

УДК 551.351.2:578.3

Н. Я. РАДКОВЕЦЬ

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, вул. Наукова, 3а, Львів, 79060, Україна, тел. +38(032) 2649799, ел. пошта radkov_n@ukr.net

БЕЗКИСНЕВИЙ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ НАШАРУВАНЬ ЕДІАКАРІЮ ТА СИЛУРУ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО СХИЛУ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ

<https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.045>

Мета. Мета цієї роботи – дослідити умови седиментації збагачених органічною речовиною відкладів едіакарію та силуру південно-західного схилу Східноєвропейської платформи. Зокрема, врахувати фактори, що сприяють ефективній фосилізації органічної речовини в морських осадах та відіграють ключову роль в утворенні чорносланцевих товщ, які є основоположним елементом сланцевих нафтогазових систем. **Методика.** Методика ґрунтується на літологічних дослідженнях, які стали основою для встановлення речовинного складу порід, поширення досліджених товщ та їхніх потужностей, діапазону залягання в розрізі, та реконструкції палеосередовища досліджених вікових інтервалів. **Результати.** Проведені дослідження платформових відкладів едіакарію (калюські верстви) та силуру дали змогу встановити, що калюські верстви поширенні суцільним пасмом уздовж південно-західного схилу Східноєвропейської платформи і досягають Українського щита. Їх потужності становлять 90 м і більше в межах Волино-Подільської плити та Молдовської плити, а в Переддобрудзькому прогині – 150 м і більше. Для нашарувань силуру встановлено, що відклади, збагачені органічною речовиною (аргіліти та мергелі), поширені в найзануренішій ділянці платформи, де потужності відкладів силуру сягають 700 м і більше. Проведено реконструкцію палеосередовища в едіакарії та силурі, з'ясовано фактори, що зумовили безкисневий седиментогенез у ці часові проміжки геологічної історії. Встановлено, що морський басейн у калюський час охоплював значну територію кратону Балтика, де зона кисневого мінімуму у водній колонії починалася з глибини щонайбільше 100 м. Реконструкція палеосередовища для силурійського часу вказує на те, що басейн мав батіометричну зональність. До глибини приблизно 100 м нагромаджувалися сульфатні, глинисто-карбонатні та карбонатні (риф) осади, а збагачені органічною речовиною – нагромаджувались на глибинах більше ніж 100 м, у зоні кисневого мінімуму. **Наукова новизна.** Для відкладів едіакарію встановлено їх поширення, потужності та нафтоматеринський потенціал. Для відкладів силуру з'ясовано ділянки поширення найперспективніших порід та встановлено, що нагромадження збагачених органічною речовиною осадів контролювалось зоною кисневого мінімуму. **Практична значущість.** Результати досліджень дали змогу встановити нафтоматеринський потенціал для відкладів едіакарію та виділити ділянки поширення найперспективніших порід силуру, збагачених органічною речовиною (аргіліти, мергелі), які складають потенційний ресурс для розвідки та видобутку сланцевого газу.

Ключові слова: південно-західний схил Східноєвропейської платформи; калюські верстви; силур; безкиснева подія; зона кисневого мінімуму; органічна речовина; сланцевий газ.

Вступ

Відклади з підвищеним вмістом органічної речовини, так звані “black shale”, становлять значний інтерес для вивчення та розвідки їх як нафтогазогенеруючих товщ, і їх розглядають, особливо в останнє десятиліття, як потенційний ресурс сланцевого газу [Curtis, 2002; Sonnenberg, Pramudito, 2009]. В осадовій товщі південно-західного схилу Східно-Європейської платформи в геохронологічному інтервалі від протерозою включно з палеозоєм найбільший інтерес становлять збагачені органічною речовиною нашарування едіакарію (калюські верстви) та силуру. Ці відклади нагромаджувались у різні геологічні інтервали, мали різну тектонічну історію, проте їх об'єднує седиментологічне середовище, яке було притаманне для цих вікових інтервалів – парниковий ефект, зумовлений відсутністю контрастності клімату, що полягала в незначній різ-

ниці температур між полюсами і екватором, танення льодових шапок на полюсах, глобальна трансгресія. Усі ці фактори призвели до відсутності глибоководної циркуляції в Світовому океані, і як наслідок формування потужного шару кисневого мінімуму, починаючи з глибин 50–100 м [Verniers et al., 2008; Craig et al., 2013].

Вперше термін “океанічні безкисневі події” введено у літературу на основі аналізу глобального поширення одновікових крейдових відкладів, збагачених розсіяною органічною речовиною за даними глибоководного буріння у Світовому океані (Deep Sea Drilling Project) “Гломар Челленджер” [Berger, 1972]. Результати цих досліджень стали основою для створення С. Шлянгером та Х. Дженкінсом концепції про існування у певні геологічні епохи крейдового періоду обширних зон кисневого мінімуму в Світовому океані [Schlanger, Jenkyns, 1976; Сеньков-

ський та ін., 2012]. Утворені в цей час збагачені розсіяною органічною речовиною відклади, за визначенням цих авторів, стали результатом "океанічних безкисневих подій".

В останні десятиліття значний інтерес викликали чорносланцеві відклади палеозою (ордовік – нижній девон) – особливо у час, коли у США почалися перші успішні розробки родовищ сланцевого газу [Curtis, 2002; Sonnenberg, Pramudito, 2009]. Не поступаються нашаруванням нижнього палеозою, як потенційні нафтоматеринські товщі, едіакарські нашарування – найдавніші серед осадових товщ Землі, збагачені органічною речовиною. Палеошельфові нашарування цього вікового діапазону є нафтогазогенеруючими товщами для таких відомих родовищ як Центральний Супербасейн в Австралії [Lindsay, 2002] та Південний Басейн Оману на Аравійському півострові [Craig et al., 2009].

Геологічна характеристика досліджуваного регіону

Досліджена територія (рис. 1) – південно-західний схил Східноєвропейської платформи – містить такі геологічні структури: Волино-Подільську плиту, Молдовську платформу та Переддобрудзький прогин [Різун та ін., 1986; Чебаненко и др., 1987; Крупський, 2001]. Осадочний чохол цієї території лежить на архей-протерозойському фундаменті, складеному магматичними і метаморфічними породами архею і протерозою. Фундамент виходить на денну поверхню в області Українського щита, а в напрямку зі сходу на захід від щита до зони ТТ (Тейсейре-Торнквіста) поверхня фундаменту моноклінально занурюється під осадовою товщею, найбільші потужності якої розвинуті у межах Волино-Подільської плити та у Переддобрудзькому прогині. Максимальна потужність осадового чохла за даними геофізичних досліджень досягає 10 км у крайній південно-західній частині Львівського прогину [Чебаненко и др., 1987; Геотектоника..., 1990]. У Переддобрудзькому прогині, у найбільш зануреній частині, потужність осадової товщі сягає 7 км. Осадочний чохол південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи представлений відкладами неопротерозою (рифей, венд), палеозою (кембрій, ордовік, силур, девон, карбон, перм поширена лише у Переддобрудзькому прогині), мезозою (тріас – виключно в Переддобрудзькому прогині, юра, крейда) і кайнозою (палеоген, неоген, антропоген) [Герасимов та ін., 2005].

Відклади едіакарію (верхнього венду) залягають на нижньовендських нашаруваннях або ж на магматичних чи метаморфічних породах фундаменту. Серед осадової товщі дослідженої території (за винятком крейдових відкладів) едіакарські нашарування найдалше поширені вглиб платформи – аж до Українського щита, від якого на захід у напрямку зони ТТ потужності цих

нашарувань закономірно зростають. Відклади силуру поширені суцільним пасмом вздовж південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи від кордону України з Польщею і Білоруссю до Чорного моря, де залягають на розмитій під час тривалої регресії поверхні, яка складена породами ордовіку, кембрію і венду. Потужності силуру закономірно зростають від Українського щита на захід у напрямку зони ТТ, сягаючи максимальних значень до 1300 м і більше.



