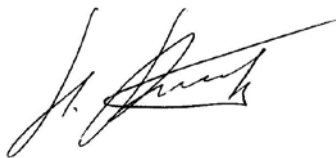


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК



РАДКОВЕЦЬ НАТАЛІЯ ЯРОСЛАВІВНА

УДК 552.5:551.24 (487.8+477.74)

**ЕВОЛЮЦІЯ ОСАДОВИХ ТОВЩ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО СХИЛУ
СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ ВПРОДОВЖ ПІЗЬНОГО
ПРОТЕРОЗОЮ-ФАНЕРОЗОЮ У ЗВ'ЯЗКУ
З ЇХ ПОТЕНЦІЙНОЮ НАФТОГАЗОНОСНІСТЮ**

Спеціальність 04.00.17 – Геологія нафти і газу

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора геологічних наук

Київ – 2019 рік

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті геології і геохімії горючих копалин
НАН України (м. Львів) у відділі седиментології провінцій горючих копалин

Науковий консультант:

доктор геолого-мінералогічних наук,
академік НАН України, професор

Павлюк Мирослав Іванович,

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України (м. Львів),
директор

Офіційні опоненти:

доктор геологічних наук, професор,

Крупський Юрій Зиновійович

Львівський національний університет імені Івана Франка,
професор кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології

доктор геологічних наук, доцент,

Куровець Сергій Сергійович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри геології та розвідки нафтових і газових родовищ

доктор геолого-мінералогічних наук, професор,

член-кореспондент НАН України

Кутас Роман Іванович

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
завідувач відділу геотермії та сучасної геодинаміки

Захист відбудеться «14» лютого 2019 р. о 10-00 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 26.162.02 Інституту геологічних наук НАН України за
адресою: 01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геологічних наук
НАН України за адресою: 01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б

Автореферат розісланий «10» січня 2019 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат геологічних наук



Т.М. Сокур

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Південно-західний схил Східноєвропейської платформи (Волино-Подільська плита, Молдовська платформа, Переддобрудзький прогин) є однією з основних перспективних на нафту і газ територій України і суміжних держав. Розріз осадової товщі цього регіону охоплює широкий віковий діапазон від докембрію до міоцену. Він включає в себе окремі потужні різновікові літолого-стратиграфічні комплекси: едіакарсько-кембрійський, ордовіцький, силур-нижньодевонський (локхівський ярус), нижньодевонський (празький-емський яруси), середньо-верхньодевонський, кам'яновугільний, юрський, крейдяний та неогеновий. Ці комплекси сформувались в різних палеосередовищах і тектонічних умовах, з різною історією занурення та термального дозрівання. Кожен з них є перспективним для пошуків покладів вуглеводнів – як традиційних (нафта та газ), так і нетрадиційних (газ щільних колекторів, сланцеві нафта та газ).

Південно-західний схил Східноєвропейської платформи вивчався дослідниками впродовж багатьох десятиліть і його перспективність підтверджена як науково-дослідними, так і геологорозвідувальними роботами. Однак, не зважаючи на значний обсяг геологічних досліджень і важливість одержаних результатів, багато питань залишаються не з'ясованими і їх вирішення обумовлює актуальність даної роботи.

Протягом останніх десятиліть з'явилися нові методи геологічних та літолого-геохімічних досліджень, застосування яких в даній роботі дозволило одержати нові дані щодо розвитку території досліджень впродовж пізнього протерозою-фанерозою та формування потенціалу її нафтогазоносності. Зокрема, за допомогою сучасних прецизійних методів були вивчені збагачені органічною речовиною товщі едіакарію, силуру, середнього та верхнього девону й нижньої крейди, досліджені проби нафти і газів із середньодевонських і мезозойських покладів, проведено моделювання тектонічної еволюції та історії занурення і термального дозрівання верхньопротерозой-фанерозойської осадової товщі, що дозволило з'ясувати закономірності розвитку окремих літолого-стратиграфічних комплексів та оцінити їх нафтогазоносний потенціал.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у відділі седиментології провінцій горючих копалин Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України.

Дослідження, результати яких висвітлені у дисертаційній роботі, здійснені автором під час виконання бюджетних науково-дослідних тем: «Еволюція басейнів осадо-породоутворення Карпато-Чорноморської континентальної окраїни океану Тетіс в аспекті їх нафтогазоносності» (2016-2017 рр.) державний реєстраційний номер 0116U003018; «Геолого-палеоокеанографічні умови седименто-літогенезу нафтогазоносних товщ Карпато-Чорноморського сегменту океану Тетіс» (2015 р.) 0111U002020; «Геологічна палеоокеанографія безкисневих океанських подій в контексті проблеми нафтогазоносності давніх континентальних окраїн (Карпато-Чорноморський сегмент океану Тетіс)» (2010 р.), державний реєстраційний номер 0106U002032; а також науково-дослідних робіт за угодами з виробничими організаціями: «Встановлення умов міграції і акумуляції природних вуглеводнів Півдня України, визначення динаміки літогенезу та формування колекторів крейди

північно-західного шельфу Чорного моря та уточнення перспектив нафтогазоносності силурійських рифів Волино-Поділля і Придобруджя» (2006 р.), державний реєстраційний номер 0105U003937; «Локалізація нафтогазоперспективних площ шельфу Чорного моря на основі вивчення впливу геотектонічних і седиментокатагенетичних факторів» (2007 р.) державний реєстраційний номер 0106U005815; «Наукове обґрунтування просторово-вікового поширення нафтогазоперспективних об'єктів в Чорноморсько-Кримській нафтогазоносній провінції» (2009 р.), державний реєстраційний номер 0108U000924. «Проблеми освоєння ресурсів «сланцевого» газу заходу України» (2016 р.) державний реєстраційний номер 0112U000650.

Мета роботи та основні завдання досліджень.

Метою роботи є вивчення еволюції потенційно нафтогазоносних осадових товщ у пізньому протерозой-фанерозой південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, зокрема: Волино-Подільської плити, Молдовської платформи та Передобрудзького прогину.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі: 1) дослідження речовинного складу як перспективних нафтогазогенеруючих товщ, так і порід-колекторів; 2) вивчення палеосередовищ осадонагромадження в межах континентальної окраїни палеоконтиненту Балтики, зокрема безкисневих подій, що спричинили формування потенційно нафтогазогенеруючих осадових товщ, збагачених органічною речовиною; 3) дослідження органічної речовини з метою оцінки її нафтогазогенеруючого потенціалу; 4) дослідження нафт і бітумоїдів з існуючих нафтових і газових покладів (середній девон, юра, крейда) території досліджень з метою одержання їх генетичних показників; 5) дослідження газів із газових покладів (відклади середнього девону) з метою вивчення процесів, що призвели до їх формування; 6) проведення кореляції між нафтами, газами та породами; 7) вивчення можливості формування та існування в досліджених літолого-стратиграфічних комплексах нафтових і газових покладів; 8) проведення комп'ютерного моделювання для реконструкції тектонічного режиму, історії занурення та термального дозрівання верхньопротерозой-фанерозойського осадового чохла та формування його нафтогазового потенціалу.

Об'єкт дослідження: відклади південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, а саме: едіакарію, силуру, девону, юри та крейди, включаючи як основні потенційно нафтогенеруючі породи, так і породи-колектори нафти і газу, а також нафти Лопушнянського та газу Локачівського родовищ.

Предмет дослідження: речовинний склад порід едіакар-палеозой-мезозойського віку, їх седиментаційна й постседиментаційна еволюція та пов'язані з нею процеси акумуляції і генерації вуглеводнів.

Методи дослідження: а) для вивчення порід застосовано: мінералого-петрографічні дослідження, рентген-дифрактометричний аналіз, інфрачервону спектрофотометрію, екстракцію бітумоїдів, піроліз Rock-Eval, виділення та дослідження керогену, вимірювання відбивної здатності вітринітоподібних мацералів; б) для дослідження нафт і бітумоїдів застосовано: визначення питомої ваги та вмісту ванадію та нікелю, колонкову та газову хроматографію, маспектрометрію, газову хроматографію-маспектрометрію; в) для газів застосовано: газову хроматографію, маспектрометрію.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Збагачені органічною речовиною калюські версти едіакарію у відслоненнях мають невисокий ступінь термальної зрілості, що відповідає початку зони генерації рідких вуглеводнів, а в досліджених зразках із глибоких свердловин (інтервал глибин 2–4 км) вони демонструють високу термальну зрілість та їхній генераційний потенціал є значною мірою вичерпаний. Потенційна нафтогазоносність, пов'язана із калюськими верствами, може бути передбачена на території, де ці відклади залягають в інтервалі глибин від 0 до 2 км і є в зоні генерації рідких вуглеводнів.

2. Визначальний вплив на поширення фацій в силурійський час у межах шельфу південної окраїни палеоконтиненту Балтика мали трансгресивно-регресивні цикли, а положення границі між рифовою та відкритошельфовою фаціями, а отже, просторово-часове поширення потенційно нафтогазогенеруючих відкладів, збагачених органічною речовиною, контролювалося зоною кисневого мінімуму.

3. На основі рентген-дифрактометричних та петрографічних досліджень збагачених органічною речовиною порід силуру, встановлено, що їх мінеральний склад забезпечує високу крихкість порід, яка є необхідною умовою для ефективного застосування гідророзриву в процесі розробки сланцевого газу.

4. У відкладах середнього та верхнього девону (живецький, франський яруси) локально встановлені збагачені органічною речовиною породи, які за своїми генераційними властивостями та ступенем термальної зрілості можуть розглядатися як потенційно нафтогазогенеруючі відклади.

5. Комплексні генетичні дослідження показали, що природні вуглеводневі гази із покладів середнього девону Локачівського родовища вміщують як термогенний, так і бактеріальний компоненти, які могли бути генеровані породами глинистих фацій ордовіцько-силурійських відкладів Львівського прогину.

6. Нафти Лопушнянського родовища, які є в мезозой-палеогенових відкладах платформового фундаменту під насувом Карпат, були генеровані породами менілітової світи олігоцену Карпат. Кореляція цих нафт як із нафтами флішових покладів, так і з породами підтверджує приналежність Лопушнянського родовища до нафтової системи Карпатського флішу.

7. Результати 1-D моделювання історії занурення та термального дозрівання, проведеного для потенційно нафтогазогенеруючих порід верхньопротерозой-фанерозойської товщі південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, показали, що в більшості випадків вони досягли ступеня термальної зрілості, що відповідає нафтовому і газовому вікнам в період часу від пізнього силуру до пізнього карбону відповідно.

Практичне значення отриманих результатів. Дослідженнями охоплені всі основні перспективні на нафту і газ літолого-стратиграфічні комплекси осадової товщі південно-західного схилу Східноєвропейської платформи.

Для калюських верств едіакарію вивчено генераційний потенціал та закономірності його зміни як по латералі, так і за глибиною. Показано, що потенційна нафтогазоносність, пов'язана із калюськими нашаруваннями, може бути передбачена на території, де ці відклади залягають в інтервалі глибин 0–2 км.

На основі аналізу палеосередовищ вивчені закономірності просторово-часового поширення відкритошельфової фації силуру, потенційно перспективної на сланцевий газ. Встановлено, що мінеральний склад силурійських порід, збагачених органічною речовиною, забезпечує їх високу крихкість, яка є необхідною умовою для ефективного застосування гідророзриву в процесі розробки сланцевого газу.

Встановлено, що збагачені органічною речовиною породи середнього та верхнього девону за своїми генераційними властивостями та ступенем термальної зрілості можуть розглядатися як потенційно нафтогазогенеруючі відклади. Встановлено, що гази із покладів середнього девону Локачівського родовища могли бути генеровані породами глинистих фацій ордовиксько-силурійських відкладів Львівського прогину.

Встановлена кореляція нафт Лопушнянського родовища із нафтами флішових покладів підтверджує їх приналежність до нафтової системи Карпатського флішу, що свідчить про перспективність інших структур у межах піднасувної частини платформового фундаменту Передкарпатського прогину.

1-D моделювання тектонічної еволюції та історії занурення і термального дозрівання верхньопротерозой-фанерозойської товщі південно-західного схилу Східноєвропейської платформи дозволили встановити час реалізації генераційного потенціалу порід різних літолого-стратиграфічних комплексів та оцінити можливість збереження покладів вуглеводнів в осадовому чохла.

Особистий внесок здобувача. Автором проведено кореляцію верхньопротерозойських і палеозойських відкладів від Чорного моря до Скандинавії та вивчено окремі седиментаційні цикли континентальної окраїни Балтики. Досліджено еволюцію літолого-стратиграфічних комплексів осадової товщі, зокрема розвиток процесів генерації вуглеводнів, та дана оцінка потенціалу їхньої нафтогазоносності. Особистий внесок у наукові праці, що написані у співавторстві, зазначено у списку опублікованих за темою дисертації робіт.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційних досліджень викладені на: Міжнародній конференції «Проблеми геології та нафтогазоносності Карпат», Львів, 2006; Міжнародній конференції «Сучасні проблеми літології та мінералогії осадових басейнів України та суміжних територій», Київ, 2008; Міжнародній конференції «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій», Київ, 2010; Міжнародній конференції «Проблеми геології і геохімії горючих копалин», Львів, 2011; Міжнародній конференції «Badania geologiczne i hydrogeologiczne na pograniczu Polsko-Ukrainskim», Львів, 2012; Міжнародній конференції «От минералогии к геохимии», Київ, 2013; Міжнародній конференції «Проблеми геології і геохімії горючих копалин», Львів, 2017; 79-й конференції Європейської асоціації геологів та інженерів «EAGE Conference & Exhibition», Париж, 2017.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в одній колективній монографії та 22 статтях, 14 з яких опубліковані у фахових наукових виданнях України, затверджених МОН України, серед яких 3 у журналах, що входять до переліку наукометричних баз та 8 у міжнародних наукових виданнях, що входять до переліку Scopus, 6 статей – одноосібного авторства.

Структура дисертації. Дисертація обсягом 354 сторінки складається із вступу, десяти розділів, висновків та списку використаних джерел з 411 найме-

нувань на 39 сторінках, 121 рисунку (39 на окремих сторінках), 21 таблиці (6 на окремих сторінках).

Автор із вдячністю згадує член-кореспондента Національної академії наук України, професора **Юрія Миколайовича Сеньковського** за підтримку на перших кроках наукової діяльності та за багаторічні наукові консультації.

Висловлюю подяку науковому консультанту, академіку НАН України, професору Мирославу Івановичу Павлюку за постійну підтримку на всіх етапах виконання роботи та численні наукові консультації.

Автор вдячна науковцям з Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України (м. Львів) Юрію Володимировичу Колтуну за постійну підтримку на всіх етапах виконання роботи та наукові консультації й дискусії, доктору геологічних наук Костянтину Григоровичу Григорчуку та кандидату геологічних наук Володимирі Петровичу Гнідцю за консультації та підтримку під час виконання роботи, Ярославі Василівні Яремчук за багаторічну співпрацю та численні аналітичні дослідження, Надії Іллівні Манжар за аналітичні дослідження.

Приношу слова вдячності науковцям університету АГН (Краків, Польща) професору Мачею Котарбі, доктору габілітованому Павлу Косаковському, доктору Павлу Поправі, доктору габілітованому Даріушу Венцлаву, доктору Адаму Ковальському за наукову співпрацю та постійне сприяння у виконанні роботи і численні аналітичні дослідження, також докторанту Йоганнесу Раубалю із Montanuniversität Leoben, Австрія, за співпрацю та аналітичні дослідження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ІСТОРІЯ ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ РЕГІОНУ

Геологічні дослідження південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, зокрема Волино-Подільської плити та Переддобрудзького прогину на початкових етапах відрізнялися у цих двох регіонах. У межах Волино-Поділля вони мали більш ґрунтовний і системний характер на противагу Західному Причорномор'ю. Це зумовлено тим, що Волино-Подільська плита займає значно більшу територію, давні відклади виходять на денну поверхню в руслах річок і тут пробурено більше сотні параметричних та пошукових свердловин, тоді як у Переддобрудзькому прогині – лише кілька десятків свердловин.

Волино-Подільська плита

Геологічні дослідження платформових відкладів на території західних та південно-західних областей України розпочалися з початку XIX століття на відслоненнях р. Дністер та р. Горинь. Вивчення давніх осадових товщ провели С. Сташиц (1815), Д. Стур (1872), В. Шайноха (1888–1889) та В. Д. Ласкарев (1914). На початку та в середині XX століття, в результаті геологічних зйомок, пов'язаних з пошуками сировини для мінеральних добрив, низка науковців: М. Н. Пухтинський (1926), Р. Р. Виржиківський, (1933), Л. Ф. Лунгерсгаузен і О. І. Нікіфорова (1942), В. П. Курочка (1959), Я. Самсонович (1926), О. В. Крашеннікова (1956), С. Малковський (1933) та інші відомі дослідники з'ясували умови залягання вендської товщі, яку на той час відносили до силуру та ордовіку, а також склали перші схеми стратиграфічного розчленування цієї товщі.

