЦЬ^{1,2}, Юрій КОЛТУН¹, Ігор ШАЙНОГА²

¹ Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,
e-mail: radkov_n@ukr.net

² Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

ГЕНЕРАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПОРІД ДЕВОНУ ВОЛИНСЬКО-ПОДІЛЬСЬКОЇ ПЛИТИ

У межах Волинсько-Подільської плити породи, збагачені органічною речовиною, поширені у відкладах нижнього, середнього та верхнього девону і представлені теригенними, глинистими та карбонатними нашаруваннями. Дослідження генераційного потенціалу порід методом програмованого піролізу Rock-Eval показали, що вміст органічного вуглецю сягає 2,35 %. Переважає кероген морського походження II типу. Температура піролізу $T_{\max}$ змінюється від 422 до 527 °C, демонструючи, що ступінь термальної перетвореності керогену коливається від недозрілих до перезрілих порід, при цьому значна частина відкладів розташована в межах зон генерації рідких та газоподібних вуглеводнів. Це свідчить про істотну роль відкладів девону у формуванні нафтогазової системи регіону.

Ключові слова: органічний вуглець, піроліз Rock-Eval, тип керогену, термальна зрілість, вуглеводневий потенціал.

Вступ. З 60-х років XX ст. в осадовій товщі девонських відкладів Волинсько-Подільської плити було розкрито два родовища газу (Локачі і Великі Мости). Численні газопрояви (Крупський та ін., 2014) були виявлені на площах Локачинська, Олеська, Горохівська та Оглядівська. Промислова нафтогазоносність цих відкладів охоплює також і територію Люблінського прогину Польщі (Helcel-Weil & Dzięgielowski, 2003). Поширення порід, збагачених органічною речовиною, у нашаруваннях нижнього (лохківський ярус), середнього (ейфельський і живетський яруси) та верхнього (франський і фаменський яруси) девону та їхні мінералого-петрографічні властивості висвітлені в низці публікацій (Радковець та ін., 2024; Radkovets, 2016; Radkovets & Koltun, 2022, 2023; Radkovets et al., 2017).

Наша **мета** – вивчити генераційний потенціал девонських порід Волинсько-Подільської плити та оцінити можливість їхньої участі в нафтогазовій системі регіону. Геохімічні дослідження проводили на всій території Волинсько-Подільської плити, включаючи весь хронологічний інтервал нашарувань девону.

Фактичний матеріал. Дослідження були спрямовані на характеристику розсіяної органічної речовини, її кількість, генетичний тип, ступінь зрілості та вуглеводневий потенціал. Для аналізу порід методом Rock-Eval було відібрано 51 зразок із 26 свердловин (рис. 1, 2) з відкладів нижнього, середнього та верхнього девону. Геохімічні дослідження проводили в лабораторії Гірничо-металургійної академії (м. Краків, Польща).