Рис. 1. Схематична карта району досліджень

Fig. 1. Sketch map of the study area

Мета

Метою цієї роботи було дослідити умови седиментації збагачених органічною речовиною відкладів едіакарію та силуру південно-західного схилу Східноєвропейської платформи. Зокрема, врахувати фактори, що сприяють ефективній фосилізації органічної речовини в морських осадах та відіграють ключову роль в утворенні чорносланцевих товщ, які є основним елементом сланцевих нафтогазових систем.

Методика

Дослідження відкладів едіакарію та силуру проводились на підставі опрацювання кам'яного матеріалу. Для цієї мети відібрано для відкладів едіакарію 29 зразків, з яких 9 – з відслонень (с. Миньківці, с. Лядава, с. Велике Кужелево) та 20 зразків – зі свердловин (Броди-1, Воютин-1, Глиняни-1, Добротвір-1, Колинків-1, Літовиж-1, Лудин-1, Перемишляни-1, Сокаль-1, Сушне-1, Суворово-1). Для відкладів силуру відібрано 33 зразки керна матеріалу зі свердловин (Крехів-1, Дубляни-1, Перемишляни-1, Балучин-1, Заложці-1, Сушне-1, Бучач-1,-3). Також породи вивчалися у шліфах (18 шліфів для едіакарію; 33 шліфи для силуру) під мікроскопом, були опрацьовані дані геофізичних досліджень – електрокаротажні діаграми (16 діаграм для едіакарію; 25 діаграм для силуру). Це дало змогу встановити петрографічний склад порід, потуж-

ності нашарувань едіакарію та силуру, діапазон їх залягання в розрізі, на основі чого були побудовані карти поширення цих відкладів [Radkovets, 2015; Kosakowski, 2017] та виокремлені найперспективніші ділянки поширення чорносланцевих товщ едіакарію та силуру.

Результати

Поширення та петрографічна характеристика порід Едіакар

Цілеспрямовані дослідження відкладів протерозою, зокрема, едіакарію, в межах України (Волино-Подільська плита і Переддобрудзький прогин), а також Молдови (Молдовська платформа) розпочались у 1950–60 рр. ХХ століття з глибокого та опорного параметричного буріння, метою якого були пошуки нафти і газу. На цей час пробурено значну кількість свердловин та вивчено ряд відслонень, що дало можливість простежити поширення та зміну потужностей відкладів едіакарію, а також калюських верств на всій території досліджень. Нашарування калюського віку частково відслонюються в долинах р. Дністер та її лівих приток (річки Калюс, Ушиця, Караєць, Жван, Лядова). Повні розрізи цих відкладів встановлені лише у свердловинах. Товщу темноколірних аргілітів верхнього протерозою, за стратиграфічним розчленуванням [Великанов и др., 1983] зараховують до вендської системи, могилів-подільської серії, нагірянської світи, калюських верств. Ці відклади отримали назву «чорні фосфоритонесні сланці Калюса» завдяки Лунгерсгаузену та Никифоровій [Лунгерсгаузен, Никифорова, 1942]. Назва походить від с. Калюса на Дністрі, синонім їх – миньовецький горизонт [Сташук, 1957].

Калюські нашарування, загалом, залягають моноклінально (рис. 2), хоча на фоні загального моноклінального залягання порід виокремлюються морфоструктури, успадковані від відкладів яришівської та могилівської світ [Великанов и др., 1983], які простягаються впоперек до поширення відкладів калюсу з північного сходу на південний захід майже паралельно одна до одної. Потужності калюських нашарувань загалом сягають 90 м і більше в межах Волино-Подільської плити та Молдовської платформи, а в Переддобрудзькому прогині вони становлять 150 м і більше.

Калюські верстви представлені тонковерстовуватими темно-сірими до чорних аргілітами, з підвищеним вмістом органічної речовини, яка за даними [Kosakowski et al., 2017] досягає 0,9 %. Аргіліти складені загалом гідролітою (іліт) та незначною кількістю каолініту та монтморилоніту з домішками кварцу, польового шпату та глауконіту (рис. 3). Органічна речовина у верхньовендських аргілітах представлена обвугленими рештками водоростей – вендотенід і безструк-

турними бітумінозними утвореннями, супутником яких є лінзоподібні скупчення тонких кульок піриту розміром 0,01 мм [Гниловская, 1979; Зелізна та ін., 1971].

З відкладами калюських верств пов'язані відомі поклади фосфоритів, які виявлені у вигляді скупчень екзотичних кулястих конкрецій, що складають самостійні верстви або спорадичні включення в аргілітовій товщі [Іванців, 1962]. Зважаючи на потужності, територію поширення та відсотковий вміст органічної речовини, калюські нашарування можна розглядати як потенційні нафтоматеринські породи.

Силур

Платформові відклади силуру південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи – аргіліти та мергелі з підвищеним вмістом органічної речовини – належать до відкритошельфової фації [Дригант, 2000] і становлять типові породи, які сформувались у безкисневому седиментаційному і постседиментаційному середовищі [Radkovets, 2015]. У межах території досліджень у найзануренішій ділянці платформи (Рис. 4), де потужності відкладів силуру становлять 700 м і досягають 1300 і більше поширені виключно аргіліти та мергелі. А в напрямку зменшення потужностей силурійська товща (700–400 м) складається з аргілітів та мергелів, які перешаровуються карбонатними породами – доломітами, глинистими та рифовими вапняками. Товща відкладів силуру, яка становить 400 м і менше, аж до повного вклинювання силурійських нашарувань, представлена карбонатними (мергелі, доломіти, органогенно-детритові та рифові вапняки) та карбонатно-сульфатними (доломіти з перешаруванням ангідритів) породами [Radkovets, 2015].

У межах території досліджень у найзануренішій ділянці платформи (Рис. 4), де потужності відкладів силуру становлять 700 м і досягають 1300 і більше поширені виключно аргіліти та мергелі. А в напрямку зменшення потужностей силурійська товща (700–400 м) складається з аргілітів та мергелів, які перешаровуються карбонатними породами – доломітами, глинистими та рифовими вапняками.

Товща відкладів силуру, яка становить 400 м і менше, аж до повного вклинювання силурійських.

Темнозавалені глинисті та глинисто-карбонатні породи (аргіліти, вапнисті аргіліти, глинисті мергелі та мергелі) вміст C_{org} у яких коливається в межах 0,5–1 %, іноді досягає 2,16 % (Radkovets et al. 2017), що дає змогу розглядати ці темноколірні нашарування перспективними породами для видобутку сланцевого газу.

Аргіліти (рис. 5А, Б) темно-сірі, майже чорні, невапнисті та вапнисті (карбонатність 10–40 %) місцями алевритисті (до 15–35 % алевритового матеріалу) піритизовані, мікрошаруваті, щільні, міцні. Породи складені глинистим чи серицито-

кременистим матеріалом, який має чорний колір за рахунок тонкорозсіяного піриту. Основна маса породи представлена найдрібнішими лусками гідрослюди, на фоні якої чітко виділяються субпаралельно розташовані уривки піритизованої ізотропної органіки. У невеликій кількості присутні алевритові зерна кварцу, карбонатів (кальцит, доломіт), а також луски мусковіту. Подекуди відмі-

чаються лінзоподібні скупчення алевритових зерен кварцу і релікти вапнистих органогенних решток.

Мергелі (рис. 5-С) темно-сірі, глинисті, піритизовані, доломітизовані (карбонатність 43–54 %). Порода тонко- і мікрошарувата завдяки розподілу дрібних зерен піриту і лінзоподібному скупченню проблематичних органогенних уламків вапнистого складу.