У 1940–1950 рр. трестами Львіввуглерозвідка і Волинськвуглерозвідка з метою встановлення поширення кам'яновугільних відкладів у західній частині Волині було пробурено велику кількість пошукових і розвідувальних свердловин (Бобровник та ін., 1962). За матеріалами цього буріння П. Л. Шульга (1952) розробив стратиграфічну схему палеозою та протерозою Західної Волині.

Системне геологічне дослідження південно-західного схилу Східно-європейської платформи – Волино-Подільської плити розпочалось в 1950–60 рр. XX століття завдяки структурно-пошуковому бурінню, регіональним геофізичним дослідженням та детальним сейсморозвідувальним роботам на окремих ділянках, метою яких були пошуки нафти і газу. Дослідження, які провели П. Л. Шульга (1957), С. І. Субботін (1955), А. В. Хижняков (1963, 1964, 1974), К. Я. Гуревич (1973), Г. М. Пом'яновська (1974) та інші відомі дослідники, стали фактичним підґрунтям для пізнання геологічної будови та стратиграфії регіону. Вагомий внесок у вирішення проблеми з'ясування тектонічної будови Львівського палеозойського прогину зробили В. В. Глушко (1968), В. Н. Утробін (1968, 1977 та ін.), І. Б. Вишняков (1981 та ін., 1984 та ін.), В. А. Котик і В. М. Марковський (1972) та інші відомі дослідники.

Наприкінці 70-х на початку 80-х років XX століття для детальнішого дослідження Волино-Подільської окраїни Східноєвропейської платформи була пробурена низка глибоких опорних і параметричних свердловин, яка відкрила повністю або значну частину осадового чохла зануреного краю платформи. Отриманий матеріал дозволив доповнити та внести зміни до уявлення про геологічну будову Волино-Поділля та вивчити особливості нафтогазоносності західного регіону України завдяки працям: Г. Н. Доленка (1980 та ін., 1985 та ін.), А. П. Медведєва (1975, 1979, 1992), Б. П. Різуна (1983) і Е. І. Чижа (1980, 1986), М. І. Павлюка (2004), О. С. Ступки (1980, 1986), Ю. З. Крупського (2001, 2014, 2014 та ін.), А. В. Іванова (2010, 2011) та інших відомих дослідників.

В роботах І. І. Чебаненка (1988 та ін., 1990 та ін.), С. С. Круглова (2007), Х. Б. Заяць (2015) були розкриті фундаментальні питання глибинної будови Західного регіону України. Речовинний склад осадових товщ Волино-Подільської плити, а також історію розвитку регіону з точки зору геологічної палеоокеанографії з'ясовував Ю. М. Сеньковський (1977, 1989 та ін., 2004 та ін., 2006 та ін., 2012 та ін.). На підставі палеонтологічних досліджень Д. М. Дриганта (1978 та ін., 2000, 2001, 2010), В. Я. Веліканова (1979 та ін., 1983 та ін., 2011), В. В. Кір'янова (1933), О. А. Асєєвої (1988), О. І. Нікіфорової (1972 та ін.), П. Д. Цегельнюка (1974, 1981) та інших відомих палеонтологів було з'ясовано стратиграфічне положення давніх осадових товщ з виділенням окремих стратотипів та проведено палеогеографічні реконструкції регіону.

Переддобрудзький прогин

Геологорозвідувальні роботи у Переддобрудзькому прогині розпочалися в 40-х роках минулого століття. Трестом «Кримнафтогазрозвідка» було пробурено значну кількість пошукових і розвідувальних свердловин, які досягли відкладів мезозою та палеозою, і лише наприкінці 60-х – початку 70-х років XX століття були пробурені окремі свердловини трестом «Кримнафтогазрозвідка» та геологічним об'єднанням «Кримморгеологія», які досягли нашарувань палеозою та протерозою. Зацікавленість відкладами палеозою в межах регіону зросла у 80-ті роки XX століт-

тя, коли внаслідок проведених бурових робіт геологічним об'єднанням «Кримгеологія» були отримані промислові припливи нафти у відкладах девону.

На сьогоднішній час у межах Переддобрудзького прогину пробурено 30 свердловин, які досягли відкладів палеозою, з яких 18 – на території України і 12 – на території Молдови. За матеріалами цього буріння К. Я. Гуревич (1963 та ін.), В. Х. Капцан і Е. І. Сафаров (1964), Б. М. Полухтович (1971 та ін.), В. П. Гріщенко (1986) та інші відомі дослідники провели палеонтологічні дослідження.

Вагомий внесок для створення основи сучасних концепцій геологічної будови та тектонічного розвитку Переддобрудзького прогину зробили С. М. Захарчук (2007 та ін.), І. І. Чебаненко (1988), П. Ф. Гожик і М. І. Євдошук (Гожик та ін., 2010), М. І. Павлюк, В. П. Гнідець і К. Г. Григорчук (2003 та ін.) та інші відомі науковці.

ГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕГІОНУ

Тектонічне районування

Досліджена територія – південно-західний схил Східноєвропейської платформи включає в себе наступні геологічні структури: Волино-Подільську плиту, Молдовську платформу та Переддобрудзький прогин. На сьогодні межі південно-західної границі Східноєвропейської платформи залишаються дискусійними, проте всі науковці дотримуються однієї думки, що ця границя проходить по лінії Тейсейре-Торнквіста (ТТ) (Медведев, 1992; Крупський, 2014; Заяць, 2015). Ґрунтуючись на дослідженнях (Nawrocki and Poręba, 2006; Заяць, 2015; Krzywicz, 2009) нами була прийнята границя лінії ТТ наступним чином: у межах Волино-Подільської плити – по розломах Рава-Руська–Давидени, на території Румунії та в межах Переддобрудзького прогину за матеріалами (Seghedi, 2005, Круглов та ін., 2007).

У межах Волино-Подільської плити при сучасному районуванні прийнято виділяти наступні структурно-тектонічних елементи: Волино-Подільську монокліналь, Ковельський виступ, Боянецький прогин і Львівський палеозойський прогин (Круглов та ін., 1985).

Переддобрудзький палеозойський прогин становить крайову грабенеподібну структуру субширотного простягання з глибиною залягання фундаменту до 5–9 км. Він розташований у західній частині Причорноморсько-Азовської системи прогинів і є обрамленням з півдня Східноєвропейської платформи. Північна межа прогину відповідає Чадир-Лунсько-Саратському розлому.

Літолого-стратиграфічний нарис

Фундамент південно-західного схилу Східноєвропейської платформи сформований складно дислокованими утвореннями архею – нижнього протерозою. Він виходить на денну поверхню в області Українського щита, а в напрямку зі сходу на захід від щита до зони ТТ поверхня фундаменту моноклінально занурюється під осадовою товщею, максимальні товщини якої розвинуті у Львівському (до 10 км) та Переддобрудзькому (до 9 км) прогинах. Осадовий чохол південно-західного схилу Східноєвропейської платформи представлений відкладами верхнього протерозою (рифей, венд), палеозою (кембрій, ордовик, силур, девон, (перм та карбон – виключно в Львівському та Переддобрудзькому прогині)), мезозою ((тріас – виключно в Переддобрудзькому прогині), юра, крейда) і кайнозою (палеоген, неоген, антропоген).

Нафтогазоносність

На сьогодні у відкладах середнього девону в межах Волино-Подільської плити відкрито два невеликі газові родовища – Локачинське і Великомоштівське, а у верхньодевонських породах встановлені численні прояви вуглеводнів. В осадовій товщі регіону інших вікових інтервалів зафіксовано лише непромислові газо- та нафтопрояви, зокрема, в рифогенних побудовах силуру на Локачинській площі, а також значні газопрояви у відкладах кембрійського віку у свердловині Перемишлянська-1 (Крупський та ін., 2014).

У межах Переддобрудзького прогину відкрито два невеликі нафтові родовища: Східно-Саратське та Жовтоярське. Нафтоносними є карбонатні колектори середнього девону і підшови верхнього девону. Родовища прийняті на державний баланс і перебувають в консервації (Гнідець та ін., 2003).

МЕТОДИ АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення порід застосовувались: мінералого-петрографічні дослідження, рентген-дифрактометричний аналіз, інфрачервона спектрофотометрія. Органічна речовина порід досліджувалась методом піролізу Rock-Eval. Екстракція бітумоїдів здійснювалась за допомогою апарата Сокслета. Фракції бітумоїдів розділялись методом колонкової хроматографії. Виділення кєрогену для елементного аналізу здійснювалось за допомогою екстракції на апараті Сокслета. Елементний склад виділеного кєрогену визначався за допомогою елементного аналізатора. Вимірювання відбивної здатності вітринітоподібних мацералів було здійснене на мікрофотометрі Zeiss-Opton і використані стандарти відбивної здатності 0,496 %, 0,921 %, 1,141 % і 1,662 %.

Для дослідження нафт замірялись густини, вміст сірки, нікелю і ванадію. Фракції нафт розділялись методом колонкової хроматографії. Всі нафти і бітумоїди були проаналізовані за допомогою газової хроматографії високої роздільної здатності. Склад стабільних ізотопів вуглецю нафт і їхніх індивідуальних фракцій вивчався за допомогою мас-спектрометричних досліджень, і результати аналізу віднесені до стандарту PDB. Біомаркери нафт вивчались за допомогою хромато-масспектрометричного аналізу фракцій насичених і ароматичних вуглеводнів.

Для вивчення молекулярного складу газів був застосований метод газової хроматографії. Аналіз складу стабільних ізотопів проводився за допомогою мас-спектрометра, дані щодо складу стабільних ізотопів вуглецю і водню представлені в стандартах PDB і SMOW відповідно.

Історія тектонічної еволюції, занурення і термального дозрівання порід, процеси генерації вуглеводнів були реконструйовані за допомогою використання програми комп'ютерного моделювання BasinMod™ 1-D.

ЕВОЛЮЦІЯ РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ ВІДКЛАДІВ ЕДІАКАРІЮ ТА ЇХНІЙ НАФТОГЕНЕРАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Поширення відкладів едіакарію та літолого-стратиграфічне зіставлення розрізів

Едіакарські нашарування залягають моноклінально, їхні товщини закономірно зростають у напрямку до зони ТТ, де максимальні значення становлять 300 м для північно-західної та центральної частини району, а в південно-східній частині

товщини зростають до 500 м і більше. Калюські відклади теж залягають моноклінально, з частковим успадкуванням морфоструктур едіакарію. Товщини цих нашарувань загалом сягають 60 м у межах Волино-Подільської плити, а в Переддобрудзькому прогині – 120 м і більше. На фоні загального моноклінального залягання порід виокремлюються чотири локальні морфоструктури, які простягаються впоперек до поширення відкладів едіакарію з північного сходу на південний захід майже паралельно одна одній.

Нижня частина едіакарського розрізу (могилівська світа) представлена конгломератами та грубозернистими пісковиками. Ці породи становлять конуси виносу давніх палеорік. Теригенні відклади яришівської світи відрізняються від підстеляючих – це дрібно-середньозернисті пісковики з перешаровуванням алевролітів та аргілітів. Їх догори по розрізу змінюють середньозернисті польовошпат-кварцові пісковики джуринських верств (нагорянська світа), максимальні товщини яких сягають 30 м. Відклади джуринського віку заміщуються калюськими верствами, збагаченими розсіяною органічною речовиною, темно-сірими тонкошаруватими аргілітами та глинистими алевролітами. Відклади канилівської серії, які завершують едіакарський розріз, становлять ритмічну товщу глауконіт-кварцових алевролітів та аргілітів, перешарованих пісковиками. Верхня частина відкладів едіакарію канилівської серії зазнала денудації. Унайзануренішій ділянці дослідженої території відклади едіакарію зі стратиграфічним неузгодженням заміщуються відкладами нижнього кембрію, а на ділянках, прилеглих до Українського щита, їх перекривають відклади середнього-верхнього ордовіку або силуру, нижньої крейди чи четвертинні відклади.

Петрографічна характеристика порід едіакарію

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).

Мінералогічний склад цих порід відповідає мінералогічному складу корінних порід Українського щита. Догори по розрізу едіакарської товщі зростає вміст глинистої складової порід, а теригенної зменшується. Серед теригенно-глинистих порід едіакарію вирізняються калюські верстви – збагачені розсіяною органічною речовиною аргіліти та глинисті алевроліти, максимальний вміст органічного вуглецю в яких становить 0,89 %. Органічна речовина цих порід представлена залишками водоростей *Vendotenides* (Гниловська, 1979) зі структурованою (бактеріальною) та аморфною органічною речовиною – твердими бітумами у вигляді жил і лінз, в яких виявлено фрагменти піриту.

Органічна геохімія калюських верств

Дослідження порід методом піролізу Rock-Eval

Для дослідження органічної речовини порід калюських верств методом Rock-Eval було відібрано 34 зразки із 10 свердловин і 3 відслонень. Встановлено, що вміст органічного вуглецю (C_{org}) коливається від 0,15 до 0,89 % (в середньому 0,24 %), а вміст вільних вуглеводнів S_1 коливається в межах 0,07–0,16 мг вуглеводнів/г породи, при середніх значеннях – 0,13 мг вуглеводнів/г породи. Генераційний потенціал S_2 змінюється від 0 до 0,67 мг вуглеводнів/г породи, а отже є низьким за класифікацією (Espitalie, 1985). Водневий індекс (HI) становить 0–

200 мг вуглеводнів/г $C_{орг}$. Температура піролізу при максимальному виході продуктів крекінгу керогену (T_{max}) коливається в межах 350–492°С і не фіксується в низці зразків з високою постседиментаційною зрілістю, а отже демонструє діапазон термальної перетвореності порід від незрілих, в яких генераційний потенціал ще не почав реалізовуватись, до перезрілих, де він вже остаточно зреалізований. Значення індексу продуктивності PI є в діапазоні від 0,14 до 1,00. Кисневий індекс (OI) коливається в межах від 0 до 300 мг CO_2 /г $C_{орг}$. Значення піролітичного вуглецю становлять 0–0,06 %, а залишкового вуглецю – 0,02–0,87 %. Сума параметрів S_1 і S_2 , що показують відповідно кількість вільних вуглеводнів і нафтогенераційний потенціал, в зразках із глибоких свердловин демонструють значення в діапазоні від 0,06 до 0,24 мг вуглеводнів/г породи. В зразках із відслонень величина суми цих параметрів є вищою і становить 0,15–0,64 мг вуглеводнів/г породи. Середнє значення суми цих параметрів для всіх досліджених зразків є досить низьким і дорівнює 0,13 мг вуглеводнів/г породи. Низькі значення вмісту загального органічного вуглецю і суми параметрів S_1 і S_2 є, очевидно, наслідком високої термальної перетвореності вихідної органічної речовини. В зразках із відслонень органічна речовина порід є незрілою або невисокого ступеня зрілості і значення вмісту загального органічного вуглецю і суми параметрів S_1 і S_2 в них становить 0,19–0,80 мг вуглеводнів/г породи. Значення водневого індексу (HI) для зразків з глибоких свердловин і відслонень також істотно відрізняється, складаючи відповідно 0 – 25–30 і більше 100 мг вуглеводнів/г $C_{орг}$.

Палеосередовище в межах східного шельфу Балтика

Розпад мегаконтиненту Родинії, який почався близько 750 млн років тому, спричинився до утворення окремих континентів (Балтика, Гондвана, Лавразія, Сибірський) та відкриття близько 550 млн років тому Палеотихого океану з подальшим відкриттям океанів Япетус і Торнквіст (Torsvik et al., 1996). Впродовж пізнього неопротерозою рифтінг, який зумовив подальше розкриття океану Торнквіста, призвів до перебудови структурного плану прилеглої до нього континентальної окраїни Балтики, у зв'язку з чим значно розширилися межі басейну осадонагромадження порівняно з рифеєм, раннім вендом і змінилося його простягання з північно-східного на південно-східне.

Сформований епіконтинентальний осадовий басейн простягався вздовж майже всієї східної окраїни Балтики. Характерною ознакою осадонагромадження для цього басейну в едіакарію в могилівський та яришівський час були палеоріки, які брали свій початок на найдавніших виступах метаморфічних і магматичних порід фундаменту – Українському та Балтійському щитах. У вузький проміжок едіакарію – калюський час, палеосередовище змінилося, відбулася глобальна трансгресія, яка зумовила затоплення палеократонів, зокрема і Балтики, що спричинилося до перших в історії осадонагромадження глобальних безкисневих подій, які зумовили захоронення значної кількості біоти на різних кратонах Світу (Craig et al., 2013).

