

Ю. М. Сеньковський<sup>1</sup>, В. М. Палій<sup>2</sup>, Н. Я. Радковець<sup>1</sup>, Ю. В. Колтун<sup>1</sup>

## ПАЛЕООКЕАНОГРАФІЧНІ ТА ГЕОХІМІЧНІ УМОВИ СЕДИМЕНТАЦІЇ ВЕРХНЬОВЕНДСЬКИХ "ЧОРНОСЛАНЦЕВИХ" ФОСФОРИТОНОСНИХ ВІДКЛАДІВ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ОКРАЇНИ СХІДНО-ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ

(Рекомендовано канд. геол.-мінерал. наук В. Я. Великановим)

На основе анализа материалов по геологической палеоокеанографии Мирового океана и фактических данных о древнем седиментогенезе бассейна "пра-Палеотетиса" впервые реконструированы условия формирования "черносланцевой" фосфоритоносной формации венда (калюсские слои) Волыно-Подольской моноклинали и смежных регионов. Процесс фосфорогенеза "черносланцевых" отложений был генетически связан с седиментацией первичного продуцента органического вещества – растительного детрита, фито- и, возможно, зоопланктона, вызванной действием геохимической активности биогенной триады P – C – N вследствие прибрежного апвеллинга. Формирование углеродсодержащих образований проходило в аноксических условиях. Поздневендское "бескислородное океаническое событие" авторы индексируют как "OAEV".

On the base of analysis of materials on geological paleoceanography of the World Ocean and factual data on ancient sedimentogenesis of "early Paleo-Tethys" for the first time the depositional environments of black shale phosphorite-bearing formation of Vendian (Kalus beds) of the Volyno-Podilian monocline and adjacent regions were reconstructed. Process of phosphorogenesis of black shale deposits was genetically interrelated with sedimentation of primary producer of organic matter: plant detritus, phyto- and, possibly, zooplankton, caused by the influence of coastal upwelling, as a result of geochemical activity of biogenic triad P – C – N as a result of coastal upwelling. Deposition of these carbon-bearing deposits occurred in anoxic environment. The Late Vendian oceanic anoxic event has been indexed by the authors as "OAEV".

У відкладах верхнього венду в межах південно-західного краю Східно-Європейської платформи – СЕП (Волино-Подільська монокліналь, Північно-Молдовське підняття, Молдовська монокліналь) поширена товща темноколірних аргілітів – калюські верстви (миньковецький горизонт за [3]) (рис. 1). Згідно із сучасним стратиграфічним розчленуванням [2], вони належать до нагорянської світи могилів-подільської серії і у повних розрізах залягають на джуржівських верствах цієї світи (рис. 2); їх потужність досягає 70 м. Відклади могилів-подільської серії в цілому характеризуються численними органічними рештками рослинного та тваринного походження, що свідчить про значний розвиток у період їх нагромадження специфічних форм давнього життя [11].

Калюські верстви представлені тонкошаруватими темно-сірими – чорними аргілітами і характеризуються підвищеним вмістом P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,1–2,8%) та C<sub>орг</sub> (до 1%). Підвищений вміст C<sub>орг</sub> в основному зумов-

лений присутністю в породах обвуглених решток водоростей – вендотенід та аморфних бітумоїдних утворень. Наявність у розрізі цих верств понад 10 окремих горизонтів кулястих фосфоритів, що утворилися у вузькому часовому інтервалі, вказує на розвиток у певні періоди приберегового апвелінгу та на зміни палеоокеанографічних умов пізньовендського басейну [13].

В глобальному відношенні черносланцевими породами докембрію складена десята частина всіх осадово-метаморфічних комплексів, починаючи з катархею [16]. Ці давні відклади з підвищеним вмістом C<sub>орг</sub> (від 0,5 до 10%, в середньому 5%) виявлені на всіх континентах Землі, де вони значно поширені по площі і характеризуються потужностями у сотні і перші тисячі метрів. Отже, збагачені органічним вуглецем калюські верстви належать до давніх докембрійських нашарувань, які мають глобальне поширення.