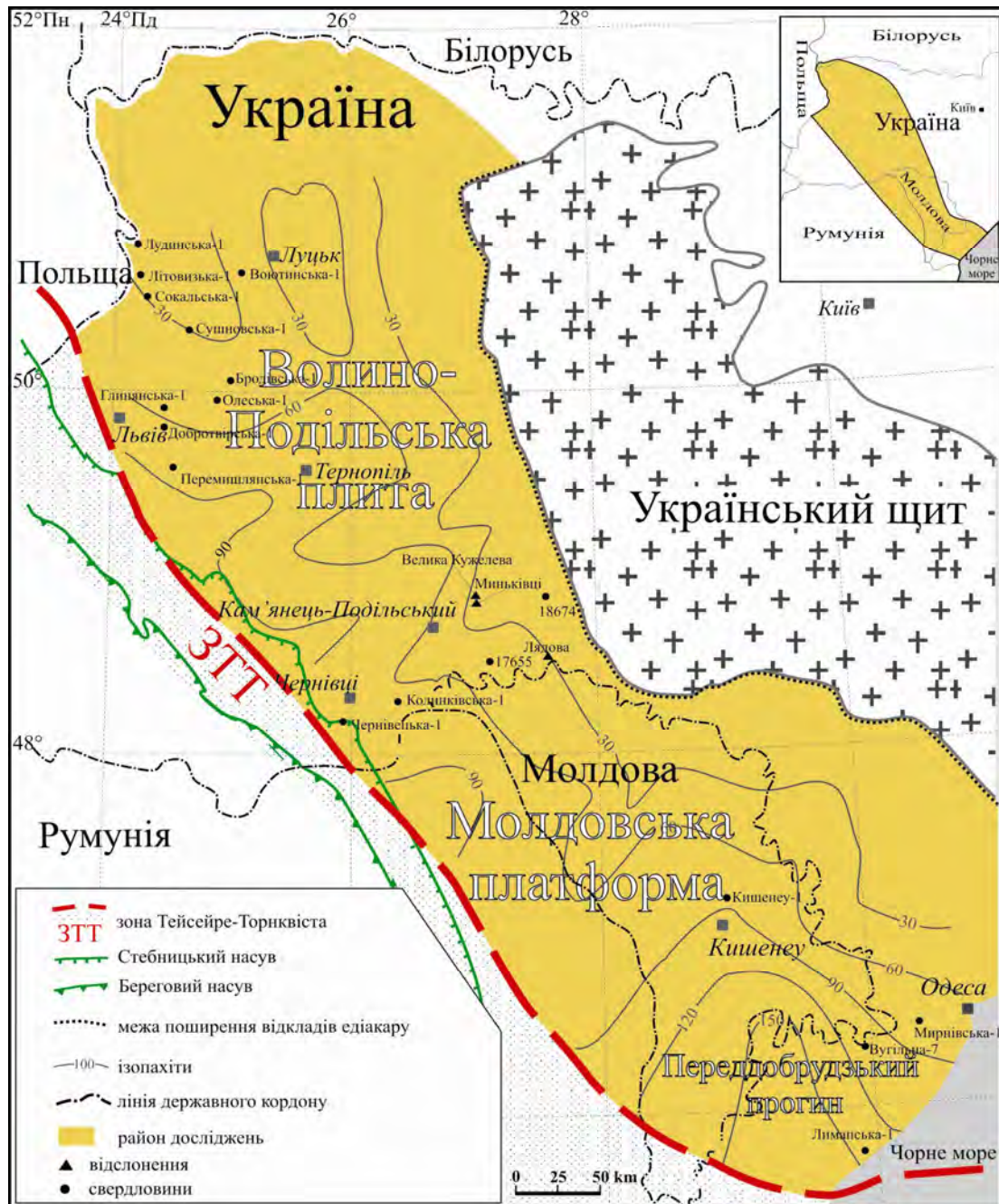


Рис. 2. Карта поширення та потужностей відкладів едіакарію (калюські верстви) південно-західного схилу Східноєвропейської платформи [Геотектоника..., 1990; Seghedi et al., 2005; Krzywiec, 2009; Kosakowski et al., 2017]

Fig. 2. Map of occurrence and thicknesses of Ediacaran (Kalus Beds) of the south-western slope of the East-European platform [Chebanenko et. al., 1990; Seghedi et al., 2005; Krzywiec, 2009; Kosakowski et al., 2017]

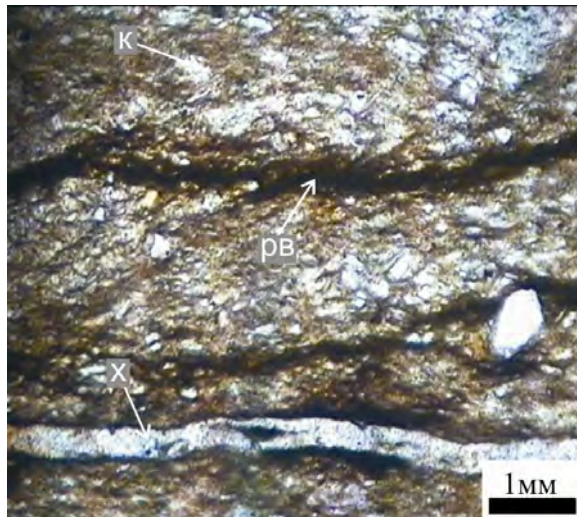


Рис. 3. Мікрофотографія піскуватого аргіліту з прошарками обвуглених решток водоростей, без аналізатора. Едіакарій, калюські верстви, відслонення Миньківці
к – кварц; рв – обвуглені рештки водоростей; х – жила заповнена халцедоном

Fig. 3. Microphotograph of sandy silt with streaks of coalified algae remains, without analyzer. Ediacaran, Kalus Beds, outcrop
MyNKivtsi

к – quartz; рв – coalified algae remains; х – vein filled with chalcedony

Мергель складається із дисперсних і тонко-лускових глинисто-карбонатних часток, що утворюють основну масу. У невеликій кількості наявна домішка кластичного матеріалу, представлена алевритовими (0,01–0,08 мм) зернами кварцу. Трапляються проблематичні карбонатного складу органогенні уламки розміром 0,1–0,8 мм, іноді >1мм, які нагадують значно перекристалізовані уламки криноїдей та водоростей.

Палеосередовище

Едіакар

Розпад мегаконтиненту Родінії, який почався близько 750 млн років тому, спричинився до утворення окремих континентів (Балтика, Гондвана, Лавразія, Сибірський) та відкриттям близько 550 млн років тому Палеотихого океану з подальшим відкриттям океанів Япетус і Торнквіст [Torsvik et al., 1996]. Упродовж пізнього неопротерозою рифтінг, який відбувся вздовж майбутньої Транс-Європейської шовної зони, завершився поділом земної кори між Балтикою і пери-Гондваною, що призвело до розвитку південно-західної пасивної країни Балтики [Nawrocki, Poprawa, 2006] (рис. 6-А). Упродовж пізнього неопротерозою рифтінг, який зумовив подальше розкриття океану Торнквіста, призвів до перебудови структурного плану прилеглої до нього континентальної країни Балтики, у зв'язку

з чим значно розширилися межі басейну осадо-нагромадження порівняно з рифеєм – раннім вендом і змінилося його простягання з північно-східного на південно-східне. Адже найдавніші осадові породи (рифей – нижній венд) у межах західної країни Східноєвропейської платформи (Балтики) майже винятково виповнюють порівняно вузькі протяжні смуги авлакогенів, які розсікають платформу з південного сходу на південний захід, у межах яких відклалися континентальні, прибережно-морські і мілководні відклади.

Сформований епіконтинентальний осадовий басейн простягався майже вздовж всієї східної країни Балтики. Характерною ознакою осадо-нагромадження для цього басейну в едіакарії в могилівський і яришівський час були палеоріки, які брали свій початок на найдавніших виступах метаморфічних та магматичних порід фундаменту – Українському та Балтійському щитах.

Існування розгалуженої річкової системи в межах Балтики свідчить про сприятливі кліматичні умови, певну кількість опадів, температурних показників, які забезпечували повноцінне функціонування річок та надходження від їхньої діяльності значної кількості глинисто-теригеного матеріалу. Проведені дослідження свідчать про існування палеорусел річок, які сформували потужні конуси виносу [Великанов и др., 1983].

У вузький проміжок едіакарію – калюський час палеосередовище змінилося, відбулася глобальна трансгресія, яка зумовила затоплення палеократонів, зокрема і Балтики (рис. 6-Б), що спричинилося до перших в історії осадо-нагромадження 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 колоні починалася щонайбільше зі 100 м, а можливо і з 50 м. Адже темноколірні нашарування едіакарію – калюські верстви встановлені не лише у глибоководних шельфових нашаруваннях, вони також облямовують схил Українського щита, що є свідченням формування цих нашарувань у майже прибережних умовах.

Силур

Наприкінці ордовіку, внаслідок значного похолодання і зледеніння у південній півкулі, коли льодовикова шапка вкривала центральну частину Гондвани, відбулась глобальна регресія, внаслідок чого епіконтинентальний осадовий басейн західної країни Східноєвропейської платформи (Балтики) був виведений з-під рівня моря [Verniers et al., 2008]. Ця територія зазнала інтенсивної денудації. На початку силуру (ранній ландовері) з заходу і північного заходу (сучасна

територія Латвії, Литви) почалася інтенсивна трансгресія. Виник осадовий басейн, де нагромаджувались переважно глинисті мули, збагачені органічною речовиною.

Подальша трансгресія у східному напрямку (пізній ландвері – ранній венлок) привела до затоплення значних територій західної окраїни Балтики.



Рис. 4. Карта поширення та потужностей відкладів силуру південно-західного схилу Східноєвропейської платформи [Геотектоника..., 1990; Seghedi et al., 2005; Krzywicz, 2009; Radkovets, 2015]

Fig. 4. Map of occurrence and thicknesses of Silurian sediments of the south-western slope of the East-European platform [Chebanenko et al., 1990; Seghedi et al., 2005; Krzywicz, 2009; Radkovets, 2015]

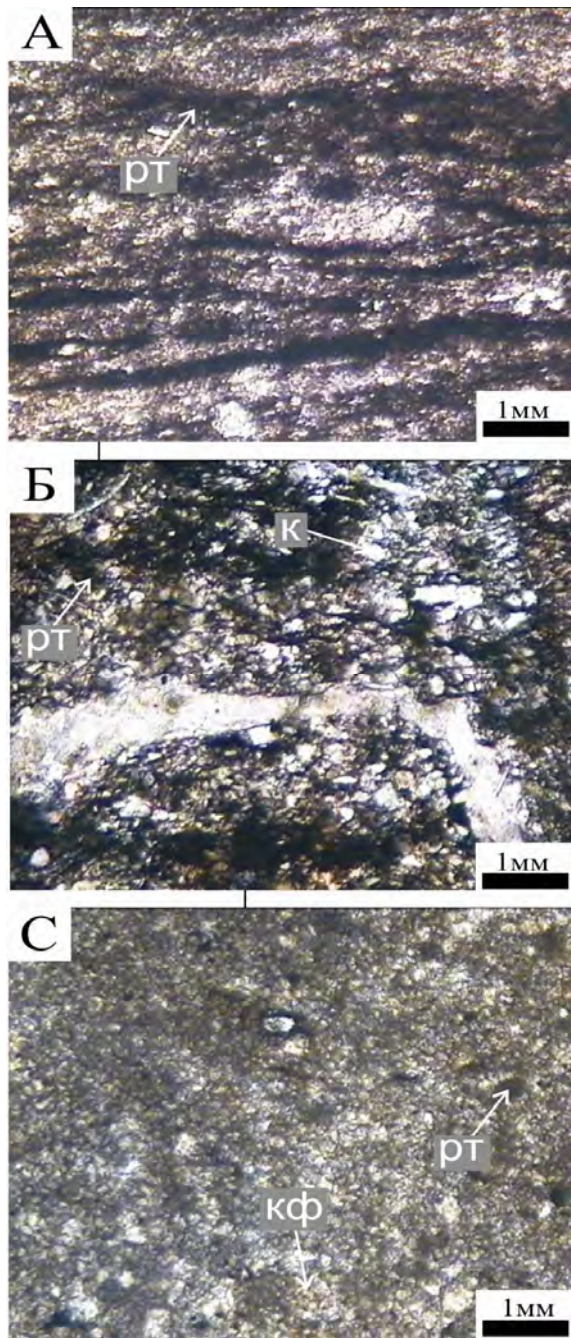


Рис. 5. Мікрофотографії порід силуру, без аналізатора

А, Б – аргіліт: **А** – аргіліт, свердловина Суворівська-1, глибина 2477,1–2488,1 м; **Б** – піскуватий аргіліт, свердловина Дубляни-4, глибина 4422 м; **С** – мергель, свердловина Заложці-1, глибина 582,8–586,4 м (к – кварц, рт – обвуглені рештки рослинної тканини, кф – рештки карбонатної фауни)

Fig. 5. *Microphotographs of Silurian rocks, without analyzer*

A, B – mudstone: **A** – borehole Suvorivsla-1, depth 2477,1 – 2488,1 m; **B** – borehole Dublyani-4, depth 4422 m. **C** – marl, borehole Zaliztsi-1, depth 582,8 – 586,4 m (к – quartz, рт – coalified remains of plant tissue, кф – carbonate fauna remains)

Осадний басейн набрав обрисів та розмірів, які були притаманні для ордовіку, до регресії [Verniers et al., 2008]. Стрімка зміна клімату – від холодного, що був притаманний для пізнього ордовіку, до парникового на початку силуру, коли температура в глобальних масштабах значно зросла (до 20 °С), призвела до істотного зменшення кількості кисню в атмосфері [Bernier, 2001]. Це явище зумовило збіднення киснем океанічних вод, починаючи з глибин 100 м, тобто виникнення зони кисневого мінімуму впродовж усього силурийського часу. Водночас значна кількість двоокису вуглецю створювала (за [Verniers et al., 2008]) сприятливе лужне середовище ($\text{pH} \geq 8$), яке у поєднанні з високими температурами в екваторіальній зоні забезпечило бурхливий розвиток карбонатних організмів у внутрішньошельфовій зоні. У ранньому венлоку (рис. 7-А, Б) утворився стабільний осадний басейн, у якому фіксувалась чітка фаціальна зональність у напрямку від берегової лінії до бровки шельфу. Внутрішньошельфова фація – де нагромаджувались сульфатні, глинисто-карбонатні та карбонатні (риф) відклади на глибинах до 100 метрів, де була достатня кількість кисню в шарі води для розвитку карбонатних планктонних та бентосних організмів, обмежувалася глибиною дна басейну, яка відповідно становила теж не більше ніж 100 м. Значна кількість бентосних організмів за сприятливих батіаметричних умов створювала численні підводні чагарники, нарости і банки, з яких згодом вибудовувався риф. Що стосується шельфової зони за рифовим пасмом, глибше ніж 100 м – зони кисневого мінімуму, то тут відбувався зворотній процес – зоо- та фітопланктон гинув, карбонатні скелетні рештки частково розчинялися ($\text{CaCO}_3 \geq 15\%$), відновне середовище сприяло нагромадженню органічної речовини (Radkovets, 2015). Безкисневе середовище в глибшій частині шельфу (>100 м), стало визначальним фактором для нагромадження потужної товщі (700–1300 м) аргілітів та мергелів, збагачених органічною речовиною ($\text{C}_{\text{орг}} \leq 2\%$), поширення яких є глобальним.

Наукова новизна

Для відкладів едіакарію встановлено їх поширення, потужності та нафтоматеринський потенціал. Для відкладів силуру з'ясовано ділянки поширення найперспективніших порід та встановлено, що нагромадження збагачених органічною речовиною осадів контролювалось зоною кисневого мінімуму.