Особливість едіакарської безкисневої події полягала в тому, що майже всі палеошельфи, не говорячи вже про глибоководні частини океану, були охоплені стагнацією водної товщі, і судячи з калюських нашарувань, зона кисневого мінімуму у водній колонії починалася щонайбільше зі 100 метрів. Адже темно-колірні нашарування едіакарію – калюські верстви встановлені не лише в глибоко-

водних шельфових нашаруваннях, вони також облямовують схил Українського щита, що є свідченням формування цих нашарувань у майже прибережних умовах.

Оцінка нафтогенерацийного потенціалу відкладів едіакарію

Зважаючи на докембрійський вік, калюські відклади можуть вміщувати лише кероген морського походження, їх вихідний нафтогенерацийний потенціал міг бути істотним. Вміст C_{org} в аргілітах калюських верств становить від десятих часток до близько 1 %, а в більшості досліджених зразків – менше 0,5 %. Сума параметрів S_1 і S_2 демонструє істотно вищі значення для зразків із відслонень, ніж для зразків із глибоких свердловин. Це пояснюється тим, що у відслоненнях калюські відклади мають невисокий ступінь термальної зрілості, що відповідає самому початку зони генерації рідких вуглеводнів. Отже, незважаючи на тривалу геологічну історію, тектонічна еволюція регіону не спричинила термального перезрівання цих порід. Натомість досліджені зразки із глибоких свердловин (інтервал глибин 2–4 км) демонструють високу термальну зрілість, а генераційний потенціал їх є доволі вичерпаним, що пояснює невисокі значення вмісту C_{org} та суми параметрів S_1 і S_2 .

Проте, слід припустити існування певних зон, історія опускання і термального дозрівання яких, в комбінації з іншими літологічними і тектонічними факторами, могла сприяти проходженню процесів генерації вуглеводнів. Виходячи з одержаного комплексу даних, можна передбачити, що для калюських верств зона генерації рідких вуглеводнів охоплює інтервал глибин від 0 до 2 км. На території, де ці відклади залягають у межах вищезгаданого діапазону глибин, з ними може бути пов'язана потенційна нафтогазоносність.

ЕВОЛЮЦІЯ НАШАРУВАНЬ СИЛУРУ ВНАСЛІДОК ТРАНСПРЕСИВНО-РЕГРЕСИВНИХ ЦИКЛІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА НАФТОГАЗОНОСНІСТЬ ВІДКЛАДІВ

Поширення відкладів силуру

Відклади силуру представлені обома відділами – нижнім, який охоплює лише венюкський ярус (китайгородський, баговицький горизонти) і верхнім, складеним повним віковим відрізком – лудловським (малиновецький горизонт) і пржидольським (скальський горизонт) ярусами. Вони поширені суцільним пасмом вздовж південно-західного схилу Східноєвропейської платформи від Балтійського до Чорного моря, де залягають на розмитій під час тривалої регресії поверхні, яка складена породами ордовіку, кембрію і венду. Товщини силуру закономірно зростають від Українського щита на захід в напрямку зони ТТ, сягаючи максимальних значень 1400 м і більше.

Транспресивно-регресивні цикли та фаціальна зональність

У межах Львівського прогину науковці (Чиж, 1977; Юшкевич и др., 1982; Дригант, 2000; Різун та ін., 2007; Крупський та ін., 2014) виділили три фації: прибережну (лагунна), рифову та відкритошельфову. Взявши за основу ці дослідження, а також провівши власні як для Львівського, так і Переддобрудзького прогинів і зіставивши з даними досліджень території Польщі, Литви, Латвії та Естонії (Einasto et al., 1986; Porębska, 2004; Zdanaviciute and Lazauskiene, 2007) а також Румунії та Молдови (Olaru et al, 2006; Olaru and Tabără, 2011), було переінтерпретовано поширення фацій для відкладів силуру південно-західного схилу Східноєвропейської платформи.

Зростання товщини відкладів силуру має виразну залежність від фаціальної зональності. Стрімке нарощування товщини (800–1400 м) добре корелюється з глибоководною відкритошельфовою фацією, тоді як силурійська товща потужністю 700 м відображає мілководніші фації – рифову та лагунну. Рифова фація, яка, як було встановлено, в різні відрізки силурійського часу (пізній венлок – середній пржидол) у зв'язку з трансгресивно-регресивними циклами (Olaru and Tabără, 2011) змінювала по площі свої межі: то в бік берегової лінії, то в бік відкритого моря. З метою кращого відображення природи цієї фації їй було дано назву – «мігруюча рифова фація». Встановлено, що у венлоку (баговицький горизонт) рифова фація займала найменшу площу, в лудлові (малиновецький горизонт) поширення цієї літофації було максимальним, а у пржидолі (скальський горизонт) площа поширення відносно лудловського часу дещо зменшилася. Відповідно відкритошельфова фація в ці проміжки часу теж змінювала свої межі в зворотному напрямку: у венлокський час займала максимальну площу, відповідно, в лудловський – мінімальну і в пржидолі дещо більшу, ніж в лудловський час.

Петрографічна характеристика порід силуру

Породи лагунної фації представлені доломітами, які на 60–75 % складені з доломіту, на 10–25 % з глинистого матеріалу та домішок тонкорозсіяного кальциту і незначної кількості алевриту, а також доломітованими глинистими мергелями із вмістом тонкозернистого піриту, вміст карбонатів в яких становить 40–55 %. Окрім того серед порід лагунної фації виявлено вапняки доломітовані грудкувато шламово-полідетритові, які містять 50–60 % кальциту, від 25 до 40 % доломіту та 10–15 % нерозчинного залишку, складеного глинистим матеріалом.

Породи рифової фації складені рифовими вапняками, які містять численні скелетні рештки коралів, криноїдей, строматойдей, водоростей, моховаток, остракод, гастропод та брахіопод, кількість яких, за дослідженнями породи у шліфах, становить 95 %. За даними хімічного аналізу, вміст CaCO_3 в цих вапняках є в межах 80–90 %, здебільшого сягаючи 98 %. Також до рифової фації належать органогенно-детритові вапняки, які представлені обкатаними і необкатаними уламками рифогенних вапняків, що містяться у глинистій масі. Вміст карбонатів у породах становить 56–79 %, глинистий матеріал сягає 10%.

Породи відкритошельфової фації представлені аргілітами, які складені ілітом, хлоритом і тонкими лусками слюди та фрагментами піритизованої чорної ізотропної органічної речовини. Карбонати (кальцит, доломіт) становлять 5–6 %. При збільшенні карбонатності від 6 % до 15 % породи переходять у вапнисті аргіліти. Також породи цієї фації складені глинистими мергелями темно-сірими, піритизованими, доломітованими, вміст карбонатів у породах коливається від 16 до 40 % при середніх значеннях 31 %. Глинисті мінерали сягають до 30 % у породі, а домішка тонкозернистого кластичного матеріалу (кварц) становить від 35 до 56 %.

Особливості мінерального складу порід силуру

Аналіз розподілу $C_{\text{орг}}$ та карбонатів

Встановлено, що відклади силуру містять $C_{\text{орг}}$ в кількостях від 0,2 до 2,16 %, і кількість органічної речовини закономірно зменшується із збільшенням карбонатності порід. В аргілітах і вапнистих аргілітах вміст карбонатів становить 3,8–15 %, а максимум $C_{\text{орг}}$ – 2,16 % з середнім вмістом 0,8 %. При збільшенні вмісту карбонатів у породах понад 15 % і аж до 40 % вапнисті аргіліти переходять у

глинисті мергелі, а максимальна кількість $C_{\text{орг}}$ в породах зменшується до 0,8 %. В органогенно-детритових вапняках, які складені більше як на 55 % і аж до 75 % CaCO_3 та $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, вміст $C_{\text{орг}}$ не перевищує 0,6 %. Максимальний вміст карбонатів, як показали хімічні аналізи, коливається від 80 до 98 % і закономірно, вміст $C_{\text{орг}}$ у таких породах майже не фіксується. Отже, рифові побудови, які започаткувались у венлоку, були межею, за якою нагромаджувались глибоководніші (> 100 м) глинисті нашарування, в яких завдяки існуванню шару кисневого мінімуму захоронювався $C_{\text{орг}}$ і водночас розчинялись планктонні карбонатні організми.

Мінеральний склад порід, збагачених органічною речовиною

Для кількісного вивчення мінерального складу глинистих відкладів силуру методом рентген-дифрактометрії було вибрано зразки з трьох свердловин (Іспаська-1, Крехівська-1 і Сушновська-1), які охоплюють різні частини території досліджень. Як показали мінералогічні дослідження, у всіх типах глинистих порід кварц (38–64 %), розміром від 0,02 до 0,125 мм, значно переважає над глинистими мінералами (23–39 %). Породи також містять карбонати (від 5–15 % в аргілітах та глинистих аргілітах і до 51 % в мергелях) та польові шпати – 3–6 %. Встановлено, що (Decker et al. 1992; Curtis, 2002; Jarvie et al., 2003) якщо вміст кварцу, карбонатів і польових шпатів у породі в 1,5–2 рази більший за глинисті мінерали, це забезпечує високу крихкість порід, яка є необхідною умовою для ефективного застосування гідророзриву в процесі розробки сланцевого газу. Також результати рентген-дифрактометричних досліджень показали, що глинисті мінерали, незалежно від глибини і території їхнього поширення, представлені хлоритом та ілітом. Сметити та змішано шаруваті глинисті мінерали не були виявлені у досліджених пробах, і це є ще одним позитивним фактором для ефективного застосування гідророзриву.

Аналіз літологічних розрізів відкладів силуру

Розглянуто детально літологічні розрізи для відкладів силуру, через 7 типових свердловин та опорний розріз Поділля (Никифорова и др., 1972) (Волино-Подільська плита) та 2 свердловини з Переддобрудзького прогину й проведена кореляція з регіональною схемою трансгресивно-регресивних циклів (Olaru and Tabăra (2011)). Зіставивши ці цикли з літологічними розрізами, був встановлений їхній вплив на формування певного петрографічного складу порід як в часовому відтинку силуру, так і по площі.

За літологічними розрізами з низки свердловин як в північно-західній частині (Волино-Подільська плита), так і в південно-східній – на території Придубруджі, а також на території Молдови та Румунії (Olaru et al, 2006; Olaru and Tabăra, 2011) встановлено, що поширення рифогенних вапняків фіксується від пізнього венлоку до середнього пржидолу. Цей часовий відрізок є часом постійного рифоутворення. Щодо просторового поширення рифового тіла, його межі впродовж зазначеного вікового проміжку залежно від коливань берегової лінії, спричинених трансгресивно-регресивними циклами, зміщувалися (мігрували) то в бік берега, то в бік брівки шельфу. Таким чином, впродовж силуру (пізній венлок – середній пржидол) формувалася мігруюча рифова фація.

Палеосередовища південного шельфу Балтики

Глобальні і регіональні події

На початку силуру (ранній ландовері) з заходу і північного заходу (сучасна територія Естонії, Латвії, Литви) почалася інтенсивна трансгресія. Виник осадовий

басейн, де нагромаджувались переважно глинисті мули, збагачені органічною речовиною (Einasto et al., 1986; Porębska, 2004). Подальша трансгресія у східному напрямку (пізній ландовері – ранній венлок) призвела до затоплення значних територій західної окраїни Балтики, осадовий басейн набрав обрисів та розмірів, які були йому притаманні в ордовіку, до регресії. Стрімка зміна клімату від холодного, що був характерним для пізнього ордовіку, до парникового на початку силуру, коли температура в глобальних масштабах значно зросла (20°C), призвела до істотного зменшення кисню в атмосфері (Royce, 2006; Verniers et al., 2008). Це явище спричинило збіднення киснем океанічних вод від глибин 100 м, тобто виникнення зони кисневого мінімуму ($\text{O}_2 \leq 0,5\text{мл/л}$) (Demaison and Moore, 1980) впродовж всього силурійського часу, що забезпечувало ефективну фосилізацію органічної речовини в осадах, в результаті чого утворилась потужна товща, збагачена органічною речовиною. Разом з тим, значна кількість двоокису вуглецю створювала (Verniers et al., 2008) сприятливе лужне середовище ($\text{pH} \geq 8$), яке в поєднанні з високими температурами в екваторіальній зоні забезпечила бурхливий розвиток карбонатних організмів у шельфовій зоні. Як наслідок, нагромадились не лише потужні карбонатні товщі, але значні за протяжністю та площею рифові побудови.

Процеси осадоного нагромадження

Встановлено, що у силурійський час в межах південного шельфу Балтики на глибинах до 100 метрів, де була достатня кількість кисню в шарі води, розвивався карбонатний планктон, а карбонатні бентосні організми обмежувалися глибиною дна басейну, яка відповідно становила теж не більше 100 м. Що стосується шельфової зони глибше 100 метрів, так званої зони кисневого мінімуму, тут відбувався зворотній процес, зоо- та фітопланктон гинув, карбонатні скелетні рештки частково розчинялися ($\text{CaCO}_3 \geq 15\%$), відновне середовище сприяло нагромадженню органічної речовини. Безкисневе середовище в глибшій частині шельфу (> 100 м) стало визначальним фактором для нагромадження глинистих темно-колірних товщ – так званих граптолітових сланців, збагачених органічною речовиною ($\text{C}_{\text{орг}}$ сягає понад 2%), поширення яких має глобальний характер.

Впродовж силуру регресії змінювалися трансгресіями, що безпосередньо позначалося на зміні меж літофацій, особливо відкритошельфової та рифової. Під час трансгресії, в даному випадку пізній венлок, відкритошельфова фація значно просувалася в бік берегової лінії, збільшувалася площа зони кисневого мінімуму, де відповідно гинула бентосна біота. Зона рифоутворення була мінімальною за шириною і розташовувалася в найвіддаленішій прибережній ділянці шельфу, де глибина не перевищувала 100 м. У період нижчого рівня моря (регресії), як це було в лудлові, зона карбонатагромадження (рифоутворення) займала максимальну площу. Отже, впродовж силуру зона рифонагромадження залежно від рівня моря зміщувалась то в бік берега, то в бік брівки шельфу, залишаючись від пізнього венлоку по середній пружидол постійним явищем для мілководної ділянки південного шельфу Балтики, яке можна назвати «зоною мігруючого рифоутворення».

Бар'єрний риф давньої Балтики та сучасної Австралії

У силурі виникло рифове пасмо, яке за аналогією з сучасним Австралійським можна назвати «великий бар'єрний силурійський риф». Між цими рифами виявлено цікаву низку збігів. Насамперед це широти, адже південний палеошельфовий басейн палеоконтиненту Балтика, де відбувалось рифоутворення,

як і сучасний східний шельф Австралії, де розвивається Великий бар'єрний риф, лежав у південних широтах (10–25°). Наступне – це розміри «тіла» рифу як силурійського, так і сучасного Великого бар'єрного, які збігаються (максимальна ширина – 150 км, довжина 2300 км). Ще один фактор, притаманний карбонатнагромадженню, – це температура. Сучасні температури в межах східного шельфу Австралії становлять 22–27° С, в межах дослідженого палеобасейну в силурійський час температура була не меншою (22° С). І останній цікавий факт, площа Австралії та палеоконтиненту Балтика теж наближено збігаються ($\approx 7\,600$ тис. м²).

До перспектив нафтогазоносності відкладів силуру

Силурійські «чорносланцеві» нашарування охоплюють величезну територію від Балтійського до Чорного моря і є продовженням польської частини осадової силурійської товщі, потенціал сланцевого газу якої широко обговорюється. Незважаючи на те, багатонадійні прогнози щодо потенціалу силурійських відкладів останнім часом не виправдались, вони викликають значну зацікавленість, оскільки, хоча і не мають таких перспектив як у США чи Китаї, проте ефективна товщина та процентний вміст C_{org} дозволяють розглядати силурійські відклади у Західній Україні як нетрадиційний природний газовий ресурс, що у перспективі може стати важливим доповненням до звичайних джерел енергії.

Встановлені межі похованого бар'єрного рифу мають практичне значення. Чітке виокремлення серед платформових силурійських нашарувань рифового пасма, дозволяє виділити зону темноколірних аргілітів, які поширені в зануреній частині схилу платформи за межами рифу. Поряд з тим, важливими є межі поширення рифогенної споруди. Відомо, що силурійські рифові вапняки є перспективними колекторами для пошуку нафти, оскільки у цих вапняках зафіксовано нафтогазопрояви та приплив нафти непромислового значення (Крупський та ін., 2014).