На основі аналізу всієї наявної інформації про абсолютний вік найяскравіше проявлених в докембрії вуглецевмісних і збагачених органічним вуглецем порід, товщ і формацій, згідно з даними роботи [16],

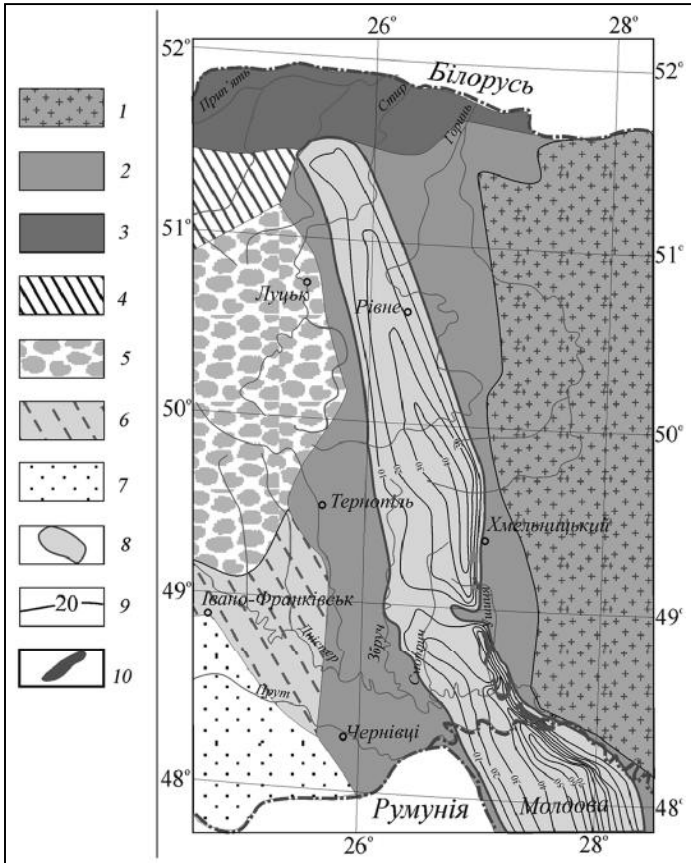


Рис. 1. Карта-схема району досліджень. Склали: Ю. М. Сеньковський, Н. Я. Радковець з використанням матеріалів робіт [2, 16]

Тектонічні елементи південно-західної окраїни СЄП: 1 – Український щит; 2 – Волино-Подільська монокліналь; 3 – Поліська сідловина та Північноукраїнська горстова зона; 4 – Ковельський виступ; 5 – Львівський палеозойський прогин; 6 – Боянецький прогин; 7 – Карпатська складчаста споруда; 8 – поширення досліджуваних калюських верств; 9 – ізогіпси; 10 – вихід калюських верств на денну поверхню

виділено шість головних глобальних епох їх формування та нагромадження. Так, насамперед фіксується повний збіг вікових інтервалів появи фотосинтезуючих механізмів у прокаріотичних організмів і першого в геологічній історії Землі масового глобального нагромадження вуглецьвмісних відкладів – 3,7–3,5 млрд років тому. Виразно відображаються в геологічному літописі нагромадження вуглецьвмісних відкладів і такі принципово важливі етапи біологічного розвитку, як поява еукаріот – 1,9–1,7 млрд років тому, виникнення метозу, мейозу, метафіта та метазоа – 1,9–0,9 млрд років тому, розквіт безскелетних метазоа – 0,6–0,5 млрд років тому. У цій схемі калюські "чорносланцеві"

Система	Відділ	Серія	Світа	Верстви
Вендська	Верхній	Канілівська		
Вендська	Верхній	Могилів-Подільська	Нагорянська	Калюські
				Джуржівські
			Яришівська	Зіньківські
				Бронницькі
				Бернашівські
			Могилівська	Лядовські
				Ямпільські
				Ломозівські
				Ольчедаївські
			Нижній	Волинська

Рис. 2. Стратиграфічна схема верхньовендських відкладів Волино-Подільської плити СЄП [2]

верстви корелюються з шостою епохою нагромадження вуглецьвмісних осадових товщ докембрію (рис. 3).