Практична значущість

Результати досліджень дали змогу встановити нафтоматеринський потенціал для відкладів едіакарію та виділити ділянки поширення найперспективніших порід силуру, збагачених органічною речовиною (аргіліти, мергелі), які становлять потенційний ресурс для розвідки та видобутку сланцевого газу.

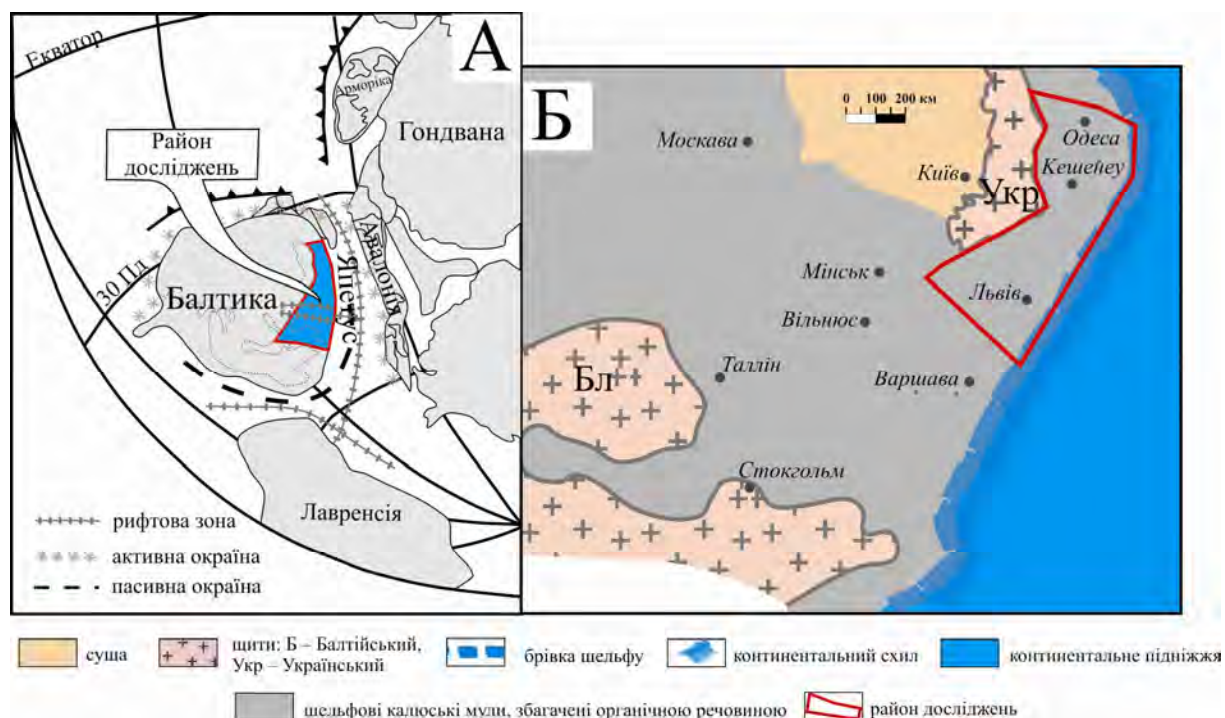


Рис. 6. Палеографічна карта едіакарію, що показує положення території досліджень у межах Балтики [за Torsvik et al., 1996] (А); схематична карта, що показує модель нагромадження осадів едіакарію (калюські верстви) у межах східного шельфу Балтика (Б)

Fig. 6. Palaeogeographic map of Ediacaran, showing the position of the territory under study within Baltica [after Torsvik et al., 1996] (A); sketch map, showing the model of Ediacaran sediments' deposition (Kalus Beds) within the eastern shelf of Baltica (B)

Висновки

Відклади едіакарію (верхній венд) – калюські верстви, серед осадових відкладів палеозою поширені найдалі вглиб платформи, аж до Українського щита, від якого на захід у напрямку зони Тейсейре-Торнквіста потужності цих нашарувань закономірно зростають. Потужності калюських верств загалом сягають 90 м і більше в межах Волино-Подільської плити та Молдовської платформи, а в Переддобрудзькому прогині вони становлять 150 м і більше. Калюські верстви представлені тонкошаруватими темно-сірими до чорних аргілітами, з підвищеним вмістом органічної речовини (до 0,9 %), яка представлена обвугленими рештками водоростей – вендотенід і безструктурними бітумінозними утвореннями.

Зважаючи на потужності, територію поширення та відсотковий вміст органічної речовини, калюські верстви можна розглядати як потенційні нафтоматеринські породи. В едіакарії в калюський час відбулася глобальна трансгресія, яка зумовила затоплення палеократонів, зокрема і Балтики, що спричинилося до перших в історії осадонагромадження глобальних безкисневих подій.

Особливість едіакарської безкисневої події полягала в тому, що майже всі палеошельфи, не кажучи вже про глибоководні частини океану, були охоплені стагнацією водної товщі і, судячи з

калюських нашарувань, зона кисневого мінімуму у водній колоні починалася щонайбільше зі 100, а можливо і з 50 м. Калюські верстви встановлені не лише в глибоководних шельфових нашаруваннях, вони також облямовують схил Українського щита, що є свідченням формування цих нашарувань у майже прибережних умовах.

Відклади силуру – аргіліти та мергелі з підвищеним вмістом органічної речовини (0,5–2,16 %), належать до відкритошельфової фації і становлять типові породи, які сформувались у безкисневому седиментаційному і постседиментаційному середовищі. Ці верстви поширені в найзануренішій ділянці платформи, де їхні потужності становлять не менше ніж 700 м і досягають 1300 м і більше. У темнозабавлених глинистих та глинистокарбонатних породах вміст C_{org} коливається в межах 0,5–1 %, іноді досягає 2,16 %, що дає змогу розглядати ці відклади перспективними породами для видобутку сланцевого газу.

Стрімка зміна клімату на початку силуру, призвела до істотного зменшення кількості кисню в атмосфері та збіднення киснем океанічних вод, починаючи з глибин 100 м. Водночас значна кількість двоокису вуглецю створювала сприятливе лужне середовище ($pH \geq 8$), яке в поєднанні з високими температурами в екваторіальній зоні забезпечило бурхливий розвиток карбонатних