ЕВОЛЮЦІЯ ПАЛЕОСЕРЕДОВИЩ ВІДКЛАДІВ НИЖНЬОГО ДЕВОНУ ВНАСЛІДОК КЛІМАТИЧНИХ ТА ТЕКТОНІЧНИХ ФАКТОРІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ГАЗОНОСНОСТІ

Поширення відкладів нижнього девону

Нижньодевонські палеошельфові відклади простягаються вздовж південно-західного схилу Східноєвропейської платформи від Балтійського до Чорного моря. На основі дослідженого петрографічного складу порід, встановлених потужностей відкладів нижнього девону, діапазону їх залягання в розрізі було проведено реконструкцію двох типів літофації та вирізнено два різних середовища осадо-нагромадження. Перша літофація, що належить до локхівського ярусу, складається з глинисто-карбонатних порід і являє собою продовження верхньопржидольських палеошельфових верств. Друга літофація залягає на відкладах локхівського ярусу й охоплює прязько-емський яруси. Вона складена теригенними червонувато-коричневими пісковиками, алевролітами й аргілітами, і є віковим аналогом континентальних відкладів девону, так званих «Old Red Sandstones».

Петрографічна характеристика порід нижнього девону

Породи глинисто-карбонатної фації представлені мергелями, доломітизованими та біодетритовими вапняками. Мергелі темно-сірого кольору з піритизованими включеннями розсіяної органічної речовини. Вміст кальциту в породи становить 48–52 %, глинистого матеріалу – 34–48 %, доломіту – до 5–10 %. Доломі-

тизовані вапняки містять 40–47 % кальциту, 40–45 % доломіту та 10–15 % глинистого матеріалу. Часто в породах наявні стиліолітові шви завтовшки від 1 до 3 мм, які складаються з кристалів кальциту та доломіту (0,1–0,3 мм) і зазвичай мають ромбоєдричну форму. В доломітизованих вапняках завжди присутня розсіяна органічна речовина (до 0,2 %). Біодетритові вапняки збагачені скелетними рештками карбонатної фауни, серед яких домінують: тентакуліти, остракоди, брахіоподи та в підпорядкованій кількості трапляються корали. В породі також встановлено одиничні зерна кварцу розміром до 0,05 мм, скупчення фосфатної речовини (від 1 до 5 %) та розпорошений тонкокристалічний пірит. Вміст CaCO_3 у вапняках коливається в межах 63–83 %. Основна маса породи представлена тонкокристалічним та дрібнокристалічним глинисто-карбонатним матеріалом.

Породи теригенної фації складаються зі світло-сірих, зеленкувато-сірих і коричнево-червоних невапнистих пісковиків, які локально перешаровуються з алевролітами й аргілітами. Пісковики дрібнозернисті з контактово-пористим гідрослюдистим цементом просочені гідрооксидами заліза. Уламковий матеріал напівобкатаний, розміром 0,05–0,2 мм, представлений зернами кварцу (до 80 %), польового шпату (5–7 %) та лусками мусковіту (1–3 %). Також у породі фіксуються уламки кварцитів та халцедонолітів. Акцесорні мінерали, такі як циркон та епідот, спостерігаються спорадично. Алевроліти мають такий самий речовинний склад, як і пісковики. Аргіліти складаються з тонколускуватої гідрослюди з орієнтованою текстурою. Як правило, порода насичена гідрооксидами заліза, іноді доломітована. Уламковий матеріал (0,01–0,07 мм) нерівномірно розподілений в основній масі породи від кількох зерен до 25–32 %. В основному, це кварц, рідше трапляються польові шпати та мусковіт, а також ромбоєдричні зерна доломіту та дрібнокристалічного піриту.

Поширення фацій нижнього девону.

Глинисто-карбонатні відклади локхівського ярусу безперервно поширені в межах району досліджень, проте на території Румунії та Молдови ці нашарування зазнали часткової денудації, як і в Переддобрудзькому прогині. При моноклінальному заляганні товщина глинисто-карбонатної фації збільшується поступово в напрямку схилу Східноєвропейської платформи до 700 м у Переддобрудзькому прогині, та перевищує 1100 м в межах Волино-Подільської плити. Празько-емська теригенна фація зазнала набагато більшої денудації, ніж глинисто-карбонатна товща, і поширена у вигляді вузького пасма вздовж лінії ТТ. На тлі загального моноклінального залягання порід празько-емського віку розрізняються п'ять локальних морфоструктур, які простягаються з північного сходу на південний захід майже паралельно одна одній і являють собою давні річкові долини. Товщини теригенної фації значно менші, ніж глинисто-карбонатної фації. В межах Переддобрудзького прогину вони сягають 400 м, а в межах Волино-Подільської плити – понад 800 м.

Встановлено розбіжність у кількості CaCO_3 в породах двох фацій. Для глинисто-карбонатної фації (локхівський ярус) вміст CaCO_3 є значним по всьому розрізу і коливається в межах від 40 до 87 %, тоді як в породах теригенної фації (празько-емський ярус) спостерігається значно менша кількість CaCO_3 , вона коливається від 18 і аж до мінімальних значень – 2 %. Отже, можна констатувати, що для порід глинисто-карбонатної фації мінімальний вміст CaCO_3 становить 40 %, а для теригенної фації – 2 %.

а для порід теригенної фації його максимальний вміст становить 18 %. Це вказує на два різних середовища осадоагромадження у ранньому девоні. У локхівський час існувало сприятливе середовище для нагромадження карбонатів, тоді як у пражсько-емський час – для інтенсивного нагромадження теригенного матеріалу.

Середовища осадоагромадження південно-східного шельфу Балтики, зміна рівня моря та його зв'язок з фаціями

Глобальні і регіональні події

Девонський період був одним із найяскравіших і загадкових періодів в історії Землі. На суші вперше з'явилися дерева, насінні рослини, а також ліси. Від силуру до раннього девону, внаслідок закриття південного океану Ялетус і зіткнення Балтики з Лавренсією, відбувся акадійсько-каледонський орогенез. Внаслідок цього зіткнення утворились каледонські гірські масиви в Гренландії, Скандинавії та на Британських островах, а також Апалачі на сході США. Новий великий суперконтинент, який виник внаслідок цього зіткнення, також існував в ранньодевонську епоху, його часто називають Лаврусія або Євроамерика або ж «Old Red» континент (Golonka and Gawęda, 2012). Впродовж раннього девону досліджувана територія розташовувалася у південних широтах (45–52° С) в межах південно-східного шельфу Балтики. У локхівський час цей осадовий басейн був продовженням пізньосилурського басейну, що характеризувався глинисто-карбонатним осадоагромадженням. У силурі та нижньому девоні у локхівський час кліматичні та тектонічні умови залишалися незмінними. Це був теплий парниковий період, що характеризувався високим вмістом CO₂ як в атмосфері, так і у водах морських басейнів. У пражський час середовище осадоагромадження стрімко змінилося. Прохолодні кліматичні умови з середньою температурою від 23 до 25° С, зниження кількості CO₂ в атмосфері та відповідно збільшення концентрації O₂ відображають одне з найяскравіших глобальних кисневих середовищ в історії Землі. Згідно з даними (Dahl et al. 2010), перше з них проявилось в докембрії, в едіакарі – 550–560 млн років тому, а друге, мабуть, більш масштабніше, відбулося в ранньому девоні приблизно 400 млн років назад.

Середовища осадоагромадження в межах південно-східного шельфу Балтики

У локхівський час епіконтинентальний басейн являв собою типову карбонатну платформу, в межах якої розвивався різноманітний карбонатний біоценоз. Рясний розвиток карбонатної фауни сприяв осадоагромадженню відкладів із значним вмістом CaCO₃, максимальний вміст якого в породах сягає 87 %. У пражський час осадовий басейн зменшив свої розміри, нагромадження карбонатів припинилося, натомість почалося теригенне осадоагромадження. Численні річки постачали уламковий матеріал з Балтійського та Українського щитів, утворюючи потужну осадову призму, що складалася з пісковиків, алевролітів і аргілітів.

До перспектив газонасності відкладів нижнього девону

Серед відкладів нижнього девону як перспективні колектори для видобутку газу можна розглядати теригенну строкатоколірну товщу пражсько-емського віку. Було визначено, що її товщина становить 1000 м і більше в зануреній частині Східноєвропейської платформи. Теригенні відклади пражсько-емського ярусу є важливим об'єктом розвідки газу як з традиційних, так і зі щільних колекторів у Європі та США, що є підставою для розгляду цих порід як потенційних колекторів для розвідки та пошуку газу, зважаючи також на той факт, що на Локачівській

площі у відкладах девону в одному із семи продуктивних горизонтів було виявлено поклад газу в теригенній товщі нижнього девону (Крупський та ін., 2014).

ЛІТОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТЕНЦІЙНИХ НАФТОГАЗОГЕНЕРУЮЧИХ ПОРІД СЕРЕДНЬОГО І ВЕРХНЬОГО ДЕВОНУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗІВ

Поширення відкладів середнього та верхнього девону

Відклади середнього та верхнього девону в межах південно-західного схилу Східноєвропейської платформи зазнали значної денудації і обмежуються такими геологічними структурами, як Люблінський, Львівський та Переддобрудзький прогини. Вони становлять найпотужнішу товщу серед осадових нашарувань палеозою. Характерною особливістю девонських відкладів є їхня нафтогазоносність.

Відклади середнього девону у Люблінському прогині частково зденудовані, а загалом як у Львівському, так і Люблінському прогинах товщини в напрямку занурення платформи зростають, становлячи 200–300 м. Відклади верхнього девону максимальних потужностей досягають у Люблінському прогині 2000 м, тоді як у Львівському прогині вони складають 1100 м. В межах Переддобрудзького прогину ці відклади обмежують своє поширення Переддобрудзьким розломом і залягають окремими невеликими ділянками, де їх товщини одразу досягають чималих значень <400 м до 600, що є свідченням значної денудації цих нашарувань і складної тектонічної ситуації в постдевонський час.

Літолого-стратиграфічне зіставлення розрізів та петрографічна характеристика порід середнього та верхнього девону

Відклади девону за петрографічними та палеонтологічними особливостями (Помяновская, 1974) були поділені на яруси, світи та горизонти. Нашарування середнього та пізньодевонського віку в межах Львівського прогину представлені всіма ярусами: ейфельським і живетським (середній девон) та франським і фаменським (верхній девон). Вони складені карбонатними породами з прошарками сульфатно-карбонатних і глинисто-теригенних порід.

Відклади середнього девону, поділені на лопушанську, пелчинську та струтинську світи. Товщини кожної світи майже збігаються між собою, різниця є незначною, не залежно від глибини залягання середньодевонських відкладів, що свідчить про денудаційні процеси середньодевонського часу, які зумовили «вирівнювання» доверхньодевонської поверхні. Відклади верхнього девону фаменського ярусу, які поділені на дві світи: ремезівську й золочівську та три горизонти: воронежський, євланівський та лівенський, складені типовими відкладами карбонатної платформи. Відклади фаменського ярусу поділені на два горизонти: задонський та елецкий і три світи: літовизьку, західнобузьку та володимир-волинську. Верхня частина верхньодевонського розрізу є значно зденудованою, особливо це стосується західнобузької та володимир-волинської світ.

Геохімічна характеристика органічної речовини порід середнього та верхнього девону

Для дослідження органічної речовини методом Rock-Eval було відібрано 51 зразок із 22 свердловин з відкладів нижнього, середнього та верхнього девону Львівського прогину. Ці дослідження показали, що нижньодевонські відклади містять органічний вуглець у кількості від 0,01 до 0,45 % (середні значення 0,08 %)

і розташовані у зоні термально незрілих порід. Органічна речовина у цих відкладах містить в основному кероген морського походження II типу і зазнала первинних та / або вторинних процесів окиснення.

Вміст органічного вуглецю у відкладах середнього та верхнього девону змінюється: у породах ейфельського ярусу від 0,02 до 0,64 % (середні значення 0,08 %), живетського 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 %). Органічна речовина термально незріла у відкладах живетського ярусу, зріла в породах ейфельського та фаменського ярусів і перезріла в нашаруваннях франського ярусу. У нашаруваннях 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 під час доломітизації.

Характеристика газових родовищ та петрографічна характеристика порід-колекторів і покритишок

Характеристика газових родовищ

У Львівському та Люблінському прогинах відкрито шість газових і одне нафтове родовище. Серед них: Гліннікське, Цецеженське, Меглевське та Комарувське у Люблінському прогині; Локачівське і Великомоствське у Львівському прогині.

Локачівське газове родовище розташоване у північно-східній частині Львівського прогину. Продуктивний поклад газу був виявлений в 1979 році в одному горизонті пісковиків нижнього девону і в шести горизонтах середнього девону (ейфельський та живетський яруси) в пісковиках, біодетритових доломітизованих вапняках і доломітах лопушанської, пелчинської та струтинської світи. Породи-колектори поширені на глибинах від 815,0 до 1200,0 м, їхня товщина становить від 3,2 до 7,8 м. Газові поклади екрануються сульфатними та карбонатно-сульфатними породами завтовшки від 15 до 20 м. Локачівське газове родовище пробурено 28 свердловинами, газоносні горизонти були виявлені у 21 з них (Крупський та ін., 2014). Поряд з Локачівським родовищем виявлено Великомоствське, яке розташоване в північній частині Львівського прогину. Великомоствське газове родовище, яке було відкрито у 1964 році, пробурено тридцятью однією свердловиною, у двох із яких виявлено продуктивний поклад газу у теригенних породах геліветського ярусу (середній девон) лопушанської світи. Покритишкою служить гіпсоангидритовий горизонт лопушанської світи, потужність якого сягає 20 м (Крупський та ін., 2014).

Петрографічна характеристика порід-колекторів і покритишок

Петрографічні дослідження теригенних порід показали, що породи-колектори складені дрібнозернистими та середньозернистими пісковиками, а також дрібнозернистими та грубозернистими алевролітами. Цемент у цих породах, контактово-поровий та контактний, складений доломітизованим кальцитом (19–4 %) та гідрослюдою (3–13 %). Незалежно від типу цементу, поровий простір у породах утворюється межзерновими проміжками розміром від 0,05 до 0,5 мм в середньодевонських відкладах і від 0,08 до 1,3 мм – у верхньодевонських відкладах. Теригенні породи утворюють газоносні горизонти у відкладах середнього девону (ейфельський і живетський яруси) на Локачівському родовищі Львівського прогину

та нафтогазоносні горизонти у верхньодевонських відкладах (фаменський ярус) на Гліннінському і Цецеженському родовищах Люблінського прогину.

Карбонатні породи представлені широким спектром літологічних відмін від злегка доломітизованих біодетритних вапняків до вторинних доломітів. Доломітизація та перекристалізація утворюють тріщиноподібні мікрокаверни розміром до 0,5 мм і високу пористість до 9 %. У карбонатних породах-колекторах переважає тріщинуватість, а пористість має підпорядковане значення. Серед карбонатних порід середнього та верхнього девону, карбонатні породи Локачівського родовища (ейфельський і живецький яруси) Львівського прогину відзначаються найкращою пористістю та характеризуються найкращими колекторськими властивостями.

Дослідження газів з продуктивних горизонтів середнього девону

Проаналізовані природні вуглеводневі гази із покладів середнього девону відрізняються за своїм молекулярним й ізотопним складом. Відносно збіднений ізотопом ^{13}C метан і збагачений ізотопом ^{13}C пропан, порівняно з етаном, свідчать, що даний природний газ був генерований більш ніж однією материнською породою або зазнав постгенераційних змін. Гази, відібрані із покладів середнього девону Львівського прогину, включають в себе істотний компонент бактеріального метану і були генеровані середньодевонським керогеном змішаного типу III/II, термальна зрілість якого відповідає величинам від 0,9 до 1,4 % за шкалою відбивної здатності вітриніту.

Вуглекислий газ міститься в проаналізованих природних газах в концентраціях від 0,03 до 0,28 об. % і величини $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ в них обмежуються діапазоном від -14,8 до -8,1 ‰. Незначні концентрації і склад стабільних ізотопів вуглецю свідчать про те, що гази із покладів середнього девону Львівського прогину можуть вмішувати як термогенний, так і бактеріальний компонент.

Молекулярний азот в проаналізованих природних газах міститься в концентраціях від 2,52 до 8,52 % і величини $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ в них перебувають в діапазоні від -11,3 до -2,1 ‰. Загальна тенденція до збільшення значень $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ із збільшенням концентрації N_2 може свідчити про те, що молекулярний азот був генерований в основному в процесі термальної трансформації органічної речовини, а також в процесі деструкції збагачених NH_4 літів із глинистих фацій ордовіцько-силурийських відкладів Львівського прогину.

До перспектив газоносності відкладів середнього та верхнього девону

В межах Львівського, Люблінського та Переддобрудзького прогинів у відкладах середнього та верхнього девону відкрито п'ять газових родовищ у Люблінському та Львівському прогинах та одне нафтове у Люблінському прогині. У Переддобрудзькому прогині відкрито два нафтові родовища. Така кількість вже відкритих родовищ, сприятливі колекторські властивості та наявність порід-покришок, а також значна потужність відкладів девону, вказують на перспективи подальших пошуків вуглеводнів у нашаруваннях цього вікового діапазону.

ФАЦІАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ, БЕЗКИСНЕВИЙ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ ТА НАФТОГЕНЕРАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ВІДКЛАДІВ КРЕЙДИ

Поширення платформових відкладів нижньої крейди

Відклади ранньокрейдяного віку платформового фундаменту Передкарпатського прогину залягають на розмитій поверхні юри і поширені на значній

території досліджень, а також частково охоплюють терени прилеглої Східноєвропейської платформи. Проте на окремих ділянках ці нашарування відсутні і на донеогенову поверхню виступають юрські та палеозойські утворення. Нижньокрейдяні відклади району досліджень залягають на глибинах 250–5517 м, а їх товщини зростають в напрямку занурення автохтона від перших метрів на платформі до 150 м у прогині.

Фації та літолого-стратиграфічне зіставлення розрізів нижньокрейдяних відкладів

Нагромадження нижньокрейдяних відкладів відбувалося за відмінних седиментаційних умов у різних частинах дослідженого палеобасейну. Північно-західна частина території досліджень представлена карбонатною фацією, центральна частина – карбонатно-теригенною, а південно-східна – теригенною фацією. Карбонатна фація поширена в північно-західній частині, її товщини в середньому складають 100–150 м. Фація представлена глинистими органогенно-полідетритовими вапняками та вапнистими пісковиками, які перешаровуються з глинистими мергелями. Карбонатно-теригенна фація поширена в центральній частині району досліджень. В середньому товщини цієї фації складають 50 м. Вона представлена вапнистими пісковиками, які заміщуються ідентичними за мінеральним складом алевролітами, піщаними та глинистими вапняками, які переходять у мергелі. Підпорядковане значення мають аргіліти. Теригенна фація поширена в південно-східній частині району досліджень. Товщини фації коливаються від перших метрів до 70. Теригенна фація представлена мергелями, вапнистими та глинистими пісковиками, які перешаровуються алевролітами та аргілітами.

Осадонагромадження у валанжин-барремський час

У валанжині після беріаської регресії північно-західна частина дослідженого басейну була частково відмежована від Східнокарпатського сегмента Свентокшиським пасмом. У такій водоймі з достатньо високими температурами (не менше +20°C), були сприятливі умови для нагромадження карбонатної фауни: двостулкових моллюсків, форамініфер та остракод. Центральна частина внутрішнього палеошельфу теж була частково відмежована від Східнокарпатського сегменту басейну, але підводним пасмом. У цій частині відбувалося не лише карбонатне, але й теригенне осадонагромадження. Теригенний матеріал, ймовірно, надходив з прилеглої суші по палеоруслу, про існування якого свідчить базальний конгломерат, встановлений (Пастернак і Улизо, 1980) у свердловині Журавно-14. Південно-східна частина внутрішнього палеошельфу характеризувалася глинисто-теригенним осадонагромадженням. Верхня частина розрізу відкладів глинисто-теригенної фації представлена темнозбарвленими піскуватими аргілітами. Ці нашарування відображають глобальну баррем-альбську безкисневу подію в Світовому океані, яка спричинила нагромадження збагачених розсіяною речовиною відкладів цього вікового інтервалу в межах Карпатського сегменту океану Тетис.

Формування збагачених органічною речовиною товщ в умовах глобальних безкисневих подій

Баррем-альбська глобальна безкиснева подія є однією з найпотужніших в історії Світового океану. Одним із основних глобальних факторів, що в комплексі спричинили феномен крейдяних глобальних «безкисневих подій» в баррем-альбі, слід в першу чергу назвати значне підвищення рівня Світового океану (Сеньков-

ський та ін., 2004, 2006, 2016; Senkovsky, 2015). У свою чергу, існуванню глобальних безкисневих подій сприяли кліматичні особливості цього періоду. Відсутність контрастності клімату, що полягала в незначній різниці температур між полюсами й екватором, танення льодових шапок на полюсах, глобальна трансгресія призвели до відсутності глибоководної циркуляції в Світовому океані, і як наслідок до формування потужного шару кисневого мінімуму, а отже – до утворення умов стагнації в глибоких шарах океанічних вод, незалежно від топографії і геометрії морського дна. За оцінками С.О. Шлянгера і Х.К. Дженкинса (Schlanger and Jenkyns, 1976), шар кисневого мінімуму в баррем-альбський час розповсюджувався у більшій частині Світового океану і охоплював діапазон глибин від 300 м до 2–3 км.

Геологічна та літолого-геохімічна характеристика збагачених органічною речовиною нижньокрейдяних відкладів

Баррем-альбські відклади Східноєвропейської платформи в межах форленду Карпат представлені тонкошаруватими чорними аргілітами, вміст органічного вуглецю у яких сягає 1,6 %. Вони розкриті свердловинами на площах Святославська і Чорногузи, де їх потужність становить 0,5–3,5 м, та в Буковинських Карпатах (площа Лопушна), де вона зростає до 6–7 м. Очевидно, ці відклади поширені на значно більшій території автохтону Карпат, і можна припустити збільшення їх товщини в південно-західному напрямку під насувом Карпат, де вони не досягнуті бурінням. Органічна речовина баррем-аптських порід є в основному наземного походження, про що свідчать як петрографічні дослідження, так і результати піролізу Rock-Eval, які показали, що ступінь термальної перетвореності керогену (тип III) є близьким до верхньої межі зони утворення нафти. Дані літолого-геохімічних досліджень дозволяють стверджувати, що седиментація баррем-альбських темноколірних аргілітів автохтону Карпат відбувалась в умовах дефіциту кисню в придонних водах і осади, що забезпечувало ефективну фосилізацію в осадах органічної речовини, значна частина якої надходила з прилеглої суші Східноєвропейської платформи. Нафтогенераційний потенціал баррем-альбських відкладів, розкритих існуючими свердловинами, є незначним в силу термальної незрілості порід в межах досліджених нами глибин. Однак, припускаємо значне поширення цих відкладів під насувом Карпат, про що свідчать наведені нами палеоокеанографічні побудови. Як за потужністю і вмістом органічної речовини, які ймовірно збільшувались в бік брівки шельфу, так і за ступенем термальної перетвореності, завдяки зануренню під насувом Карпат, ці відклади можуть складати масштабну потенційно нафтогазогенуючу товщу.

Модель формування баррем-альбських «чорносланцевих» товщ

Палеоокеанографічна ситуація в Карпатському сегменті континентальної окраїни Мезо-Тетису в баррем-альбі значною мірою нагадувала прото-Атлантику. В межах розширеного в результаті трансгресії шельфу відбувалось нагромадження морських платформових відкладів, а на щойно сформованому континентальному підніжжі проходила седиментація осадів спаської і шипотської світ. Існування потужного шару кисневого мінімуму створювало умови для ефективного захоплення органічної речовини в осадах у межах широкого діапазону глибин басейну. Наземна органічна речовина потрапляла в морські осади після затоплення обширних районів суші внаслідок апт-альбської трансгресії. Морська органічна

речовина (планктонного походження) потрапляла в осади, проходячи через шар кисневого мінімуму під високопродуктивними поверхневими водами.

Потужний шар кисневого мінімуму, що був поширений у всьому Світовому океані в баррем-альбський час, в Карпатській частині Мезо-Тетису, без сумніву, охоплював практично весь спектр глибин і відклади цього віку, включаючи як платформові (автохтон), так і відклади всіх теперішніх структурно-фаціальних зон Карпат, які формувалися під його впливом. Саме цим, очевидно, пояснюється поширення «чорносланцевих» товщ баррем-альбського віку в масштабах всього Карпатського басейну як вздовж, так і впоперек простягання Карпат. У межах глибоководних конусів виносу безкисневий седиментогенез відбувався як в периферійних частинах басейну (спаська світа), так і в його внутрішніх частинах (шипотська світа). Шельфові відклади, що містилися в межах того ж потужного шару кисневого мінімуму, що забезпечував формування збагачених органічною речовиною осадів, були поширені в межах значної частини зовнішнього і всього внутрішнього шельфу, сягаючи брівки шельфу.

Літолого-геохімічні особливості стилолітизованих карбонатних відкладів туронського віку

Мінералого-петрографічні дослідження

Проведені літолого-геохімічні дослідження карбонатних відкладів туронського віку платформового фундаменту Передкарпатського прогину дозволили встановити, що вони характеризуються значними стилолітовими утвореннями, заповненими глинисто-бітумінозною речовиною. Наявність в епіконтинентальних туронських вапняках текстур «hard ground» з вкладками «чорних глин», які виповнюють стилолітові шви, є свідченням короткотривалих підфаз фази океанічних безкисневих подій (ОАЕ2). Вміст CaCO_3 в породах коливається в межах 68–92 %, нерозчинний залишок становить 10–20 %. У складі карбонатного (скелетного) матеріалу в породі значна роль припадає на арагоніт, оскільки вміст стронцію (у %) значно перевищує (> 10 разів) середні значення для карбонатних порід. Вихід бітумоїда, екстрагованого з глинисто-бітумінозної речовини, відібраної зі стилолітових утворень туронських нашарувань, становив 13–18 %, нерозчинного залишку 15–18 %.

Геохімічні дослідження

Рентген-дифрактометричним методом встановлено, що мінеральний склад нерозчинного залишку глинисто-бітумінозної речовини зі стилолітів представлений гідрослюдистим мінералом – ілітом і домішкою органічної речовини. Аналіз ІЧ-спектрів хлороформного бітуму А показав, що органічна речовина в стилолітах за своїм генезисом складається в основному з планктоногенних мікрокомпонентів. Ця органічна речовина зазнала істотних постседиментаційних перетворень: полімеризації та окиснення, про що свідчить значна кількість сполук кисню та відсутність основних смуг поглинання бензольного кільця ароматичних структур.

ЮРСЬКО-КРЕЙДЯНИ НАФТОВІ ПОКЛАДИ ЛОПУШНЯНСЬКОГО РОДОВИЩА

Значна частина відкладів мезозой-палеогенового фундаменту Передкарпатського прогину перебуває під насувом Карпат. Ця товща являє собою важливий об'єкт для пошуків нафти і газу в регіоні. Відкриття в 1984 році Лопушнянського

нафтового родовища показало, що відклади піднасуву Карпат є перспективними для подальших пошуків вуглеводнів.

Завданням нашого вивчення було проведення детальних літолого-геохімічних досліджень нафт Лопушнянського родовища і на цій основі ідентифікувати породи, які генерували ці нафти, їх термальну зрілість і можливі шляхи міграції. Питання полягає в тому, чи Лопушнянське родовище являє собою окрему нафтову систему, чи належить до відомих систем в Карпатській нафтогазоносній провінції. Вирішення цієї проблеми є важливим для розуміння процесів генерації вуглеводнів, їх міграції та акумуляції, а також оцінки можливості відкриття нових родовищ вуглеводнів у платформових відкладах під насувом Українських Карпат.

Геологічна будова і нафтогазоносність

Українські Карпати являють собою центральний сегмент Карпатської дуги. Зовнішні Карпати складені рядом насувів і складок, які представлені крейдяно-палеогеновим флішем, частково насунутим на південно-західний схил Східно-європейської платформи. Мезозойсько-палеогенові нашарування платформового фундаменту поховані на значних глибинах внаслідок міоценового насувоутворення. Вони часто містять структурні пастки, придатні для акумуляції вуглеводнів, які екрануються міоценовими моласовими відкладами. Лопушнянське нафтове родовище лежить під Береговим насувом в платформовому фундаменті в південно-східній частині Українських Карпат поблизу українсько-румунського кордону. Поклади нафти встановлені на трьох літостратиграфічних горизонтах: юрському, крейдяному та палеогеновому. У відкладах пізньояурського віку нафта є в карбонатних породах-колекторах нижнівської формації. У відкладах крейдяного віку (альб-сеноман) і палеогенового (еоцен) поклади нафти виявлені у піщаних породах-колекторах. Лопушнянське нафтове родовище являє собою антиклінальну структуру, розмір якої на поверхні верхньояурських відкладів становить 6 x 3 км, а амплітуда 150 м.

Петрографічна характеристика порід-колекторів

Нафтонасичені пісковики пізньоальбського-ранньосеноманського віку перекриті верхньосеноманськими іноцерамовими вапняками. Товщина цих пісковиків в межах Лопушнянської структури становить від 15 до 18 м. Пісковики середньо- та дрібнозерністі, слабозцементовані. Уламковий матеріал, добре відсортований і рівномірно розподілений у породі, представлений кварцом, польовими шпатами (0,1–5 %), мусковітом (0,1–3 %), аутигенним глауконітом (10–20 %) та фосфатною речовиною (від 1 до 10 %). Цемент (10–20 %) в породі представлений глинисто-карбонатною речовиною. Тип цементу контактово-пористий і контактний. Нафта в пісковіку у формі плям розміром 0,5–1,5 мм заповнює простір між кварцовими зернами.

Поклади нафти у відкладах юри є в титонських органогенно-детритових вапняках. У межах Лопушнянської структури загальна товщина цих вапняків становить 150–200 м, велика частина яких (до 83 м) насичена нафтою. Вапняки перекриті нижньокрейдяними щільними теригенно-глинистими породами з максимальною товщиною 70 м. Органогенно-детритові вапняки сірого та світло-сірого кольору. Вміст кальциту в породах коливається від 60 до 75 %, який, як правило, зміщується доломітом, вміст якого досягає 25 % в породі. Глиниста речовина в породах становить 10–15 %. Вапняки складаються з пелітоморфного карбонатного матеріалу та різних розмірів біокластів, скелетних залишків, які важко визначити.

Вапняки перекристалізовані, доломітизовані, що призвело до зменшення обсягу порід та утворення пор (0,2–0,5 мм), які були заповнені нафтою.

Геохімічні дослідження нафт та кореляція нафта-нафта

Для того, щоб визначити походження нафти з Лопушнянського родовища, геохімічні дані, отримані при дослідженні проб нафт, були порівняні з вже отриманими результатами геохімічних досліджень нафт та їх порід-колекторів з двох існуючих нафтових систем на території Українських Карпат: нафтова система Зовнішніх Карпат та нафтова система платформового фундаменту Передкарпатського прогину (Koltun, 1992; Koltun et al., 1998; Котарба та ін., 2005, 2007; Kotarba і Koltun, 2006; Więclaw et al., 2012).

Аналіз розподілу вуглеводнів в нафтах Лопушнянського родовища, зокрема, низькі значення відношення $\text{прістан}/n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ та $\text{фітан}/n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$, які відображають низькі концентрації ізопреноїдів відносно n -алканів, показують, що нафти не зазнали значних процесів біодеградації. Розподіл n -алканів та ізопреноїдів, відношення, розраховані на основі розподілу коротколанцюгових вуглеводнів, та значення показників вуглеводнів показали, що ці нафти не зазнали значних змін в результаті вторинних процесів.

Нафти з Лопушнянського родовища характеризуються питомою вагою 33,1 і 39,6° API і вмістом сірки відповідно 0,12 і 0,03 %. Низькі значення вмісту сірки та атомного відношення S/C в асфальтенах нафт Лопушнянського родовища вказують на те, що ці нафти були генеровані керованом II типу, який нагромаджувався в теригенних відкладах. Вміст ванадію та нікелю у нафтах свідчить про седиментацію цих відкладів у морській і дельтовій фаціях. Значення відношення $\text{прістан}/\text{фітан}$ більше 1,0 свідчить про дефіцит кисню під час нагромадження органічної речовини, що генерувала нафти Лопушнянського родовища. Це підтверджується відношеннями $\text{прістан}/n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ і $\text{фітан}/n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$, а також дібензотіофен/фенантрен і $\text{прістан}/\text{фітан}$. За всіма вищезгаданими показниками, нафти Лопушнянського родовища добре корелюють з нафтами Карпатського флішу, водночас значно відрізняються від нафт із фундаменту Передкарпатського прогину.

Подібний розподіл регулярних $\alpha\alpha\alpha$ -стеранів в нафтах Лопушнянського родовища, як і в нафтах з флішових нашарувань, та наявність високоспецифічного типу пентациклічного тритерпану, тобто олеанану, який завжди присутній у всіх нафтах із Карпатського флішу, свідчать про те, що вони належать до одного сімейства. Олеанан – біомаркер, який походить із хвойних рослин і дозволяє визначати вік материнської породи. Оскільки ці рослини з'явилися в крейдяному періоді, то присутність олеанану свідчить про крейдяний чи молодший вік материнської породи.

Наведені дані вивчення біомаркерів підтверджуються дослідженням складу стабільних ізотопів карбону у нафтах та їх фракціях. Розподілу ізотопів вуглецю між фракціями нафт Лопушнянського родовища і Карпатського флішу за величинами $\delta^{13}\text{C}$ та за формою кривих, дозволяє стверджувати про їхню спорідненість між собою за походженням (рис. 1А), та про їхній генетичний зв'язок із органічною речовиною порід менілітової світи (рис. 1Б). Водночас ізотопні криві нафт (рис. 1А) із фундаменту Передкарпатського прогину демонструють цілком іншу конфігурацію, вказуючи на їхню приналежність до іншої нафтової системи.