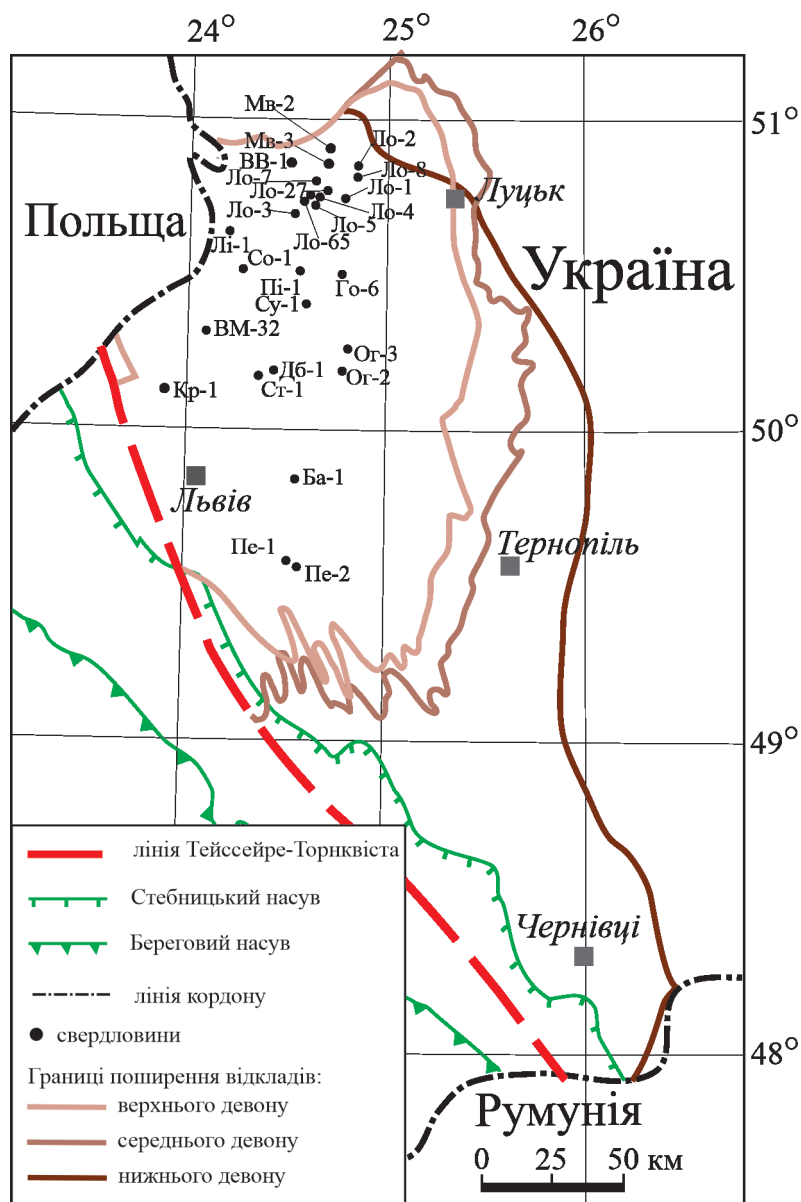


Рис. 1. Карта поширення відкладів нижнього, середнього та верхнього девону в межах Волинсько-Подільської плити. Геологічна будова за (Крупський та ін., 2014).
Свердловини: Ба – Балучинська; ВВ – Володимир-Волинська; ВМ – Великомоштівська; Го – Горохівська; Дб – Добровірівська; Кр – Крехівська; Лі – Літовизька; Ло – Локачинська; Мв – Миньковецька; Ог – Оглядівська; Пе – Перемишлянська; Пі – Підберезька; Со – Сокальська; Ст – Стремінська; Су – Сушнівська