Ю. М. Сеньковський [13, 15] вважає, що генезис верхньовендських "чорносланцевих" фосфоритонесних відкладів південно-західної окраїни СЄП був пов'язаний з аноксичними умовами літогенезу – "безкисневими океанічними подіями" (ОАЕ – ocean anoxic events), зумовленими дією прибережого апвелінгу. Дослідження відкладів, які сформувалися внаслідок аноксичних процесів "безкисневих океанічних подій", має вагомe значення не лише з наукового, але й практичного погляду, оскільки дозволяє встановлювати поширення потенційно наф-

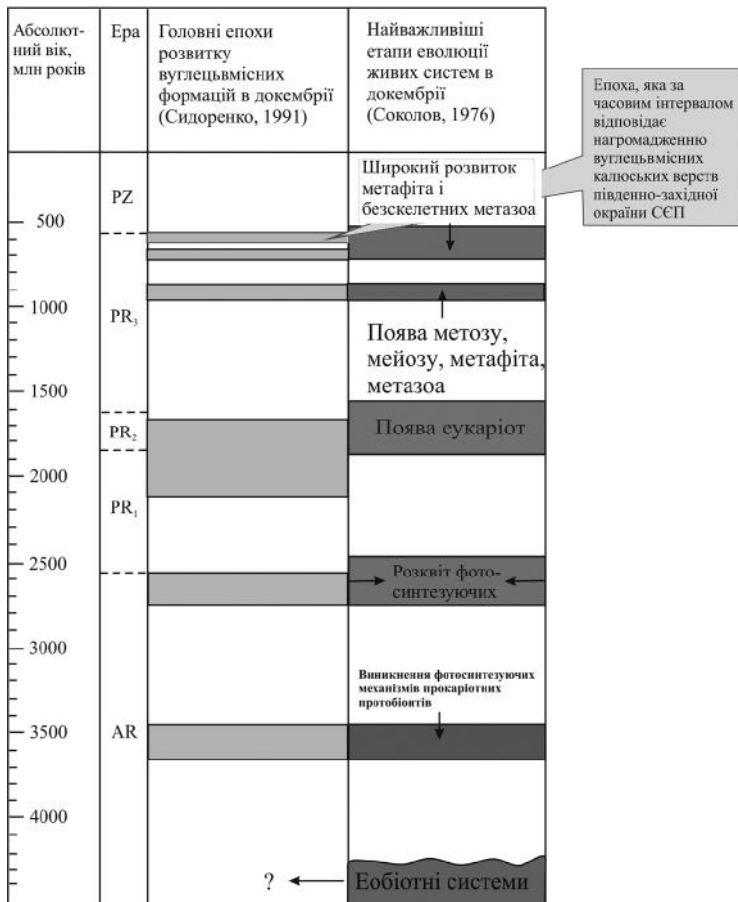


Рис. 3. Епохи формування вуглецьвмісних формацій в докембрії [4]

тогазоматеринських нашарувань та оцінювати за цією ознакою перспективи нафтогазоносності відповідних регіонів.

Калюські верстви представлені тонкошаруватими темно-сірими до чорних аргілітами, які складені глинистими мінералами – гідрослюдою (іліт), незначною кількістю хлориту і каолініту, та уламковим матеріалом (3–15%) алевритової розмірності – біотитом, хлоритом та зрідка польовим шпатом. Мінерали важкої фракції представлені цирконом, турмаліном, рутилом. З аутигенних мінералів встановлено гідроксиди заліза та марганцю, анатаз, брукіт, поодинокі зерна глауконіту. В середній частині калюських верств трапляються малопотужні (1–50 мм) лінзо- і жилоподібні тіла епігенетичних карбонатних утворень з текстурою "конус у конусі". Вони залягають узгоджено щодо шаруватості порід або січуть їх під невеликим кутом. З калюськими верствами пов'язана фосфатна

мінералізація. Конкреційні фосфорити в цих верствах залягають у вигляді окремих шарів, згідних з нашаруванням. Максимальна кількість цих шарів (рівнів) концентрації фосфоритів досягає 12 [3]. Конкреційні фосфорити верхніх рівнів характеризуються спорадичною поліметалевою мінералізацією. Галеніт, сфалерит або халькопірит, а також продукти їх вивітрювання заповнюють порожнечу і каверни в ядрах фосфоритових конкрецій. У фосфоритах нижніх рівнів відсутні сульфід свинцю, міді та цинку.