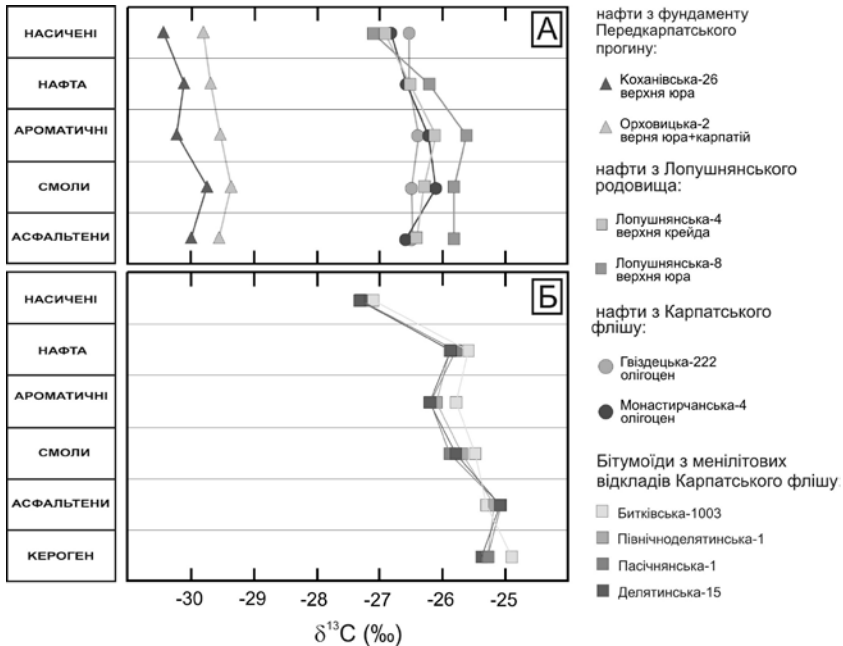


Рис. 1. Вміст стабільних ізотопів карбону в: А – нафтах і їхніх індивідуальних фракціях з Лопушнянського родовища, з інших родовищ української частини та Зовнішніх Карпат і мезозойського фундаменту Передкарпатського прогину; Б – бітумоїдах, їхніх індивідуальних фракціях і керогені порід менілітової світи Бориславсько-Покутської зони (Kotarba et al., 2005).

Зрілість нафт

Зрілість нафт визначалась на підставі дослідження легких вуглеводнів, вибраних біомаркерів та індексів, розрахованих на основі відносних концентрацій фенантрена та дибензотіофену та їх метилових похідних. За розподілом метилфенантрени ступінь зрілості нафт, розрахований за шкалою відбивної здатності вітриніту, змінюється від 0,7 до 0,9 %, тобто нафти були генеровані породами в межах нафтового вікна приблизно на піку генерації рідких вуглеводнів, що в цілому підтверджується розподілом стеранів і терпанів. Розподіл гомологів диметилпентану вказує на температуру утворення вуглеводнів в інтервалі від 122 до 126° С. Одержані значення індексів зрілості та оцінка температури утворення вуглеводнів для нафт Лопушнянського родовища відповідає діапазону, визначеному для нафт, з покладів Карпатського флішу.

Кореляція нафта – материнська порода

Для кореляції використовувались результати аналізів порід менілітової світи (Kotarba et al., 2005), які залагають найближче до Лопушнянського родовища. Як видно з рис. 1Б, розподіл стабільних ізотопів карбону нафт та їх індивідуальних фракцій Лопушнянського родовища виразно корелюється з ізотопним складом бітумоїдів та їхніх індивідуальних фракцій порід менілітової світи.

Описаний вище склад біомаркерів нафт Лопушнянського родовища і бітумоїдів порід менілітової світи також вказують на їх кореляцію. Зокрема, наявність в нафтах біомаркера олеанану, що походить із вищих наземних рослин, є свідченням крейдяного або молодшого віку керогену, що їх генерував. Нафти, які є у покладах Карпатського флішу, та бітумоїди порід менілітової світи завжди, містять олеанан. Це підтверджує, що останні були материнськими породами як для нафт флішових нашарувань, так і для нафт Лопушнянського родовища. Олеанан відсутній у нафтах Коханівського та Орховицького родовищ фундаменту Передкарпатського прогину, що свідчить про те, що ці нафти були генеровані юрськими або старшими породами платформових нашарувань, та чітко демонструє, що нафти належать до іншого нафтового сімейства.

Наведені вище дані дають підстави стверджувати, що нафта Лопушнянського родовища належить до нафтової системи Зовнішніх Карпат і до того самого нафтового сімейства, що і нафти, акумульовані у крейдяно-палеогенових відкладах Бориславсько-Покутської та Скибової зон Українських Карпат.

Можливі шляхи міграції

Встановлено, що міграційна відстань впливає на вміст фракції асфальтенів і на відношення насичених і ароматичних вуглеводнів в нафтах. За вмістом асфальтенів нафти Лопушнянського родовища корелюються з нафтами, акумульованими у карпатських флішових нашаруваннях, для яких він коливається від 0,2 до 4,3 %, тоді як відношення насичених і ароматичних вуглеводнів відповідають або перевищують діапазон від 1,9 до 4,7. Ці дані доводять, що відстань міграції для нафт Лопушнянського родовища була подібною або трохи довшою, але в кожному разі близькою до відстані міграції нафт з покладів Карпатського флішу. Міграція вуглеводнів із зрілих нафтоматеринських порід менілітової світи до покладу Лопушнянського родовища могла проходити через розломи, завдяки яким нашарування Карпатського флішу залягають глибше, ніж мезозойські породи платформового фундаменту сусідніх блоків. Такі тектонічні умови могли забезпечити міграцію як у поздовжньому, так і поперечному напрямках відносно Карпатської насувної споруди.

Можливість заповнення покладів мезозойського платформового фундаменту вуглеводнями, які були генеровані в межах карпатських флішових нашарувань, дозволяє припустити, що інші структури, подібні до геологічної структури Лопушнянського нафтового родовища, можуть акумулювати вуглеводні, а отже, існує ймовірність відкриття нових родовищ такого типу.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКТОНІЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ, ІСТОРІЇ ЗАНУРЕННЯ ТА ТЕРМАЛЬНОГО ДОЗРІВАННЯ ОСАДОВОЇ ТОВЩІ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО СХИЛУ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ

Відтворення тектонічної еволюції, історії занурення та термального дозрівання осадової товщі дослідженої території, дозволило дати оцінку можливості генерації вуглеводнів в межах осадового розрізу. Для цієї мети нами було використане комп'ютерне моделювання із застосуванням програми BasinMod™ 1-D (BMRM 1-D, 2006) (Radkovets et al., 2018; Poprawa et al., 2018).

Реконструкція тектонічної еволюції едіакар-палеозойських відкладів

Волино-Подільсько-Молдовський басейн, який є предметом нашого дослідження, включає в себе сучасні геоструктурні одиниці, такі як Волино-

Подільська плита, Молдовська платформа та Переддобрудзький прогин. Цей басейн є частиною великої системи неопротерозой-палеозойських осадових басейнів, що розвивалися вздовж західного схилу Східноєвропейського кратону, де вони становили систему басейнів Пери-Торнквіста. Західна межа басейну пов'язана з лінією Тейсейре-Торнквіста, яка є також межею між Східноєвропейською платформою та Трансєвропейською шовною зоною. Східна межа Волино-Подільсько-Молдовського басейну має ерозійний характер і обмежується західним краєм Українського щита. Седиментація у Волино-Подільсько-Молдовському басейні тривала від едіакарію до карбону, проте в цьому часовому проміжку, фіксуються численні перерви в осадоагромадженні.

Швидкість тектонічного занурення і осадоагромадження

На основі 1-D бекстріппінгу (зворотній пошаровий аналіз) ми провели реконструкцію історії тектонічного занурення і швидкості седиментації Волино-Подільсько-Молдовського басейну для 21 представницьких свердловин, з охопленням стратиграфічного розрізу від едіакарію до палеозою включно.

Розвиток Волино-Подільсько-Молдовського басейну почався з настанням швидкого тектонічного занурення в самому кінці едіакарію. Після цього, протягом кембрію та ордовіку швидкість занурення систематично зменшувалась. Максимальні швидкості ранньокембрійської седиментації в межах Волино-Подільського суб-басейну змінюються в діапазоні 45 м/млн р. і 65 м/млн р., а в межах Молдовсько-Добрудзького суб-басейну дорівнюють відповідно 12 м/млн р. і 15 м/млн р. Швидкості середньокембрійської седиментації в Волино-Подільському і Молдовсько-Добрудзькому суб-басейнах досягають максимум 12–15 м/млн р. Впродовж ордовіку швидкість тектонічного занурення в Волино-Молдово-Добрудзькому басейні була дуже низькою з характерними перервами в осадоагромадженні, і швидкості седиментації відповідно теж були дуже низькими, в основному менше 10 м/млн років. Після карадокського часу в ашглілі настала перерва в осадоагромадженні, яка була пов'язана з глобальним зниженням рівня Світового океану.

Починаючи з венлоку почалася істотна зміна палеосередовища в межах Волино-Подільсько-Молдовського басейну порівняно з едіакар-ордовіцьким часом. Після ландоверської перерви в осадоагромадженні швидкість тектонічного занурення систематично збільшувалася від венлоку до раннього девону (локхівський час). У західній частині Волино-Подільського суб-басейну швидкості седиментації у лудлові і пржидолі становлять приблизно 300–500 м/млн років. В Молдово-Добрудзькому суб-басейні швидкості седиментації відкладів того ж віку є нижчими і становлять 80–110 м/млн р. Для нижньодевонських відкладів локхівського ярусу встановлено зниження швидкості седиментації порівняно з відкладами силуру. У північно-західній частині Волино-Подільського суб-басейну вона становить 50–230 м/млн р. Для Молдово-Добрудзького суб-басейну спостерігаються загалом нижчі швидкості седиментації, з максимальним значенням 140 м/млн р. Від празького до емського часу фіксуються значні зміни у розвитку Волино-Подільсько-Молдовського басейну. Зниження швидкості тектонічного занурення спостерігається в межах всього дослідженого басейну.

Швидкості седиментації відкладів празько-емського ярусів були значно нижчими, ніж силурійських і нижньодевонських (локхівський ярус). У південно-західній частині Волино-Подільського суб-басейну і в Молдово-Добрудзькому суб-

басейні вони перебувають в діапазоні відповідно 20–70 м/млн років і 10–20 м/млн років. Присутність середньо-верхньодевонських і кам'яновугільних відкладів в межах Волино-Подільсько-Молдовського басейну обмежується західною частиною Волино-Подільської плити, а також дуже обмеженою частиною Переддобрудзького прогину. В західній частині Волино-Подільської плити в більшості із проаналізованих свердловин спостерігається безперервне тектонічне занурення впродовж середнього-верхнього девону з локальними фазами його значного прискорення у франський і/або фаменський часи. Швидкість седиментації середньодевонського розрізу є в діапазоні 20–40 м/млн років. Швидкість седиментації верхньодевонського розрізу істотно змінюється латерально (франський ярус: 20–105 м/млн років; фаменський ярус: 10–75 м/млн років), відображаючи спричинені тектонікою латеральні зміни в локалізації осадонагромадження, пов'язані з моделлю тектонічного режиму розтягу.

Аналіз зміни тектонічного режиму

Едіакарський рифтогенез мав місце вздовж всього південно-західного схилу Східноєвропейської платформи від Скандинавії до Чорного моря і був пов'язаний з розпадом докембрійського суперконтиненту Родінія/Паннотія, який призвів до утворення моря Торнквіста. Характер тектонічного занурення, що мало місце від кінця едіакарію до пізнього ордовіку, свідчить про те, що південно-західний край новосформованого континенту Балтика, включаючи досліджувану територію, став пасивною континентальною окраїною. Починаючи від пізнього ордовіку спостерігається поступова зміна тектонічного режиму вздовж південно-західної окраїни Балтики на колізійний. Протягом силуру – раннього девону Волино-Подільсько-Молдовський басейн інтерпретується нами як флексурний передовий прогин, пов'язаний із каледонською косою колізією Авалонії та Балтики, що мала місце західніше. Модель силурійсько-лохвівського флексурного прогину узгоджується з результатами аналізу занурення для нижньопалеозойських осадових басейнів вздовж всієї західної окраїни Балтики. Пов'язаний із конвергенцією підйом у межах каледонського складчасто-насувного поясу міг бути ефективним механізмом, що забезпечував поставку теригенно-глинистих відкладів у силурі в басейн седиментації. Впродовж пражсько-емського часу басейн став частиною системи пост-колізійного басейну «Old Red». На переході від раннього до середнього девону мали місце локальні тектонічні підняття та ерозія, результатом яких був розмив відкладів, який спостерігається також у напрямку на північний захід в Люблінсько-Підляському басейні. Це може свідчити про тимчасову зміну тектонічного режиму на компресійний. Впродовж кінця девону та раннього карбону тектонічне підняття призвело до денудації значної частини розрізу девону і частини нижнього палеозою.

Реконструкція історії занурення і термального дозрівання осадової товщі

Оцінка ступеня перетвореності та еволюція термальної зрілості органічної речовини

Для реконструкції історії занурення та термальної історії верхньопротерозой-фанерозойського розрізу південно-західного схилу Східноєвропейської платформи та Переддобрудзького прогину ми використали 1-D моделювання, яке проводилось для 10 свердловин в межах Волино-Подільської плити та однієї в Переддобрудзькому прогині. Одним із основних вихідних даних, необхідних для моделювання історії занурення і термального дозрівання осадової товщі, є

показники термальної зрілості органічної речовини порід. Для моделювання історії дослідженого протерозой-фанерозойського розрізу ми використовували одержані показники відбивної здатності «вітриніту», а також опубліковані Д. М. Дригантом (Дригант, 1993) величини індексу зміни кольору конодонтів. Отримані результати свідчать про те, що ступінь термальної зрілості органічної речовини силурійських і девонських порід, що залягають над відкладами едіакарію, є високою. Отже, ступінь термальної зрілості органічної речовини глибокозалягаючих порід едіакарію є дуже високим і, ймовірно, їх залишковий вуглеводневий потенціал є незначним. Для проведення термальної реконструкції району досліджень впродовж каледонського та докаледонського етапів та для оцінки значних перерв в осадонагромадженні у стратиграфічному розрізі і відповідно перерв в профілі, для визначення зрілості органічної речовини порід ми використали праці (Narkiewicz, 2007; Porpawa et al., 1997; Porpawa, 2006). Значення показників теплового потоку, які були прийняті для відкладів едіакарію та палеозою (особливо карбону), були вищими, ніж ті, які були прийняті для мезозою і теперішнього часу (Kutas, 1977).

Моделювання історії занурення і термального дозрівання порід

Результати 1-D моделювання, проведеного для потенційно нафтогазогенуючих порід едіакарію та вищезалягаючої товщі палеозою в межах дослідженої території, показали, що в більшості випадків вони досягли ступеня термальної зрілості, що відповідає нафтовому і газовому вікнам у період часу від пізнього силуру до раннього (пізнього) карбону відповідно. Процес термального дозрівання був перерваний пізньокарбонною інверсією і підняттям.

Генерація вуглеводнів у відкладах едіакарію мала місце в період від пізнього девону до раннього карбону. Процес термального дозрівання відкладів тривав до пізнього карбону, після чого залишковий генераційний потенціал порід на значній частині території був вичерпаний. У відкладах палеозою процес генерації вуглеводнів міг мати місце в пізньому карбоні. Ступінь термальної зрілості порід пізнього протерозою-палеозою збільшується в напрямку на південний захід, де ці відклади залягають на більших глибинах. Максимальний ступінь термальної зрілості протерозой-палеозойських відкладів відзначається у свердловинах Перемишлянська-1 (рис. 2) і Добротвірська-1, які наближені до зони Тейсейре-Торнквіста.

Рівень термальної зрілості і ступінь трансформації органічної речовини порід едіакарію, кембрію, ордовіку, силуру та девону, в досліджених за допомогою моделювання розрізах, був достатнім для ініціації процесів генерації вуглеводнів.

Оцінка генераційного потенціалу відкладів едіакарію

Аналіз еволюції термальної зрілості органічної речовини відкладів едіакарію показав, що в усіх проаналізованих свердловинах органічна речовина досягла ранньої фази «нафтового вікна» протягом раннього девону – раннього карбону. Максимальний ступінь перетворення був досягнутий до ранньої пермі. Неоднакове занурення відкладів едіакарію в різних частинах району досліджень позначилось на входженні порід у стадію «нафтового вікна» у різні геологічні інтервали, а також на величині максимальної зрілості органічної речовини. Найбільші глибини занурення відкладів едіакарію, які становлять 4000–5000 м, виявлені у свердловинах, розташованих поблизу зони ТТ (Добротвірська-1, Перемишлянська-1). У цій зоні був досягнутий найвищий рівень зрілості органічної речовини, до 4 %.