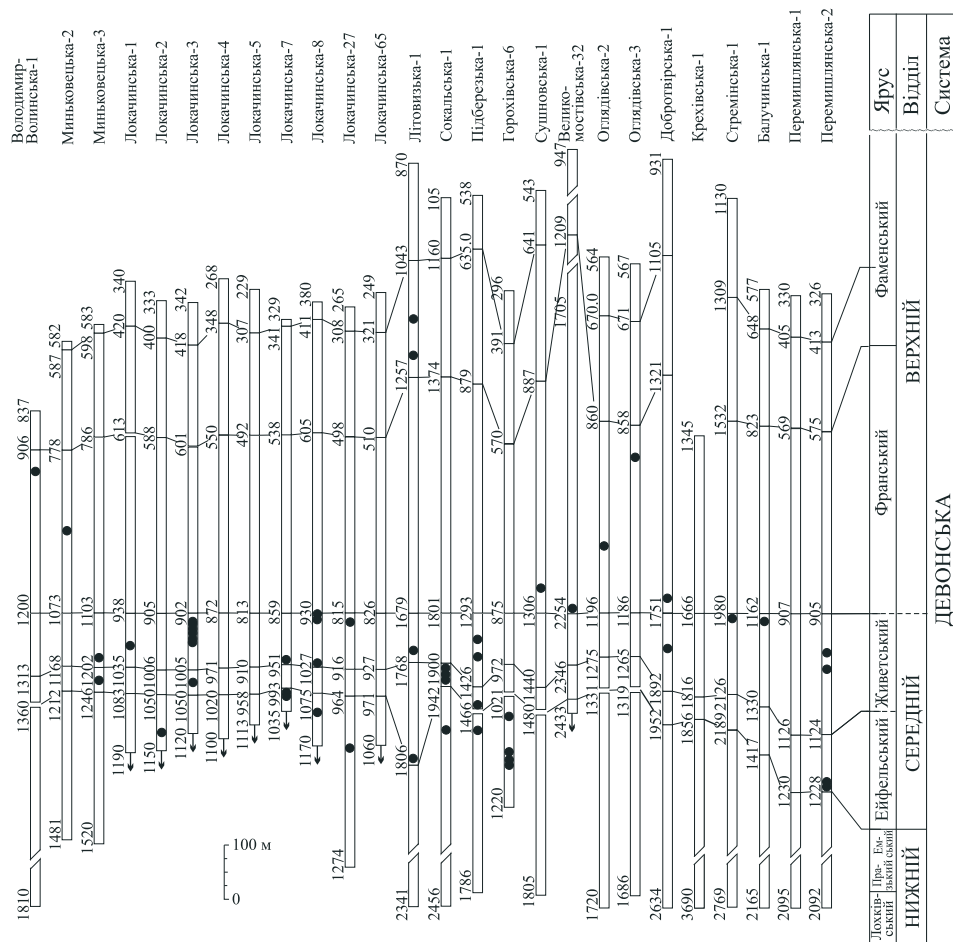


Рис. 2. Кореляція свердловин, які пройшли відклади девону Волинсько-Подільської плити, з локалізацією відбору проб для геохімічних досліджень

Результати та їхнє обговорення. У межах Львівського прогину вуглеводневий потенціал порід нижнього девону загалом коливається від бідного до задовільного (таблиця). Вміст органічного вуглецю у відкладах лохківського ярусу змінюється в межах від 0,01 до 0,45 % (середнє значення 0,12 %). Температура піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену $T_{\max}$ встановлена на рівні 422 °С, вказує, що ці відклади розташовані в зоні термально незрілих порід.

У досліджених породах нижнього девону (рис. 3) встановлено кероген наземного походження III типу, який зазнав первинних та/або вторинних процесів окиснення (рис. 4). Однак зміщення на графіку в напрямку керогену III типу може свідчити про первинне окиснення під час осадження або вторинне гідротермічне окиснення розсіяної органічної речовини в процесі доломітизації, що вказує на домінування керогену морського походження II типу (Kotarba et al., 2011).

У відкладах середньодевонського віку Львівського прогину вміст органічного вуглецю в породах ейфельського ярусу коливається від 0,02 до 0,64 %

Геохімічні показники	Нижній девон	Середній девон		Верхній девон	
	Лохківський	Ейфельський	Живетський	Франський	Фаменський
Органічний вуглець (%)	$\frac{0,01 - 0,45}{0,12} \left(\frac{11}{7} \right)$	$\frac{0,02 - 0,64}{0,08} \left(\frac{10}{7} \right)$	$\frac{0,01 - 2,35}{0,19} \left(\frac{21}{12} \right)$	$\frac{0,04 - 1,43}{0,08} \left(\frac{7}{7} \right)$	$\frac{0,07 - 0,10}{0,09} \left(\frac{2}{1} \right)$
Rock-Eval $T_{\max}$ (°C)	422 (1)	$\frac{428 - 441}{434} \left(\frac{5}{4} \right)$	$\frac{416 - 527}{429} \left(\frac{10}{4} \right)$	$\frac{428}{428} \left(\frac{2}{2} \right)$	$\frac{431 - 435}{433} \left(\frac{2}{1} \right)$
S ₂ (мг НС/г породи)	0,02 (1)	$\frac{0,03 - 0,97}{0,09} \left(\frac{5}{4} \right)$	$\frac{0,02 - 1,06}{0,18} \left(\frac{10}{4} \right)$	$\frac{0,11 - 3,61}{1,86} \left(\frac{2}{2} \right)$	$\frac{0,02 - 0,16}{0,09} \left(\frac{2}{1} \right)$
Індекс продуктивності (PI)	0,33 (1)	$\frac{0,07 - 0,21}{0,07} \left(\frac{5}{4} \right)$	$\frac{0,04 - 0,39}{0,22} \left(\frac{10}{4} \right)$	$\frac{0,07 - 0,11}{0,09} \left(\frac{2}{2} \right)$	$\frac{0,09 - 0,20}{0,15} \left(\frac{2}{1} \right)$
Водневий індекс (HI) (мг НС/г C ₂)	10 (1)	$\frac{55 - 152}{100} \left(\frac{5}{4} \right)$	$\frac{5 - 211}{53} \left(\frac{10}{4} \right)$	$\frac{30 - 252}{141} \left(\frac{2}{2} \right)$	$\frac{29 - 160}{95} \left(\frac{2}{1} \right)$
Індекс окиснення (OI) (мг CO ₂ /г C ₂)	35 (1)	$\frac{0 - 353}{90} \left(\frac{5}{4} \right)$	$\frac{0 - 153}{18} \left(\frac{10}{4} \right)$	$\frac{3 - 19}{11} \left(\frac{2}{2} \right)$	$\frac{20 - 29}{25} \left(\frac{2}{1} \right)$
Вміст мінерального вуглецю (MINC) (%)	$\frac{0,05 - 3,76}{1,70} \left(\frac{11}{7} \right)$	$\frac{0,03 - 3,78}{0,89} \left(\frac{10}{7} \right)$	$\frac{0,04 - 13,0}{3,12} \left(\frac{21}{12} \right)$	$\frac{0,07 - 13,0}{12,14} \left(\frac{7}{7} \right)$	$\frac{7,54 - 11,03}{9,29} \left(\frac{2}{1} \right)$
Тип керогену	н. в.	II/III?	II/III?	III/III?	н. в.
Ступінь зрілості	незрілі?	зрілі	незрілі/зрілі/перезрілі	зрілі/перезрілі	зрілі
Вуглеводневий потенціал	н. в. (бідний?)	бідний і незадовільний	бідний до хорошого	бідний до хорошого?	н. в.