Підвищений вміст органічного вуглецю ( $C_{org} \geq 1\%$ ) у верхньовендських аргілітах Волино-Подільської монокліналі зумовлений наявністю в цих породах обвуглених решток водоростей – вендотенід і аморфних бітумінозних утворень, супутником яких є лінзоподібні скупчення тонких кульок піриту розміром 0,01 мм [2]. Збереженість рослинного матеріалу в досліджуваних по-

родах різноманітна – від крупних добре збережених фрагментів стрічко- і кіркоподібних водоростей завдовжки 10–15 см до детриту. На площинах нашарування порід спостерігаються численні темно-коричневі до чорних плями бітумоподібної речовини, яка просочує породу і в якій іноді трапляються фрагменти вендотенід. Встановлено [9], що форменні мікрорештки зосереджені лише на двох рівнях у калюських верствах. У нижній частині нижнього з них (потужність 0,3–0,4 м) М. Б. Гниловська [5] встановила численні рештки добре збережених вендотенід всіх чотирьох форм виду *Vendotaenia antiqua* (*V. antiqua forma tertia*, рідше *V. antiqua f. secunda*, *V. antiqua f. prima*, *V. antiqua f. quarta*). Між цими прошарками залягає 20-метрова товща, яка або зовсім не містить рослинних решток, або вони трапляються у вигляді рідкісних спорадичних відбитків нитчастих гілчастих водоростей. У верхній частині калюських верств

фіксується другий рівень (3,5–5,0 м) з рослинними рештками, серед яких близько 80% складають *Vendotaenia antiqua f. tertia*, рідше трапляється *V. antiqua f. quarta*, одиничні фрагменти можуть бути віднесені до *V. antiqua f. secunda*. Численні знахідки фіто-решток у калюських відкладах є свідченням підвищеної біопродуктивності в досліджуваному палеобасейні, а також сприятливих умов для фосилізації цих фітокомпонентів.

Аргіліти калюських верств у середньому містять 0,5–1% органічного вуглецю. Згідно із класифікацією [18], такі породи відносяться до низьковуглецевих (1–3%), що утворилися в сприятливому середовищі для захоронення вуглецьвмісної органічної речовини. Вміст у породах бітумоїдів – хлороформного бітумоїда А (ХБА) та додатково вилученого спиртобензольного бітумоїда А (ДСББА) – так само, як і  $C_{орг}$ , знаходиться в прямій залежності від умов осадконагромадження, в тому числі і геохімічних. Дані середнього вмісту ХБА (0,05–0,125%), ДСББА (0,03–0,07%) та  $C_{орг}$  (0,5–1%) [8] дають підстави вважати, що формування "чорних сланців" калюських утворень відбувалося у відновній геохімічній обстановці.

Встановлені параметри органічної речовини досліджуваних порід, зокрема нерозчинного залишку органічної речовини: С – 63,4% та Н – 8,72%; відношення ХБ/ДСББ, яке в середньому становить 1,2, та середнього вмісту масел в ХБА – 40% [8], згідно з даними робіт [8, 10], дозволяють стверджувати, що чорні породи калюських верств, незважаючи на їхній давній геологічний вік, не зазнали значних постседиментаційних змін і знаходяться на стадії протомезокаатагенезу (фаза  $PK_2$ – $MK_1$  [1]).

Аргіліти калюських верств було досліджено методом піролізу Rock-Eval (див. таблицю); вміст органічного вуглецю в них – 0,25%. Отже, при такому значенні цього параметра важко говорити про потенційні нафтогазогенеруючі властивості досліджуваних порід. Параметри  $S_1$  (вміст вільних вуглеводнів) і  $S_2$  (нафтогенераційний потенціал) демонструють невеликі значення – відповідно 0,07 і 0,44 мг вуглеводнів/г породи. Проте, згідно з наведеними в літературі даними [8], вміст  $C_{орг}$  в аргілітах іноді перевищує 1%. Низка інших параметрів піролізу дозволяє визначити генетичний тип ор-