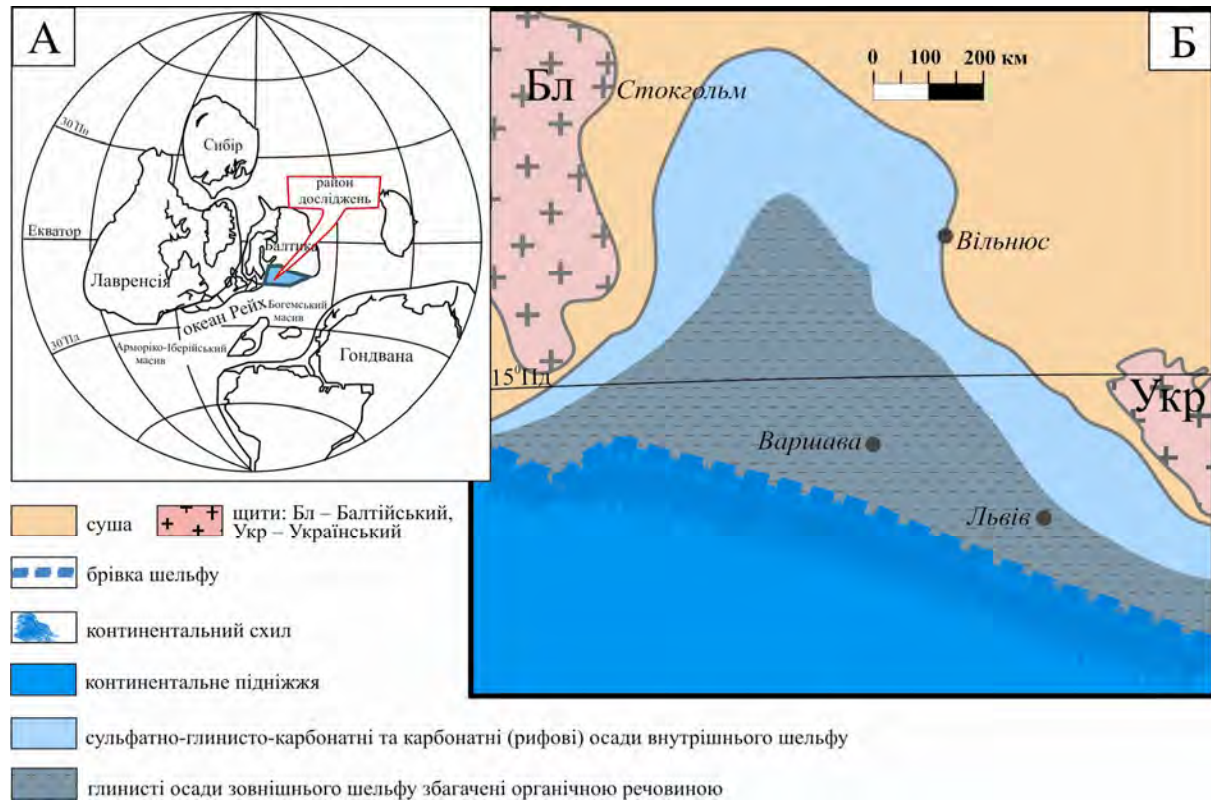


Рис. 7. Палеографічна карта силуру (лудлов), що показує положення території досліджень у межах Балтики [за Torsvik et al., 1996] (А); Схематична карта, що показує модель нагромадження осадів силуру в межах південного шельфу Балтика (Б)

Fig. 7. Palaeoceanographic map of Silurian (Ludlow), showing the position of the territory under study within Baltica [after Torsvik et al., 1996] (A); Sketch map, showing the model of Silurian sediments' deposition (Kalus Beds) within the southern shelf of Baltica (B)

організмів у внутрішньошельфовій зоні на глибинах, відповідно, <100 метрів, де розвивалися як планктонні, так і бентосні (рифові) організми. У зовнішньошельфовій зоні – за рифовим пасмом відбувався зворотний процес, зоо- та фітопланктон гинув, карбонатні скелетні рештки частково розчинялися ($\text{CaCO}_3 \geq 15\%$), безкисневе середовище (глибше ніж 100 м) стало визначальним фактором для нагромадження потужної (700–1300 м) товщі аргілітів та мергелів, збагачених органічною речовиною ($\text{C}_{\text{орг}} \leq 2\%$), поширення яких є глобальним.

Список літератури

Великанов В. А., Венд України / В. А. Великанов, Е. А. Асеева, М. А. Федонкин. – К. : Наук. думка, 1983. – 164 с.

Геотектоника Вольно-Подоліи / И. И. Чебаненко, И. Б. Вишняков, Б. И. Власов, Б. Я. Воловник, В. Дулуб, Т. А. Знаменская, В. В. Кириянов, Л. В. Коренчук, В. М. Марковский, А. П. Медведев, В. П. Палиенко, В. Ф. Полкунов, Г. М. Помяновская, Ю. Н. Сеньковский, Л. Е. Фильштинский, П. Д. Цегельнюк, В. Ф. Шульга, Г. М. Яценко. – К. : Наук. думка, 1990. – 244 с.

Гниловская М. Б. Вендотениды / М. Б. Гниловская // Палеонтология верхнекембрийских и

кембрийских отложений Восточно-Европейской платформы. – М. : Наука, 1979. – С. 39–48.

Дригант Д. М. Нижній і середній палеозой Волино-Подільської окраїни Східноєвропейської платформи та Передкарпатського прогину / Д. М. Дригант // Наукові записки Державного природознавчого музею. – 2000. – Т. 15. – С. 24–87.

Зелізна С. Т. Бітумінологічне дослідження миньковецьких відкладів Придністров'я / С. Т. Зелізна, Я. П. Плакв, Д. І. Фільц // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1971. – Вип. 25. – С. 79–86.

Іванців О. Є. До літології давніх світ Середнього Придністров'я / О. Є. Іванців // Матер. з геології та геохімії корисних копалин України. – К. : АН УРСР, 1962. – С. 49–57.

Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України / Ю. З. Крупський. – К. : УкрДГРІ, 2001. – 144 с.

Лунгерсгаузен Л. Ф. О стратиграфическом отношении силурийских слоев Подоліи к аналогичным слоям некоторых других мест Западной Европы / Л. Ф. Лунгерсгаузен, О. И. Никифорова // Докл. АН СССР. – 1942. – Нов. сер., 34, № 2. – С. 69–74.

- Різун Б. П. Особливості розташування та систематика розломів Волино-Подільської плити / Б. П. Різун, Є. І. Чиж // Доп. АН УРСР. – 1986. – № 11. – С. 22–25.
- Сеньковський Ю. М. Безкисневі події океану Тетис / Ю. М. Сеньковський, Ю. В. Колтун, К. Г. Григорчук, В. П. Гнідець, І. Т. Попп, Н. Я. Радковець. – К. : Наук. думка, 2012. – 184 с.
- Сташук М. Ф. До стратиграфії давньопалеозойських відкладів Середнього Придністров'я // Геологічний журнал. – 1957. – Вип. 2. – С. 38–48.
- Чебаненко И. И. Тектоника и перспективы нефтегазоносности Северного Причерноморья / И. И. Чебаненко, Ю. М. Довгаль, Р. В. Палинский, В. Н. Найденов, В. П. Клочко, В. С. Токовенко. – К. : Преп. АН УССР. Ин-т геологических наук, 1987. – 46 с.
- Berger W. H., von Rad U. Cretaceous and Cenozoic Sediments from the Atlantic ocean / W. H. Berger, U. von Rad // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, (US Government Printing Office, Washington). – 1972. – Vol. 14. – P. 787–954.
- Berner R. A. Modeling atmospheric O₂ over Phanerozoic time / R. A. Berner // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2001, Vol. 65, P. 685–694.
- Craig J. Global Neoproterozoic Petroleum Systems: The Emerging Potential in North Africa / J. Craig, J. Thurow, B. Thusu, A. A. Whitham, Y. Butaruma // Geological Society. – London, Special Publications, 2009. – 326 p.
- Craig J. The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rock / J. Craig, U. Biffi, R. F. Galimberti // *Marine and Petroleum Geology*. – 2013. – Vol. 113. – P. 401–407.
- Curtis J. B. Fractured shale-gas systems / J. B. Curtis // *AAPG Bulletin*. – 2002. – Vol. 86. – P. 1921–1938.
- Kosakowski P. Occurrence and burial and thermal history of the Ediacaran strata (W-SW Ukraine and Moldova) / P. Kosakowski, N. Radkovets, J. Rauball, A. Zakrzewski // 79th EAGE Conference & Exhibition 2017, Paris, France, 2017. – P. 75–80.
- Krzywiec P. Devonian-Cretaceous repeated subsidence and uplift along the Teisseyre-Tornquist zone in SE Poland – Insight from seismic data interpretation // *Tectonophysics*. – 2009. – Vol. 475. – P. 142–159.
- Lindsay J. F. Supersequences, superbasins, supercontinents – evidence from the Neoproterozoic – Early Palaeozoic basins of central Australia / Lindsay J. F. // *Basin Research*. – 2002. – Vol. 14, No. 2. – P. 207–223.
- Nawrocki J. Development of Trans-European Suture Zone in Poland: from Ediacaran rifting to Early Palaeozoic accretion / J. Nawrocki, P. Poprawa // *Geological Quarterly*. – 2006. – Vol. 50. – P. 59–76.
- Radkovets N. The Silurian of southwestern margin of the East European Platform (Ukraine, Moldova and Romania): lithofacies and palaeoenvironments / N. Radkovets // *Geological Quarterly*. – 2015. – Vol. 59, No. 1. Access Mode: DOI: org/10.7306/gq.1211.
- Radkovets N. Silurian black shales of the Western Ukraine: petrography and mineralogy / N. Radkovets, J. Rauball, I. Iaremchuk // *Estonian Journal of Earth Sciences*. – 2017. – Vol. 66, No. 3. Access Mode: DOI: org/10.3176/earth.2017.06.
- Schlanger S. O. Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences / S. O. Schlanger, H. C. Jenkyns // *Geologie en Mijnbouw*. – 1976. – Vol. 55, No. 3–4. – P. 179–184.
- Seghedi A., Vaida M., Iordan M., Verniers J. Palaeozoic evolution of the Romanian part of the Moesian platform: an overview / A. Seghedi, M. Vaida, M. Iordan, J. Verniers // *Geologica Belgica*. – 2005. – Vol. 8, No. 4. – P. 99–120.
- Sonnenberg S. A., Pramudito A. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field, Williston Basin // *AAPG Bulletin*. – 2009. – Vol. 93. – P. 1127–1153.
- Torsvik T. H. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic – a tale of Baltica and Laurentia / T. H. Torsvik, M. A. Smetthurst, J. G. Meert, R. Van der Voo, W. S. McKerrow, M. D. Brasier, B. A. Struth, H. J. Walderhaug // *Earth Science Review*. – 1996. – Vol. 40. – P. 229–258.
- Verniers J. Silurian / J. Verniers, J. Maletz, J. Kříž, Ž. Žigait, F. Paris, H. P. Schönlaub, R. Wrona // *The Geology of Central Europe*. – Vol. 1: Precambrian and Palaeozoic. Geological Society. – London, 2008. – P. 249–302.