Примітки: $T_{\max}$ – температура піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену, °C; S₂ – нафтовий потенціал, мг вуглеводнів/г породи; н. в. – не визначено. У чисельнику – діапазон геохімічних параметрів; у знаменнику – їхні середні значення. У дужках: у чисельнику – кількість зразків; у знаменнику – кількість свердловин.

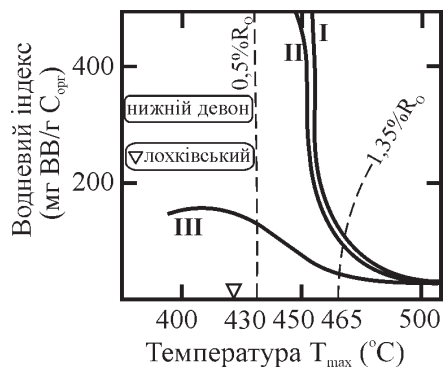


Рис. 3. Діаграма водневий індекс – температура піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену $T_{\max}$ для відкладів нижнього девону Волинсько-Подільської плити. Криві генетичних типів керогену і поля термальної зрілості за (Espitalie et al., 1985)

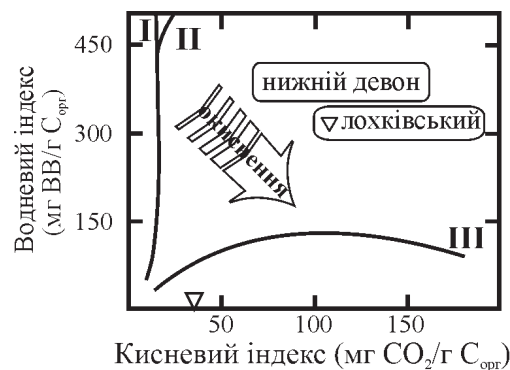


Рис. 4. Діаграма водневий індекс – кисневий індекс для відкладів нижнього девону Волинсько-Подільської плити. Криві термальної зрілості індивідуальних типів керогену за (Espitalie et al., 1985)

(середнє значення 0,08 %). У породах живетського ярусу його вміст істотно вищий, хоча показники в пробах коливаються від 0,01 до 2,35 %, а середнє значення становить 0,19 %.

У верхньодевонських відкладах у багатьох породах франського ярусу теж зафіксовані показники органічного вуглецю, що становлять вище 1 %, хоча загалом вони коливаються від 0,04 до 1,43 % за середнього значення 0,08 %. Найнижчі показники вмісту органічного вуглецю серед відкладів верхнього девону – 0,07–0,1 % за середнього значення 0,09 % – у відкладах фаменського ярусу (див. таблицю).

Для відкладів середнього девону (рис. 5) ейфельського ярусу значення температури піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену $T_{\max}$ відповідають зоні недозрілих порід або початку зони генерації нафти. Відклади живетського ярусу за значеннями температури піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену $T_{\max}$ є термально недозрілими або перебувають на межі недозрілих порід і зони генерації нафти. Проте у св. Перемишлянська-2 встановлено показники температури $T_{\max}$ 518 та 527 °C, це є свідченням того, що породи живетського ярусу тут є термально перезрілими.

Відклади верхнього девону франського і фаменського ярусів (див. таблицю) згідно з показниками температури $T_{\max}$ відповідають зоні недозрілих порід або початку зони генерації нафти.