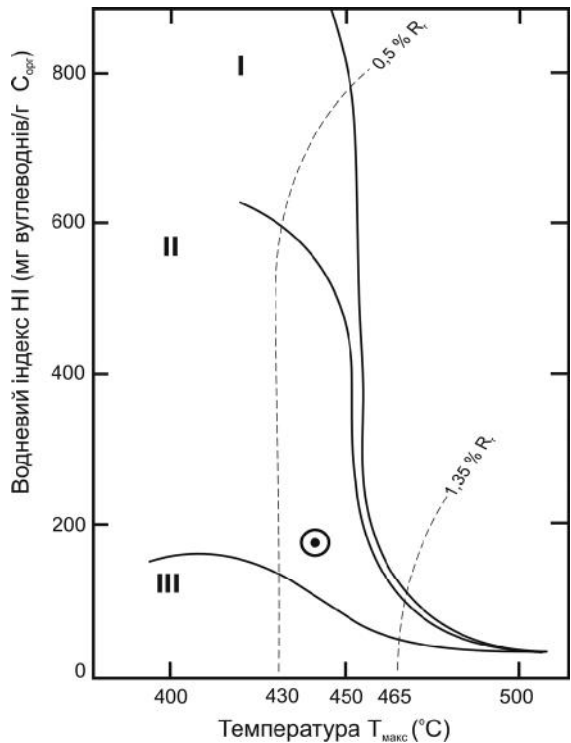


Рис. 4. Діаграма HI –  $T_{макс}$  для зразка аргіліту з калюських "чорносланцевих" відкладів південно-західної окраїни СЄП (відслонення біля с. Лядова)

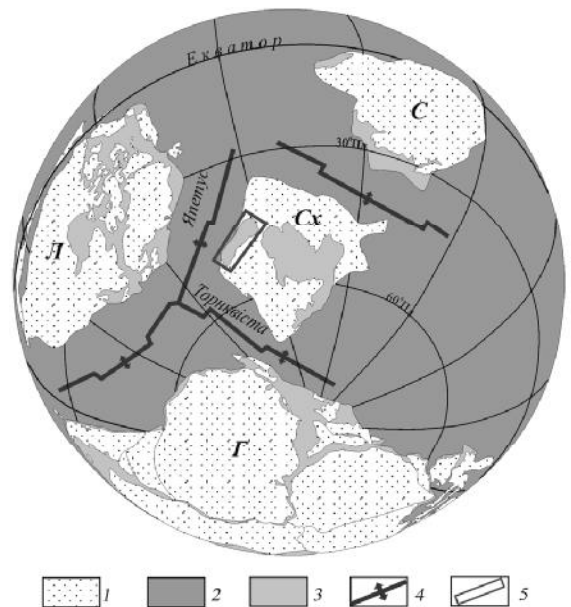


Рис. 5. Схема реконструкції континентів і океанів (пізній венд) [13]

1 – континенти; 2 – пелагіаль; 3 – епіпелагіаль; 4 – серединно-океанічні хребти; 5 – район досліджень: Волино-Подільський сегмент континентальної окраїни Палеотетиса