Н. Я. РАДКОВЕЦ

Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, ул. Научная, 3а, Львов, 79060, Украина
тел. +38(032)2649799, ел. почта: radkov_n@ukr.net

БЕСКИСЛОРОДНОЙ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ НАСЛОЕНИЙ ЭДИАКАРИЯ И СИЛУРА ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Цель. Цель данной работы – исследовать условия седиментации обогащенных органическим веществом отложений эдиакара и силура юго-западного склона Восточно-Европейской платформы. В частности, учесть факторы, которые способствуют эффективной фосилизации органического вещества в морских осадках и играют ключевую роль в образовании чорносланцевых толщ, которые являются основополагающим элементом сланцевых нефтегазовых систем. **Методика.** Методика базируется на

литологических исследованиях, которые стали основой для установления вещественного состава пород, распространения исследованных толщ и их мощностей, диапазона залегания в разрезе и реконструкции палеообстановок исследованных возрастных интервалов. **Результаты.** Проведенные исследования платформенных отложений эдиакария (калюские слои) и силура, которые обогащены рассеянным органическим веществом, позволили установить, что калюские слои распространены сплошной полосой вдоль юго-западного склона Восточно-Европейской платформы и достигают Украинского щита. Их мощности составляют 90 м и более в пределах Волыно-Подольской плиты и Молдавской платформы, а в Преддобруджском прогибе – 150 м и более. Для наслоений силура установлено, что отложения, обогащенные органическим веществом (аргиллиты и мергели), распространены в погруженном участке платформы, где мощности отложений силура достигают 700 м и более. Проведена реконструкция палеообстановки в эдиакаре и силуре, выяснены факторы, которые обусловили бескислородный седиментогенез в эти временные промежутки геологической истории. Установлено, что морской бассейн в калюское время охватывал значительную территорию кратона Балтика, где зона кислородного минимума в водной колонне начиналась с глубин не больше 100 м. Реконструкция палеообстановки для силурийского времени указывает на то, что бассейн имел батиметрическую зональность. До глубины примерно 100 м накапливались сульфатные, глинисто-карбонатные и карбонатные (риф) осадки, а осадки, обогащенные органическим веществом, накапливались на глубинах более 100 м, в зоне кислородного минимума. **Научная новизна.** Для отложений эдиакария установлено их распространение, мощности и нефтематеринский потенциал. Для отложений силура выяснены участки распространения самых перспективных пород и установлено, что накопление обогащенных органическим веществом осадков контролировалось зоной кислородного минимума. **Практическая значимость.** Результаты исследований позволили установить нефтематеринский потенциал для отложений эдиакария и выделить участки распространения перспективных пород силура, обогащенных органическим веществом (аргиллиты, мергели), которые составляют потенциальный ресурс для разведки и добычи сланцевого газа.

Ключевые слова: юго-западный склон Восточно-Европейской платформы; калюские слои; силур; бескислородное событие; зона кислородного минимума; органическое вещество; сланцевый газ.

N. RADKOVETS

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, 3a, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine, phone +38(032) 264-97-99, e-mail: radkov_n@ukr.net

ANOXIC SEDIMENTOGENESIS OF EDIACARAN AND SILURIAN STRATA OF SOUTH-WESTERN SLOPE OF THE EAST-EUROPEAN PLATFORM

Purpose. The objective of this study was to investigate the depositional environments of organic-rich Ediacaran and Silurian strata on the south-western slope of the East-European platform. In particular, the factors facilitating the efficient fossilization of organic matter in marine sediments and which play the key role in black shales formation, are the basic elements of petroleum systems being considered. **Methodology.** Methodology is based on lithological investigations, which allowed establishing the material composition of rocks, the spatial extent of the successions under study and their thicknesses, and the range of occurrence in the sequence and reconstruction of palaeoenvironment in the studied age intervals. **Results.** Investigations of the organic-rich platform deposits of Ediacaran (Kalus beds) and Silurian have been performed. It was established that Kalus beds occur as a continuous band along the south-western slope of the East-European platform reaching the Ukrainian Shield. Their thickness is 90 meters and more within the Volyno-Podillya plate and Moldova plate, while in Dobrogea Foredeep it is 150 meters and more. For Silurian strata it was established that organic-rich deposits (argillites, marls) occur within the most subsided part of the platform, where the thicknesses of Silurian reach 700m and more. On the basis of lithological investigations the reconstruction of the paleo-environments in Ediacaran and Silurian, which caused the anoxic sedimentogenesis within these ranges of the geological history. It was established that the marine basin in Kalus times that covered the large territory of the craton Baltica, where the oxygen-minimum zone in the water column started at depths of maximum 100 meters. The reconstruction of the paleo-environment in Silurian shows that the basin had paleo-bathymetric zoning. Till depth was about 100m of deposited sulfate, clay-carbonate, and carbonate (reef) sediments, while the organic-rich ones were deposited at depths of over 100 m within the oxygen-minimum zone. **Originality.** For Ediacaran deposits their occurrence, thicknesses, and petroleum-generating potential have been established. For Silurian the areas of the most prospective rocks' occurrence have been elucidated. It was established that deposition of the organic-rich rocks has been controlled by the oxygen-minimum zone. **Practical significance.** Results of investigations allowed establishing the petroleum-generating potential for Ediacaran deposits and distinguishing the areas of occurrence of the most prospective organic-rich Silurian rocks (mudstones, marls), which represent a potential resource for shale gas exploration and production.

Key words: south-western slope of the East-European platform; Kalus beds; Silurian; anoxic event; oxygen-minimum zone; organic matter; shale gas.