Вуглеводневий потенціал загалом коливається від бідного до задовільного у відкладах середнього девону (ейфельський та живетський яруси), а в породах верхнього девону (франський та фаменський яруси) – від бідного до хорошого.

Діаграми водневого індексу порівняно з температурою $T_{\max}$ (рис. 6) та кисневим індексом (рис. 7) вказують на те, що у відкладах середнього та верхнього девону у Львівському прогині переважає змішаний кероген морського походження II типу і наземного походження III типу. Однак зміщення



Рис. 5. Діаграма залишковий вуглеводневий потенціал – органічний вуглець для відкладів середнього та верхнього девону Волинсько-Подільської плити. Класифікація за (Peters & Cassa, 1994)

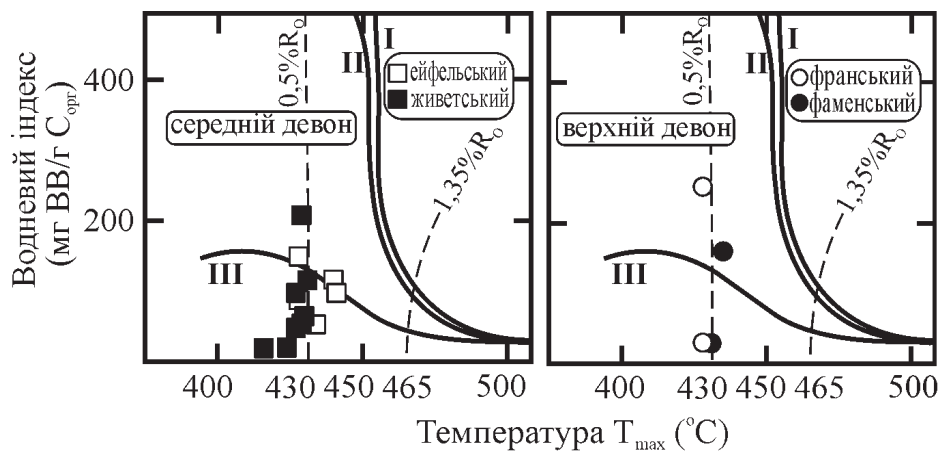


Рис. 6. Діаграма водневий індекс – температура піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену $T_{\max}$ для відкладів середнього та верхнього девону Волинсько-Подільської плити. Криві генетичних типів керогену і поля термальної зрілості за (Espitalie et al., 1985)

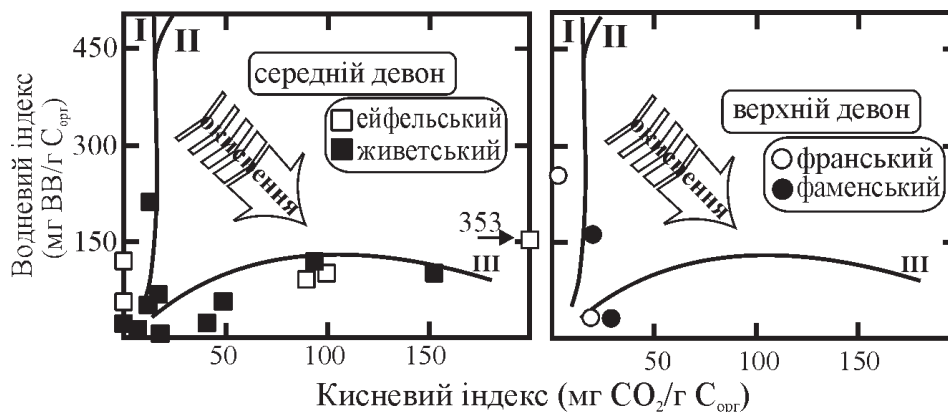


Рис. 7. Діаграма водневий індекс – кисневий індекс для відкладів нижнього девону Волинсько-Подільської плити. Криві термальної зрілості індивідуальних типів керогену за (Espitalie et al., 1985)

на графіку (див. рис. 7) у напрямку керогену III типу може бути пов'язане з первинним окисненням при осадженні та/або вторинним гідротермічним окисненням розсіяної органічної речовини під час доломітизації, а отже, вказувати на домінування керогену II типу.

Такі висновки ґрунтуються на результатах (Kotarba et al., 2011) низки прецизійних аналізів (розподіл біомаркерів, елементний склад керогену та стабільних ізотопів вуглецю).