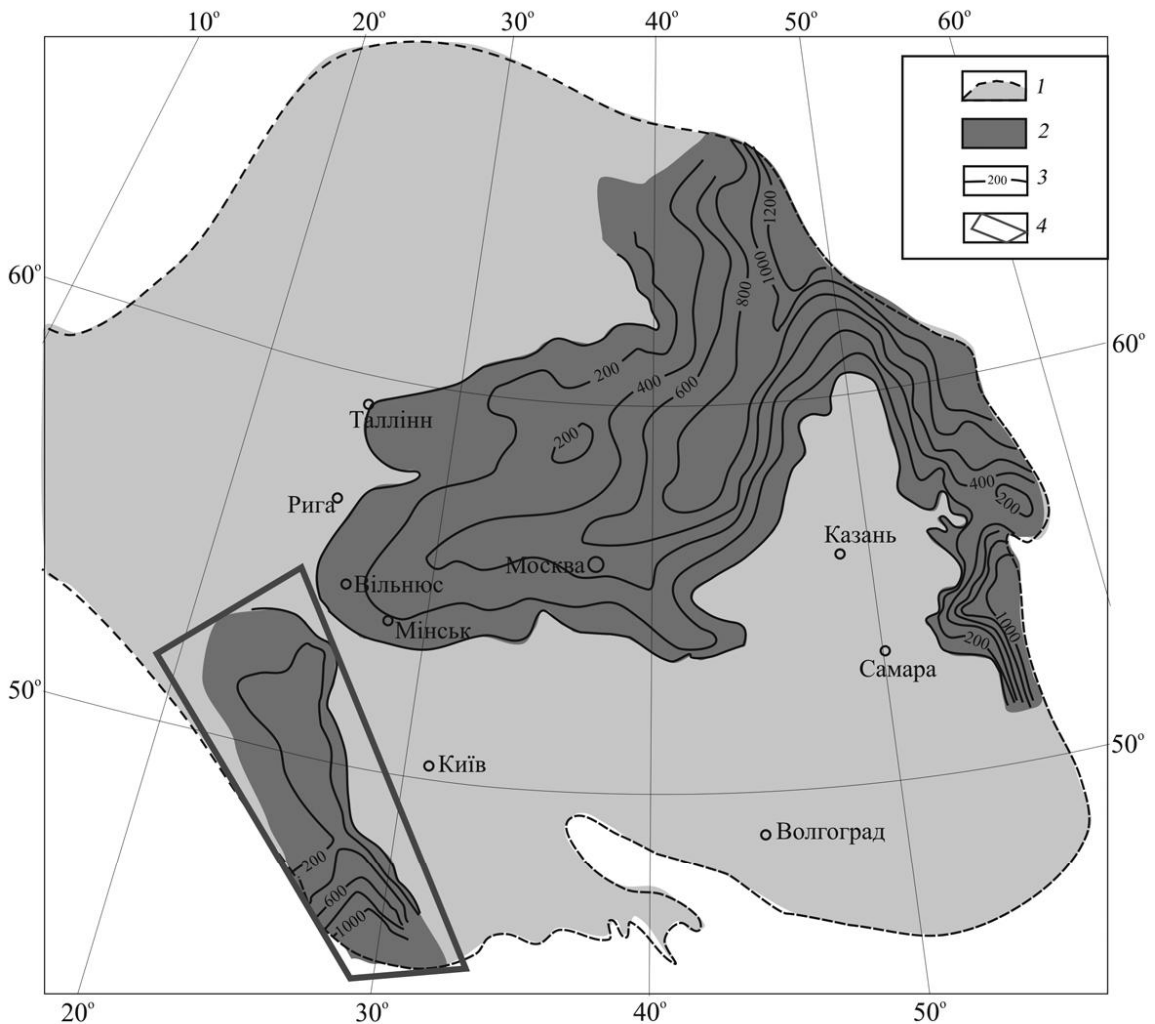


Рис. 6. Карта-схема потужностей верхнього венду в межах СЄП [15]

1 – межі СЄП; 2 – поширення відкладів верхнього венду; 3 – ізопіси; 4 – район досліджень

### Результати піролізу Rock-Eval зразка аргіліту калюських верств вендського віку з відслонення с. Лядова

Місце відбору проби	$T_{\max}$ , °C	$S_1$	$S_2$	PI	$C_{\text{орг}}$	HI мг вуглеводнів/г $C_{\text{орг}}$
		мг вуглеводнів/г породи				
Відслонення с. Лядова	441	0,07	0,44	0,14	0,25	176

ганічної речовини та ступінь її термальної зрілості.

На діаграмі HI –  $T_{\max}$  видно (рис. 4), що породи калюських верств містять кероген типу II, тобто морського походження, який характерний для більшості нафтоматеринських порід світу. Значення параметра  $T_{\max}$  – 441°C вказує, що на шляху своєї термальної еволюції відклади калюських верств

досягли "нафтового вікна". Діаграма  $T_{\max}$  – HI демонструє, що ступінь перетвореності керогену відповідає верхній частині зони утворення нафти, тобто ці породи належать до стадії мезокатагенезу. Досить високе значення водневого індексу HI – 176 мг вуглеводнів/г  $C_{\text{орг}}$  підтверджує, що генераційний потенціал досліджуваних порід реалізований лише незначною мірою. Отже, за наяв-