Відклади едіакарію досягли аналогічних максимальних глибин занурення також і в Переддобрудзькому прогині. В напрямку Українського щита зменшується глибина залягання порід едіакарію і, відповідно, зменшується ступінь термальної зрілості органічної речовини. Для прикладу, у свердловині Литовизька-1, зменшення глибини залягання супроводжується нижчою зрілістю органічної речовини, і відбивна здатність вітриніту тут також менша – 2,2 %. Незважаючи на різні глибини залягання відкладів едіакарію у різних частинах дослідженої території, у всіх досліджених зразках фіксується повне перетворення органічної речовини, за винятком окремих зразків із відслонень.

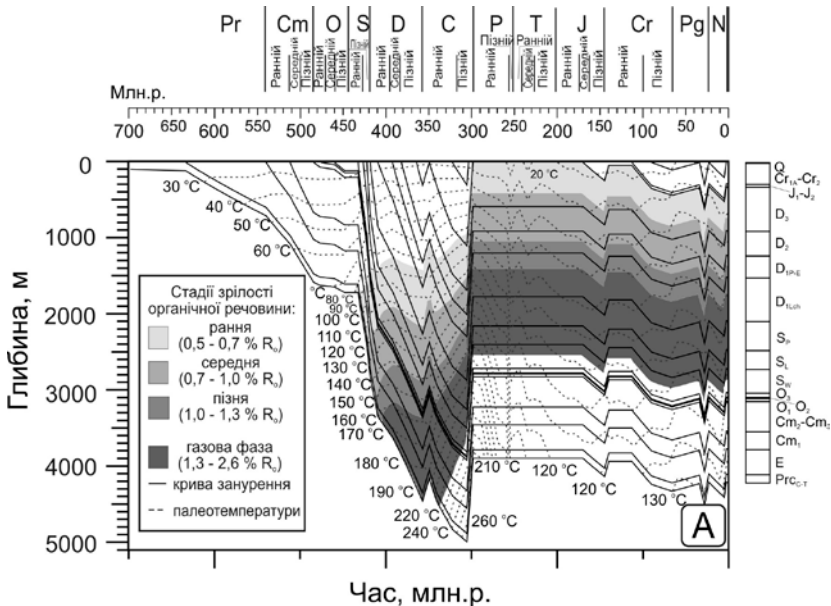


Рис. 2. Графік занурення і термального дозрівання відкладів у свердловині Перемишлянська-1 (Radkovets et al., 2018).

Висновки

1. Відклади едіакарію південно-західного схилу Східноєвропейської платформи моноклінально занурюються у південно-західному напрямку. Їхня товщина в північно-східній і центральній частинах району досліджень становить близько 300 м, а в південно-західній частині досягає понад 600 м. Серед теригенно-глинистих порід едіакарію вирізняються потенційно нафтогазогенеруючі калюські верстви – збагачені розсіяною органічною речовиною аргіліти та глинисті алевроліти, максимальний вміст органічного вуглецю в яких становить 0,89 %.

2. Встановлені для калюських верств невисокі значення вмісту органічного вуглецю (як правило, нижче 0,5 %) і суми параметрів S_1 і S_2 є наслідком високої термальної перетвореності вихідної органічної речовини. У відслоненнях калюські відклади мають невисокий ступінь термальної зрілості, що відповідає початку зони

генерації рідких вуглеводнів, а в досліджених зразках із глибоких свердловин (інтервал глибин 2–4 км) вони демонструють високу термальну зрілість, а їхній генераційний потенціал є значною мірою вичерпаний. Потенційна нафтогазоносність, пов'язана із калюськими верствами, може бути передбачена на території, де ці відклади залягають в інтервалі глибин від 0 до 2 км і розташовані в зоні генерації рідких вуглеводнів.

3. Для відкладів силуру з'ясовано, що вирішальний вплив на поширення фацій у межах південного шельфу палеоконтиненту Балтика (західний схил Східно-європейської платформи) мали трансгресивно-регресивні цикли, завдяки яким глибина шельфу в різні відрізки силурійського часу змінювалась. Встановлено, що впродовж силуру (пізній венлок – середній пржидол) глибина шельфу, починаючи від глибини води 100 м, відповідала зоні кисневого мінімуму і була межею між відкритошельфовою фацією, тобто осадоагромадженням потенційно нафтогазо-генеруючих збагачених органічною речовиною глинистих нашарувань, і рифовою.

4. Силурійська рифогенна споруда простягається на всій території досліджень від Чорного моря до кордону України з Польщею та Білоруссю, а далі до Балтійського моря. Її межі як в розрізі (верхній венлок – середній пржидол), так і по площі зміщувались, утворюючи суцільне пасмо вздовж всього південного шельфу палеоконтиненту Балтика довжиною ≈ 2300 км та максимальною шириною 150 км. Силурійські рифові вапняки є перспективними колекторами нафти, а встановлені межі поширення рифогенної споруди дозволяють виділити можливі ділянки для пошуку нафти.

5. Встановлено, що відклади силуру містять C_{org} в кількостях від 0,2 до 2,16 % і кількість органічної речовини закономірно зменшується із збільшенням карбонатності порід. Для збагачених органічною речовиною порід силуру, за допомогою рентген-дифрактометрії, встановлено показники їх мінерального складу (кварцу, карбонатів і польових шпатів у породі в 1,5–2 рази більше, ніж глинистих мінералів, переважає дрібнозернистість, не виявлено смектитів і змішаносхаруватих глинистих мінералів), які є позитивним фактором з погляду проведення ефективного гідророзриву порід, а отже, забезпечує належні передумови для видобутку сланцевого газу.

6. Для нижньодевонських відкладів Волино-Подільської плити та Передбрудзького прогину було встановлено особливості поширення двох фацій, які належать до різних вікових інтервалів: глинисто-карбонатна – до локхівського ярусу, а теригенна – до пражко-емського. Ці фації характеризуються різними палеосередовищами. У локхівський час не відбулося істотної зміни кліматичних та тектонічних умов з часів пізнього силуру, і середовище було сприятливим для розвитку карбонатного біоценозу (до 80 % $CaCO_3$) та осадоагромадження глинисто-карбонатних нашарувань. У пражкий час почалася цілком інша історія осадоагромадження, що свідчить про стрімку зміну кліматичних і тектонічних умов. На це вказує кардинальна зміна петрографічного складу гірських порід. Це теригенні породи, які відзначаються незначною кількістю $CaCO_3$ (від 2 до 18 %). Виділення двох фацій у розрізі нижнього девону дозволило виокремити потенційно газоносну товщу пражко-емського ярусу від глинисто-карбонатної товщі локхівського ярусу.

7. Строкатоколірні нашарування пражко-емського ярусу, як показали збудовані нами карти, значно поширені в межах дослідженої території, де їх

максимальні товщини сягають 1000 м і більше. Ці теригенні відклади можна розглядати як потенційні колектори для пошуку газу, зокрема, зважаючи на той факт, що на Локачівській площі у відкладах девону в одному із семи продуктивних горизонтів було виявлено поклад газу у теригенній товщі нижнього девону.

8. Нафтогазоносні та потенційно нафтогенеруючі відклади середнього та верхнього девону в межах південно-західного схилу Східноєвропейської платформи зазнали значної денудації. Незважаючи на це, вони становлять найпотужнішу товщу серед осадових нашарувань палеозою. Побудовані карти ізопахіт відкладів середнього та верхнього девону для Львівського, Люблінського та Переддобрудзького прогинів демонструють особливості поширення нашарувань середнього та пізньодевонського віку.

9. Дослідження методом Rock-Eval збагачених розсіяною органічною речовиною порід девону Львівського прогину показали, що органічна речовина у цих відкладах містить в основному кероген морського походження II типу і зазнала первинних та/або вторинних процесів окиснення. Ступінь термальної зрілості відкладів коливається від недозрілих (для порід локхівського та живетського ярусів), до зрілих (для порід ейфельського та фаменського ярусів) і перезрілих (у нашаруваннях франського ярусу). Підвищений вміст органічного вуглецю встановлений лише у породах живетського (до 2,35 %) та франського (до 1,43 %) ярусів.

10. Петрографічні дослідження теригенних порід показали, що породи-колектори складені дрібнозернистими та середньозернистими пісковиками, а також дрібнозернистими та грубозернистими алевролітами. Цемент у цих породах контактово-пористий та контактовий, складений доломітизованим кальцитом (19–4 %) та гідрослюдою (3–13 %). Незалежно від типу цементу, поровий простір у породах утворюється міжзерновими проміжками розміром від 0,05 до 0,5 мм. Карбонатні породи представлені широким спектром літологічних відмін від злегка доломітизованих біодетрітних вапняків до вторинних доломітів. Доломітизація та перекристалізація утворюють тріщиноподібні мікрокаверни розміром до 0,5 мм і високу пористість до 9 %.

11. Проаналізовані природні вуглеводневі гази із покладів середнього девону Локачівського родовища відрізняються за своїм молекулярним і ізотопним складом. Відносно збіднений ізотопом ^{13}C метан і збагачений ізотопом ^{13}C пропан, порівняно з етаном, свідчать, що даний природний газ був генерований більше ніж однією материнською породою або зазнав постгенераційних змін. Незначні концентрації і склад стабільних ізотопів вуглецю свідчать про те, що гази можуть вмішувати як термогенний, так і бактеріальний компонент. Молекулярний азот в проаналізованих природних газах міститься в концентраціях від 2,52 до 8,52 % і величини $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ в них перебувають в діапазоні від -11,3 до -2,1 ‰. Загальна тенденція до збільшення значень $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ із збільшенням концентрації N_2 може свідчити про те, що молекулярний азот був генерований здебільшого в процесі термальної трансформації органічної речовини, а також в процесі деструкції збагачених NH_4 ілітів із глинистих фацій ордовіцько-силурійських відкладів Львівського прогину.

12. Нижньокрейдяні відклади платформового фундаменту Передкарпатського прогину залягають на розмитій поверхні юри і палеозою. Вони поширені на значній частині території досліджень, а їх нагромадження відбувалося за різних

седиментаційних умов у різних частинах дослідженого палеобасейну. Північно-західна частина території досліджень представлена карбонатною фацією, центральна – карбонатно-теригенною, а південно-східна – теригенною фацією. Верхня частина розрізу відкладів теригенної фації представлена темнозбарвленими піскуватими аргілітами. Ці нашарування відображають глобальну баррем-альбську безкисневу подію в Світовому океані, яка спричинила нагромадження збагачених розсіяною речовиною потенційно нафтогазогенеруючих відкладів цього вікового інтервалу в межах Карпатського сегменту океану Тетис.

13. У мезозойському розрізі платформового фундаменту Передкарпатського прогину баррем-аптські відклади є єдиною товщею, збагаченою органічною речовиною, яка розповсюджується під насувом Карпат в межах всього палеошельфу і поряд з основною генеруючою товщею менілітової світи карпатського флішу могла стати додатковим джерелом вуглеводнів у регіоні.

14. Дослідження нафт Лопушнянського родовища платформового фундаменту Передкарпатського прогину показали, що їхні геохімічні характеристики цілком відмінні від характеристик нафт з покладів платформового фундаменту північно-західної частини Передкарпатського прогину (Коханівське та Орховицьке родовища). Наявність біомаркера олеанану в лопушнянських нафтах свідчить про те, що вони могли бути генеровані породами, які є не старшими за крейдяний вік, що виключає їх кореляцію з палеозойськими та юрськими породами платформового фундаменту. За всіма геохімічними характеристиками, отриманими в даному дослідженні, нафти з покладів Лопушнянського родовища виразно корелюються з нафтами з покладів Карпатського флішу та із збагаченими органічною речовиною породами менілітової світи, що дозволяє розглядати ці нафти, як одне й те ж нафтове сімейство. Це свідчить про те, що відклади менілітової світи Карпатського флішу, очевидно, були материнськими породами для нафт Лопушнянського родовища.

15. Міграція вуглеводнів із зрілих нафтоматеринських порід менілітової світи до покладу Лопушнянського родовища могла проходити через розломи з нашарувань Карпатського флішу до мезозойських порід платформового фундаменту суміжних блоків. Тектонічні умови могли забезпечити міграцію як у поздовжньому, так і поперечному напрямках відносно карпатської насувної споруди. Можливість заповнення покладів мезозойського платформового фундаменту вуглеводнями, генерованими в межах карпатських флішових нашарувань, дозволяє припустити, що інші геологічні структури, схожі на структуру Лопушнянського нафтового родовища, могли акумулювати вуглеводні, а отже, існує ймовірність відкриття нових родовищ такого типу.

16. Реконструкція на основі 1-D моделювання тектонічної еволюції едіакар-палеозойських відкладів Волино-Подільсько-Молдовського палеобасейну показала, що історія його розвитку почалася із швидкого тектонічного занурення в кінці едіакарію. Після цього, протягом кембрію та ордовіку, швидкість занурення систематично зменшувалась, відзначаючись характерними рисами еволюції басейну від син-рифтового до пост-рифтового термального прогину. З пізнього ордовіку тектонічний режим поступово змінюється на колізійний, а в ашглі настає перерва в осадоагромадженні, пов'язана з глобальним зниженням рівня Світового океану. Від венлоку починається істотна зміна палеосередовища в межах Волино-

Подільсько-Молдовського басейну порівняно з едіакар-ордовицьким часом. Протягом силуру – раннього девону басейн являє собою флексурний передовий прогин, пов'язаний із каледонською колізією Авалонії і Балтики. Впродовж пражко-емського часу басейн став частиною системи Європейського пост-колізійного басейну «Old Red». На переході від раннього до середнього девону мали місце локальні тектонічні підняття та ерозії, результатом яких був розмив відкладів, що свідчить про тимчасову зміну тектонічного режиму на компресійний. Тектонічне підняття протягом кінця девону та раннього карбону призвело до ерозії верхньої частини розрізу палеозою.

17. Відтворення історії занурення і термального дозрівання за результатами 1-D моделювання, проведеного для потенційно нафтогазогенеруючих порід верхньопротерозой-фанерозойської товщі південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, показало, що генерація вуглеводнів у відкладах едіакарію мала місце в період від пізнього девону до раннього карбону. Процес термального дозрівання відкладів тривав до пізнього карбону, після чого залишковий генераційний потенціал порід на значній частині території був вичерпаний. У відкладах палеозою процес генерації вуглеводнів міг мати місце в пізньому карбоні. Таким чином породи едіакарію-палеозою в більшості випадків досягли ступеня термальної зрілості, що відповідає нафтовому і газовому вікнам, в період часу від пізнього силуру до пізнього карбону відповідно. Процес термального дозрівання був зупинений пізньокарбоновою інверсією і підняттям. У межах територій, де відклади едіакарію-палеозою не досягли значного термального перезрівання, генеровані ними вуглеводні могли зберегтися у вигляді покладів нафти і газу.

18. Проведені нами геологічні та літолого-геохімічні дослідження показали, що всі літолого-фаціальні комплекси осадового розрізу південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, а саме едіакар-нижньокембрійський, силур-нижньодевонський, середньо-верхньодевонський, крейдяний, є потенційно нафтогазоносними і перспективними для подальших пошуків нафти і газу.

ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Сеньковский Ю. М., Колтун Ю. В., Григорчук К. Г., Гнідець В. П., Попп І. Т., **Радковець Н. Я.** Безкисневі події океану Тетіс. Карпато-Чорноморський сегмент. – Київ: Наук. думка, 2012. – 181 с. *(Особистий внесок: написані розділи, які стосуються відкладів протерозою Східноєвропейської платформи та нижньокрейдяних платформового фундаменту Передкарпатського прогину).*

Статті у міжнародних наукових виданнях, що входять до переліку Scopus:

1. **Radkovets N.**, Manzhur N. Lithological-geochemical features of Turonian carbonate deposits with stylolites of Pokuttia-Bukovyna Carpathians' autochthon // *Biuletyn Panstwowego Instytutu Geologicznego*, vol. 449, 2012. – P. 131–136. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт, написана основна частина статті і зроблені всі висновки).*

2. **Radkovets N.** The Silurian of south-western margin of the East European Platform (Ukraine, Moldova and Romania): lithofacies and palaeoenvironments // *Geological Quarterly*, vol. 59, № 1, 2015. – P. 105–118. DOI: 10.7306/gq.1211.

3. **Radkovets N.**, Kotarba M., Koltun Y., Kowalski A., Kosakowski P., Więclaw D. Origin and migration of oil from the Ukrainian Outer Carpathians to their Mesozoic basement: a case of Lopushna traps // Geological Quarterly, vol. 60, № 1, 2016. – P. 88–103. DOI: <http://dxdoi.org/10.7306/gq.1226>. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт, проведено петрографічні дослідження порід крейдяного та юрського віку, а також геохімічні дослідження нафти, написана основна частина статті і зроблені всі висновки).*

4. **Radkovets N.** Lower Devonian lithofacies and palaeoenvironments in the southwestern margin of the East European Platform (Ukraine, Moldova and Romania) // Estonian Journal of Earth Sciences, vol. 65, № 4, 2016. – P. 200–213. DOI: 10.3176/earth.2016.18.