Для нижньодевонських відкладів Львівського прогину за допомогою методу піролізу Rock-Eval було встановлено, що вміст мінерального вуглецю (еквівалентний вмісту в карбонатах) для порід лохківського ярусу коливається від 0,05 до 3,76 %, за середніх значень 0,45 % (рис. 8).

Для відкладів середнього та верхнього девону вміст мінерального вуглецю коливається в широкому діапазоні – від 0 % у глинисто-теригенних до 13,0 % в органігенних вапняках, що є відображенням речовинного складу цих нашарувань.

Висновки. Методом Rock-Eval досліджено породи, збагачені розсіяною органічною речовиною. Встановлено, що в нижньодевонських відкладах Волинсько-Подільської плити вміст загального органічного вуглецю

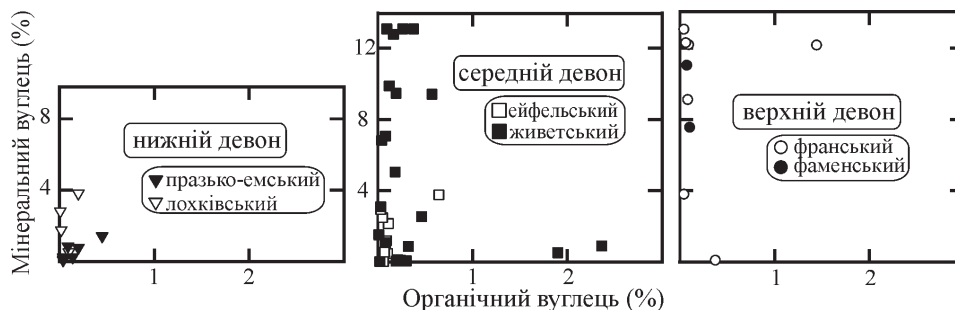


Рис. 8. Діаграма співвідношення органічного вуглецю з мінеральним вуглецем для відкладів девону Волинсько-Подільської плити

коливається від 0,01 до 0,45 % (середні значення 0,12 %). Органічна речовина в цих відкладах містить переважно кероген морського походження II типу і зазнала первинних та/або вторинних процесів окиснення.

Вміст загального органічного вуглецю у відкладах середнього девону змінюється: у породах ейфельського ярусу від 0,02 до 0,64 % (середні значення 0,08 %), живецького – від 0,01 до 2,35 % (середні значення 0,19 %), франського – від 0,04 до 1,43 % (середні значення 0,08 %), фаменського – від 0,07 до 0,10 % (середні значення 0,09 %).

Ступінь термальної зрілості відкладів нижнього (лохківський ярус), середнього (ейфельський, живецький яруси) та верхнього (франський, фаменський яруси) девону коливається від недозрілих до зрілих порід.

У відкладах середнього та верхнього девону переважає кероген морського походження II типу, який зазнав первинного окиснення під час седиментації та/або вторинного гідротермального окиснення розсіяної органічної речовини в процесі доломітизації.

Геохімічні дослідження генераційних властивостей відкладів середнього та верхнього девону в межах Львівського прогину Волинсько-Подільської плити показали, що їх можна розглядати як нафто- та газоматеринські породи.