REFERENCES

- Velikanov V. A., Aseeva E. A., Fedonkin M. A. *Vend Ukrainy* [Vendian of Ukraine]. Kyiv, "Naukova dumka" Publ. ["Scientific thought" Publ.], 1983, 164 p. (in Russian).
- Chebanenko I. I., Vishnjakov I. B., Vlasov B. I., Volovnik B. Ja., Dulub V., Znamenskaja T. A., Kir'janov V. V., Korenchuk L. V., Markovskij V. M., Medvedev A. P., Palienko V. P., Polkunov V. F., Pomjanovskaja G. M., Sen'kovskij Ju. N., Fil'shtinskij L. E., Cegel'njuk P. D., Shul'ga V. F., Jacenko G. M. *Geotektonika Volyno-Podolii* [Geotectonics of Volyn-Podillya]. Kyiv, "Naukova dumka" Publ. ["Scientific thought" Publ.], 1990, 244 p. (in Ukrainian).
- Gnilovskaja M. B. *Vendotenidy* [Vendotenides], *Paleontologija verhnedokembrijskih i kembrijskih otlozhenij Vostochno-Evropskoj platformy* [Paleontology of Upper Precambrian and Cambrian deposits of the East European Platform]. Moscow, "Nauka" Publ. ["Science" Publ.], 1979, pp. 39–48 (in Russian).
- Dry`gant D. M. *Ny`zhnij i serednij paleozoj Volyn-Podil's'koyi okrayiny` Sxidnoevropejs'koyi platformy` ta Peredkarpats'kogo progy`nu* [Lower and Middle Paleozoic of the Volyn-Podillyan margin of the East-European Platform and Carpathian Foredeep], *Naukovi zapy`sky` Derzhavnogo pry`rodoznavchogo muzeyu* [Scientific notes of the State Natural History Museum], 2000, Vol. 15, pp. 24–87 (in Ukrainian).
- Zelizna S. T., Plaksa Ya. P., Fil'cz D. I. *Bituminologichne doslidzhennya my`n'kovecz`ky`x vidkladiv Pry`dnistrov'ya* [Bituminological study of Mynkovets deposits of Prydnistrovia], *Geologiya i geoximiya goryuchy`x kopaly`n* [Geology and geochemistry of combustible minerals], 1971, Vol. 25, pp. 79–86 (in Ukrainian).
- Ivanciv O. Ye. *Do litologiyi davnix svit Seredn`ogo Pry`dnistrov'ya* [To lithology of the ancient suites of the Middle Prydnistrovia], *Materialy` z geologiyi ta geoximiyi kory`sny`x kopaly`n Ukrayiny`* [Materials on geology and geochemistry of minerals of Ukraine]. Kyiv, AN URSSR Publ., 1962, pp. 49–57 (in Ukrainian).
- Krupskyy Yu. Z. *Heodynamichni umovy formuvannya i naftohazonosnist' Karpats'koho ta Volyno-Podil's'koho rehioniv Ukrainy* [Geodynamic conditions of formation and oil and gas content of Carpathian and Volyno-Podolian regions of Ukraine], Kyiv, UkrDGRI Publ., 2001, 144 p. (in Ukrainian).
- Lungersgauzen L. F., Nikiforova O. I. *O stratigraficheskoy otnoshenii silurijskih sloev Podolii k analogichnym slojam nekotoryh drugih mest Zapadnoj Evropy* [About stratigraphic relation of Silurian strata of Podillya to analogical strata of some other places of Western Europe], *Dokl. AN SSSR*. [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1942, new series, 34, N. 2, pp. 69–74 (in Russian).
- Rizun B. P., Chy`zh Ye. I. *Osobly`vosti roztashuvannya ta sy`stematy`ka rozlomiv Volyn-Podil's'koyi ply`ty`* [Peculiarities of occurrence and systematization of faults of the Volyn-Podillya plate], *Dop. AN URSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1986, Vol. 11, pp. 22–25 (in Ukrainian).
- Sen`kovskiy Yu. M., Koltun Yu. V., Gry`gorchuk K. G., Gnidecz` V. P., Popp I. T., Radkovecz` N. Ya. *Bezky`snevi podiyi okeanu Tetis* [Anoxic events of the Tethys ocean], Kyiv, "Naukova dumka" Publ. ["Scientific thought" Publ.], 2012, 184 p. (in Ukrainian).
- Stashuk M. F. *Do straty`grafiyi davn`opaleozojs'ky`x vidkladiv Seredn`ogo Pry`dnistrov'ya* [To stratigraphy of Early Paleozoic strata of the Middle Prydnistrovia], *Geologichny`j zhurnal* [Geological Journal], 1957, Vol. 2, pp. 38–48 (in Ukrainian).
- Chebanenko I. I., Dovgal' Ju. M., Palinskij R. V., Najdenov V. N., Klochko V. P., Tokovenko V. S. *Tektonika i perspektivy neftegazonosnosti Severnogo Prichernomor'ja* [Tectonics and oil and gas prospects of Northern Fore-Black Sea], Kyiv, Prep. AN URSSR. I-nt geology`chesky`x nauk [Preprint of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Institute of Geological Sciences]. 1987, 46 p. (in Russian).
- Berger W. H., von Rad U. Cretaceous and Cenozoic Sediments from the Atlantic ocean. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, (US Government Printing Office, Washington). 1972. Vol. 14, pp. 787–954.
- Berner R. A. Modeling atmospheric O₂ over Phanerozoic time. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2001, Vol. 65, pp. 685–694.
- Craig J., Thurow J., Thusu B., Whitham A. A., Butarruma Y. Global Neoproterozoic Petroleum Systems: The Emerging Potential in North Africa. Geological Society, London, Special Publications, 2009, 326 p.
- Craig J., Biffi U., Galimberti R. F. The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rock. *Marine and Petroleum Geology*. 2013. Vol. 113, pp. 401–407.
- Curtis, J. B. Fractured shale-gas systems. *AAPG Bulletin*. 2002. Vol. 86, pp. 1921–1938.
- Kosakowski P., Radkovets N., Rauball J., Zakrzewski A. Occurrence and burial and thermal history of the Ediacaran strata (W-SW Ukraine and Moldova). 79th EAGE Conference & Exhibition 2017, Paris, France, 2017, pp. 75–80.
- Krzywiec P. Devonian-Cretaceous repeated subsidence and uplift along the Teisseyre-Tornquist zone in SE Poland – Insight from seismic data interpretation. *Tectonophysics*. 2009. Vol. 475, pp. 142–159.
- Lindsay J. F. Supersequences, superbasins, supercontinents – evidence from the Neoproterozoic–Early Palaeozoic basins of central Australia. *Basin Research*. 2002. Vol. 14, no. 2, pp. 207–223.
- Nawrocki J. and Poprawa P. Development of Trans-European Suture Zone in Poland: from Ediacaran rifting to Early Palaeozoic accretion. *Geological Quarterly*. 2006. Vol. 50, pp. 59–76.

- Radkovets N. The Silurian of southwestern margin of the East European Platform (Ukraine, Moldova and Romania): lithofacies and palaeoenvironments. *Geological Quarterly*. 2015. Vol. 59, N. 1. Access Mode: DOI: [org/10.7306/gq.1211](https://doi.org/10.7306/gq.1211).
- Radkovets N., Rauball J., Iaremchuk I. Silurian black shales of the Western Ukraine: petrography and mineralogy. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2017. Vol. 66, N. 3. Access Mode: DOI: [org/10.3176/earth.2017.06](https://doi.org/10.3176/earth.2017.06).
- Schlanger S. O., Jenkyns H. C. Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences. *Geologie en Mijnbouw*. 1976. Vol. 55, N. 3–4, pp. 179–184.
- Seghedi A., Vaida M., Iordan M., Verniers J. Paleozoic evolution of the Romanian part of the Moesian platform: an overview. *Geologica Belgica*. 2005. Vol. 8, N. 4, pp. 99–120.
- Sonnenberg S.A., Pramudito A. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field, Williston Basin. *AAPG Bulletin*. 2009. Vol. 93, P. 1127–1153.
- Torsvik T. H., Smethurst M. A., Meert J. G., Van der Voo R., McKerrow W.S., Brasier M. D., Strut B. A., Walderhaug H. J. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic – a tale of Baltica and Laurentia. *Earth Science Review*. 1996. Vol. 40, pp. 229–258.
- Verniers, J., Maletz, J., Kříž, J., Žigait, Ž., Paris, F., Schönlaub, H.P., Wrona, R. Silurian. In: *The Geology of Central Europe*. Vol. 1: Precambrian and Palaeozoic. *Geological Society*, London, 2008, pp. 249–302.

Надійшла 21.04.2017 р.