5. **Radkovets N.**, Rauball J., Iaremchuk I. Silurian black shales of the Western Ukraine: petrography and mineralogy // Estonian Journal of Earth Sciences, vol. 66, №3, 2017. – P. 161–173. DOI: <https://doi.org/10.3176/earth.2017.14>. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт вивчено петрографічний склад та закономірності поширення відкладів силуру та їх зв'язок з вмістом органічної речовини, написана основна частина статті і зроблені всі висновки).*

6. **Radkovets N.**, Kotarba M., Wójcik K. 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, vol. 61, № 3, 2017. – P. 569–589. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.136>. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт, написана частина статті, яка стосується петрографічних досліджень, вивчені закономірності зміни генераційного потенціалу відкладів середнього та верхнього девону Львівського та Люблінського прогинів).*

7. **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, vol. 41, №1, 2018. – P. 85–106. DOI: 10.1111/jpg.12694. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт проведено вивчення генераційних властивостей відкладів едіакарію південного-західного схилу Східноєвропейської платформи та досліджено петрографічний склад порід цього вікового інтервалу).*

8. Poprawa P., **Radkovets N.**, Rauball J. Ediacaran-Paleozoic subsidence history of the Volyn-Podillya-Moldavia basin (W and S Ukraine, Moldavia, NE Romania) // Geological Quarterly, vol. 62, № 3, 2018. – P. 459–486. DOI: <http://dxdoi.org/10.7306/gq.1418>. *(Особистий внесок: побудовані карти потужностей для широкого вікового інтервалу від едіакарію до девону, геологічна карта домезозойської поверхні та літолого-стратиграфічна колонка, підготовлені всі вихідні дані для проведення 1-D моделювання, написаний розділ «Геологічна будова» і зроблені окремі висновки).*

Статті у наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Сеньковський Ю. М., Григорчук К. Г., Гнідець В. П., Колтун Ю. В., Попп І. Т., **Радковець Н. Я.**, Мороз М. В., Мороз П. В., Ревєр В. Б., Ревєр А. О., Баландюк Л. В., Кохан О. М., Гаєвська Ю. П., Гавришків Г. Я., Кошіль Л. Б. Геолого-палеоокеанографічні моделі Карпато-Чорноморської окраїни океану Тетіс // Геодинаміка, вип. 21, № 2, 2016. – С. 84–100. *(Особистий внесок: побудована геолого-палеоокеанографічна модель для ранньокрейдяного віку Карпато-Чорноморської окраїни океану Тетіс та подано петрографічний опис порід цього вікового інтервалу).*

2. **Радковець Н. Я.**, Кошіль Л. Б. Літологічні особливості відкладів девону Переддобрудзького прогину та оцінка розвитку потенційних колекторів нафти і газу // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, вип. 77, № 2, 2017. – С. 6–12. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт та петрографічних досліджень, написана основна частина статті, побудовані карти потужностей для окремих вікових інтервалів середнього та верхнього девону і зроблені основні висновки).*

3. **Радковець Н. Я.** Безкисневий седиментогенез нашарувань едіакару та силуру південно-західного схилу Східноєвропейської платформи // Геодинаміка, вип. 22, № 1, 2017. – С. 42–54.

Статті в наукових фахових виданнях:

1. Сеньковський Ю., Григорчук К., Гнідець В., Колтун Ю., Попп І., **Радковець Н.**, Щерба О. Карпато-Чорноморський сегмент океану Тетис. Процеси седиментогенезу в періоди «океанічних безкисневих подій» // Геологія і геохімія горючих копалин, № 3–4, 2006. – С. 76–95. *(Особистий внесок: написана частина статті, що стосується вендської та крейдяної безкисневих подій).*

2. **Радковець Н.**, Яремчук Я. Особливості структури аутигенного глауконіту альбеноманських пісковиків автохтона Покутсько-Буковинської частини Українських Карпат у контексті нафтогазоносності // Геологія і геохімія горючих копалин, № 1, 2007. – С. 59–64. *(Особистий внесок: на основі спільних аналітичних робіт, написана основна частина статті і зроблені всі висновки).*

3. Щерба О. С., **Радковець Н. Я.** Ранньокрейдвий епіпелагічний седиментогенез у межах Східнокарпатського сегменту давньої континентальної окраїни Мезо-Тетису // Збірник наукових праць. Сучасні проблеми літології та мінералогії осадових басейнів України та суміжних територій. Київ: Ін-т геологічних наук НАН України, від-ня мор. геології та осад. рудоутворення. – 2008. – С. 204–208. *(Особистий внесок: побудовані літологічні перетини, написана петрографічна характеристика порід та розглянуто процес седиментогенезу в межах дослідженої території).*

4. Щерба О. С., Попп І. Т., **Радковець Н. Я.** Палеоокеанографічні ситуації седиментації в Закарпатському неогеновому басейні // Збірник наукових праць. Сучасні проблеми літології та мінералогії осадових басейнів України та суміжних територій. Київ: Ін-т геологічних наук НАН України, від-ня мор. геології та осад. рудоутворення. – 2008. – С. 199–203. *(Особистий внесок: написана частина статті, що стосується палеоокеанографічної ситуації в океані Тетис в неогеновий час).*

5. Щерба О. С., **Радковець Н. Я.** Літологічні особливості нижньокрейдових відкладів автохтона Українських Карпат // Мінералогічний збірник, вип. 59, № 2, 2009. – С. 134–142. *(Особистий внесок: виділено літофації нижньокрейдяних відкладів та розглянуто процес седиментогенезу в межах дослідженої території).*

6. **Радковець Н. Я.** До генезису вуглецьмісних палеошельфових відкладів Східноєвропейського сегмента Мезо-Тетису // Збірник наукових праць. Сучасні проблеми літології та мінералогії осадових басейнів України та суміжних територій. Київ: Ін-т геологічних наук НАН України, від-ня мор. геології та осад. рудоутворення. – 2010. – С. 69–75.

7. **Радковець Н. Я.** Палеоокеанографічні та геохімічні умови седиментації верхньовендських «чорносланцевих» фосфоритонесних відкладів південно-західної окраїни Східно-Європейської платформи // Доповіді НАН України, № 11, 2011. – С. 104–106.

8. Сеньковський Ю. М., Палій В. М., **Радковець Н. Я.**, Колтун Ю. В. Палео-океанографічні та геохімічні умови седиментації верхньовендських «чорносланцевих» фосфоритонесних відкладів південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи. // Геологічний журнал, № 1, 2012. – С. 22–30. (*Особистий внесок: написана частина статті, яка стосується палеоокеанографічних особливостей седиментації верхньовендських відкладів дослідженої території*).

9. Сеньковський Ю. М., Колтун Ю. В., Попп І. Т., **Радковець Н. Я.**, Мороз П. В. Океанографічний літопис аноксичних океанічних подій Карпато-Східноєвропейського сегменту Tethys // Геологічний журнал, № 3, 2012. – С. 95–105. (*Особистий внесок: встановлено вплив «океанічних безкисневих подій» на формування верхньовендських і крейдяних товщ дослідженого регіону*).

10. Senkovsky Y. M., Grigorchuk K. G., Gnidets V. P., Koltun Y. V., Popp I. T., **Radkovets N. Y.** Geological and chemical-paleoceanographic aspects of sedimentogenesis of the Carpathian-Black Sea Segment of Tethys ocean // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України, № 7, 2015. – С. 46–51. (*Особистий внесок: описані палео-океанографічні аспекти відкладів венду та нижньої крейди Карпатсько-Чорноморського сегменту океану Тетис*).

11. **Радковець Н.** Ранньокрейдвий безкисневий седиментогенез в межах Карпатського сегменту Мезотетису // Мінералогічний збірник, вип. 66, № 2, 2016. – С. 100–111.

АНОТАЦІЯ

Радковець Н. Я. Еволюція осадових товщ південно-західного схилу Східноєвропейської платформи впродовж пізнього протерозою-фанерозою у зв'язку з їх потенційною нафтогазоносністю. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.17 «Геологія нафти і газу». – Інститут геологічних наук НАН України, Київ, 2019.

Робота присвячена вивченню осадової товщі південно-західного схилу Східноєвропейської платформи, включаючи такі геоструктурні одиниці, як Волино-Подільська плита, Молдовська платформа й Переддобрудзький прогин та з'ясуванню закономірностей розвитку окремих літолого-стратиграфічних комплексів – їхні нафтогенеруючий і нафтогазоносний потенціали.

На основі аналізу палеосередовищ проведено реконструкцію умов седиментації в межах південно-західного краю палеоконтиненту Балтика впродовж едіакарію – нижнього палеозою та побудовані фаціальні карти-схеми.

Застосувавши сучасні прецизійні методи, були вивчені збагачені органічною речовиною товщі едіакарію, силуру, середнього та верхнього девону й нижньої крейди, досліджені проби нафт і газів із середньодевонських та мезозойських покладів. Зокрема, досліджено речовинний склад як перспективних нафтогазогенеруючих товщ, так і порід-колекторів, вивчено органічну речовину з метою оцінки її типу, ступеня термальної зрілості та нафтогазогенераційного потенціалу. Досліджено бітумоїди материнських порід та нафти з існуючих вуглеводневих покладів з метою одержання їх генетичних показників; гази із газових покладів з метою вивчення процесів, що призвели до їх формування; кореляцію між нафтами, газами та породами; спрогнозовано можливості формування та існування в досліджених літолого-стратиграфічних комплексах нафтових і газових покладів.

На основі комплексу одержаних результатів досліджень проведене комп'ютерне моделювання тектонічної еволюції та історії занурення і термального дозрівання верхньопротерозой-фанерозойської осадової товщі південно-західного схилу Східноєвропейської платформи та нафтогазогенераційного потенціалу окремих літолого-стратиграфічних комплексів.

Ключові слова: Волино-Подільська плита, Переддобрудзький прогин, едіакарій, палеозой, мезозой, речовинний склад порід, палеосередовища, фації, органічна речовина, генераційний потенціал, термальна зрілість порід, комп'ютерне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Радковец Н. Я. Эволюция осадочных толщ юго-западного склона Восточно-Европейской платформы в течение позднего протерозоя-фанерозоя в связи с их нефтегазоносностью. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора геологических наук по специальности 04.00.17 «Геология нефти и газа». – Институт геологических наук НАН Украины, Киев, 2019.

Работа посвящена изучению осадочной толщи юго-западного склона Восточно-Европейской платформы, включая такие геоструктурные единицы, как Волино-Подольская плита, Молдавская платформа и Преддобрудский прогиб и выяснению закономерностей развития отдельных литолого-стратиграфических комплексов – их нефтегенирирующий и нефтегазоносный потенциал.

На основе анализа палеосред проведена реконструкция условий седиментации в пределах юго-западного края палеоконтинента Балтика в течение эдиакария – нижнего палеозоя и построены фациальные карты-схемы.

Применив современные прецизионные методы, были изучены черно-сланцевые толщи эдиакария, силура, среднего и верхнего девона и нижнего мела, исследованы пробы нефти и газов со среднедевонских и мезозойских залежей. В частности, исследован вещественный состав как перспективных нефтегазогенирирующих толщ, так и пород-коллекторов, изучено органическое вещество с целью оценки его типа, степени термальной зрелости и нефтегазогенирирующего потенциала. Исследованы битумоиды материнских пород и нефти из существующих углеводородных залежей с целью получения их генетических показателей, газы из газовых залежей с целью изучения процессов, которые привели к их формированию, проведена корреляция между нефтью, газами и породами, спрогнозировано возможности формирования и существования в исследованных литолого-стратиграфических комплексах нефтяных и газовых залежей.

На основе полученных результатов исследований проведено компьютерное моделирование тектонической эволюции и истории погружения и термального созревания верхнепротерозой-фанерозойской осадочной толщи юго-западного склона Восточно-Европейской платформы и нефтегазогенирирующего потенциала отдельных литолого-стратиграфических комплексов.

Ключевые слова: Волино-Подольская плита, Преддобрудский прогиб, эдиакарий, палеозой, мезозой, вещественный состав пород, палеосреды, фации, органическое вещество, генирирующий потенциал, термальная зрелость пород, компьютерное моделирование.

SUMMARY

Radkovets N.Y. Evolution of sedimentary sequence of south-western slope of the East-European platform during Late Proterozoic-Phanerozoic in connection with oil- and gas-bearing. – Manuscript.

Dissertation on getting a scientific degree of Doctor of Geological Sciences on speciality 04.00.17 “Oil and gas geology”. – Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, 2019.

Sedimentary sequence of south-western slope of the East-European platform has been covered by lithological and lithological-geochemical investigations, including such geostructural units as Volyn-Podillya plate, Moldovian platform and Dobrogea foredeep. On the base of paleoenvironmental analysis the reconstruction of depositional environments during Ediacaran-Early Paleozoic within the south-western margin of the paleo-continent Baltica has been performed and corresponding facial sketch maps have been constructed. Correlation of Upper Proterozoic and Paleozoic deposits of Baltic, Lublin-Podlasie, Volyn-Podillya and Fore-Dobrougean paleo-basins showed, that the represented in the present-day sequence structural-tectonic complexes of different age, which in turn represent different depositional cycles, have been formed in one common basin of the continental margin of paleo-continent Baltica.

Using the up-to-date precision methods the black shale sequences of Ediacaran, Silurian, Middle-Upper Devonian and Lower Cretaceous, as well as oil and gas samples from Middle Devonian and Mesozoic reservoirs have been investigated. In particular, have been performed the studies of the material composition of both prospective oil-gas-generating sequences and reservoir rocks, analyses of organic matter for estimating its type, maturation level and hydrocarbon-generative potential, investigations of oils from the existing accumulations with a purpose of obtaining their genetic characteristics, analyses of gas from the existing accumulations in order to study the processes, which led to their formation, correlation between oils, gases and organic-rich rocks, study of the possibility of oil and gas accumulations' existence within the investigated lithological-stratigraphic complexes.

For Ediacaran strata has been investigated the generative potential of the rocks and its changes both laterally and with depth. It has been shown that the potential oil- and gas-bearing can be expected at the territory, where these strata occur at depth less than 2 km.

On the base of the lithological analysis of paleoenvironments the regularities of the spatial-temporal occurrence of the Silurian open-shelf facies, which is potentially prospective for shale gas, have been studied. It has been established that the mineral composition of Silurian organic-rich rocks provides their high brittleness, which is the necessary condition for the efficient hydraulic fracturing during shale gas development.

Lithological-geochemical investigations showed that the organic-rich rocks of Middle and Upper Devonian by their generative properties and maturation level can be considered as potential petroleum source rocks. It has been established that gases from the Middle Devonian reservoirs of the Lokachi field could be generated by the rocks of the Ordovician-Silurian clayey facies of the Lviv Depression.

The established correlation of oils from the Lopushna field with oils from the flysch deposits confirms their belonging to the petroleum system of the Carpathian flysch, which testifies to the perspectives of other structures within the underthrust part of the platform basement of Carpathian Foredeep.

On the base of the obtained results of investigations has been performed the computer modeling of tectonic evolution and subsidence and maturation history of the Upper Proterozoic-Phanerozoic sedimentary sequence of south-western slope of the East-European platform and the related formation of oil and gas potential of separate lithological-stratigraphic complexes. Results of 1-D modeling of subsidence and maturation history, performed for potential hydrocarbon-generating rocks of the Upper Proterozoic-Phanerozoic sequence of the study area, showed that in most cases they have reached the maturation level, corresponding to oil and gas windows within the time span from Late Silurian to Late Carboniferous. The process of thermal maturation has been terminated by the Late Carboniferous inversion and uplift.

Key words: Volyn-Podillya Plate, Dobrogea Foredeep, Ediacaran, Paleozoic, Mesozoic, material composition of rocks, paleoenvironments, facies, organic matter, generative potential, thermal maturity of rocks, computer modeling.

Підписано до друку 27.12.18 р.
Формат 60х84/16. Папір офсетний. Зам. № 622/24-04.
Ум. друк. арк.2,55. Обл. вид. арк. 1,7. Тираж 100 прим.

Видавництво “СПОЛОМ”
79008, Україна, м. Львів, вул. Краківська, 9
Тел.: (380-32) 297-55-47. E-mail: spolom_lviv@ukr.net
Свідоцтво держреєстру: серія ДК, № 2038 від 02.02.2005 р.

Друк ФОП Гуменецький М. В.
81630 Львівська обл., Миколаївський р-н,
с. Гонятичі, вул. Польова, 10
Свідоцтво держреєстру: № 083613 від 18.08.2008 р.