- Крупський, Ю. З., Куровець, І. М., Сеньковський, Ю. М., Михайлов, В. А., Куровець, С. С., & Бодлак, В. П. (2014). *Нетрадиційні джерела вуглеводнів України: Кн. 2. Західний нафтогазоносний регіон*. Київ: Ніка-Центр.
- Радковець, Н., Колтун, Ю., & Локтев, А. (2024). Поширення та речовинний склад порід, збагачених розсіяною органічною речовиною, у розрізі девону Волинсько-Подільської плити. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 193–194(1–2), 22–31. <https://doi.org/10.15407/ggcm2024.193-194.022>
- Espitalie, J., Deroo, G., & Marquis, F. (1985). La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Deuxieme partie. *Revue de l'Institut Francais du Petrole*, 40(6), 755–784. <https://doi.org/10.2516/ogst:1985045>
- Helcel-Weil, M., & Dzięgielowski, J. (2003). Lublin Basin – petroleum prospecting results and their importance for future exploration. *Przegląd Geologiczny*, 51, 764–770.
- Kotarba, M. J., Więclaw, D., Kosakowski, P., Wróbel, M., Buła, Z., Matyszkiewicz, J., Krajewski, M., Kowalski, A., & Koltun, Y. V. (2011). Petroleum systems and perspectives of hydrocarbon exploration in the Palaeozoic-Mesozoic basement (SE Poland and western Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 81, 487–522. <https://www.researchgate.net/publication/260564752>
- Peters, K. E., & Cassa, M. R. (1994). Applied source rock geochemistry. In L. B. Magoon & W. G. Dow, (Eds.), *The petroleum system – from source to trap* (pp. 93–120). AAPG Memoir, 60. <https://doi.org/10.1306/M60585C5>
- Radkovets, N. (2016). Lower Devonian lithofacies and palaeoenvironments in the southwestern margin of the East European Platform (Ukraine, Moldova and Romania). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 65(4), 200–213. <https://doi.org/10.3176/earth.2016.18>
- Radkovets, N., & Koltun, Y. (2022). Dynamics of sedimentation within the southwestern slope of the East European Platform in the Silurian-Early Devonian. *Geodynamics*, 32(1), 36–48. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.036>
- Radkovets, N., & Koltun, Y. (2023). Lithology, facies and dynamics of formation of the Albian-Cenomanian reservoir rocks of the Pokuttia-Bukovyna part of the Carpathian autochthon. *Geodynamics*, 34(1), 37–46. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.037>

Radkovets, N., Kotarba, M., & Wójcik, K. (2017). Source rock geochemistry, petrography of reservoir horizons and origin of natural gas in the Devonian of the Lublin and Lviv basins (SE Poland and western Ukraine). *Geological Quarterly*, 61(3), 569–589. <https://doi.org/10.7306/gq.1361>

Стаття надійшла:
26.02.2025 р.

Natalia RADKOVETS^{1,2}, Yuriy KOLTUN¹, Ihor SHAYNOHA²

¹ Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine,
e-mail: radkov_n@ukr.net

² Ivan Franko Lviv National University, Lviv, Ukraine

GENERATION POTENTIAL OF THE DEVONIAN ROCKS OF THE VOLYN-PODILLYA PLATE

Since the 1960s, two gas fields (Lokachi and Velyki Mosty) have been discovered in the Devonian sequence of the Volyn-Podillya Plate, and numerous gas shows have been observed in the Lokachi, Olesko, Horokhiv, and Oglyadiv areas. Organic-rich rocks within the Volyn-Podillya Plate are widespread in the Lower, Middle and Upper Devonian strata. They are represented by terrigenous, clayey and carbonate layers.

The objective of this study is to investigate the generation potential of the Devonian rocks of the Volyn-Podillya Plate and the possibility of their participation in the petroleum system of the region. Geochemical studies covered the entire territory of the Volyn-Podillya Plate as well as the entire chronological interval of the Devonian strata.

Rock-Eval pyrolysis studies showed that the content of total organic carbon in the Lower Devonian organic-rich rocks ranges from 0.01 to 0.45 % (average values 0.12 %). The organic matter in these rocks contains mainly kerogen of marine origin type II, and has undergone primary and/or secondary oxidation processes.

The content of total organic carbon in Middle Devonian sediments varies: in rocks of the Eifelian Stage from 0.02 to 0.64 % (average values 0.08 %), in Givetian from 0.01 to 2.35 % (average values 0.19 %), in Frasnian from 0.04 to 1.43 % (average values 0.08 %), in Famennian from 0.07 to 0.10 % (average values 0.09 %).

The thermal maturity level of the Lower (Lochkovian Stage), Middle (Eifelian, Givetian Stages) and Upper (Frasnian, Famennian Stages) Devonian ranges from immature to overmature rocks.

The Middle and Upper Devonian rocks are dominated by type II marine kerogen, which underwent primary oxidation during sedimentation and/or secondary hydrothermal oxidation of dispersed organic matter during dolomitization. The pyrolysis temperature $T_{\max}$ varies from 422 to 527 °C, demonstrating that the degree of thermal transformation of kerogen ranges from immature to overmature, with a significant part of the sediments being within the zones of generation of liquid and gaseous hydrocarbons, which indicates the significant role of Devonian sediments in the formation of the petroleum system of the region.

Geochemical studies of the generation properties of the Middle and Upper Devonian sediments within the Volyn-Podillya Plate showed that they can be considered as oil and gas source rocks in the Upper Paleozoic sequence.

Keywords: organic carbon, Rock-Eval pyrolysis, kerogen type, thermal maturity, hydrocarbon potential.