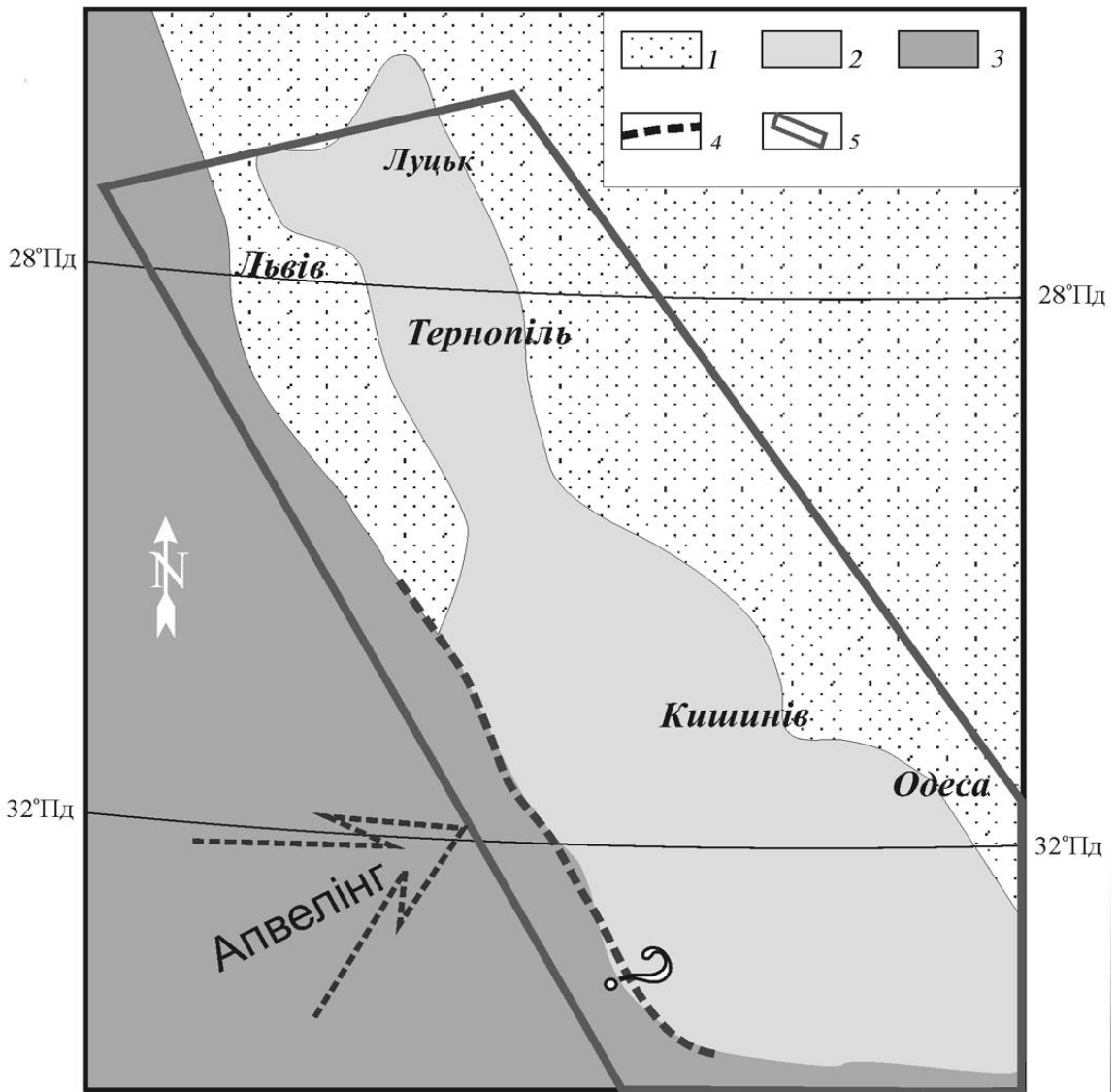


Рис. 7. Палеоокеанографічна ситуація седиментації фосфато-"чорносланцевих" нашарувань. Подільсько-Молдовський сегмент континентальної окраїни, венд. Склали: Ю. М. Сеньковський, Н. Я. Радковець з використанням матеріалів робіт [2, 15]

1 – осадові відклади; 2 – епіпелагіаль (шельф); 3 – пелагіаль; 4 – бровка шельфу; 5 – район досліджень

ності в регіоні порід з більшим вмістом  $C_{org}$  і дещо вищого ступеня термальної зрілості керогену можна припустити можливість існування процесів генерації рідких вуглеводнів в давніх "чорносланцевих" відкладах південно-західного краю СЄП.

Органічна складова калюських чорносланцевих нашарувань – тріада  $C_{org}$  – P – N – відіграла вагомий роль у процесі седиментогенезу, що вказує на певні умови як осадконагромадження, так і подальшої літифікації

цих утворень, що були спричинені багатьма факторами:

- тектонічними умовами розвитку басейну седиментації;
- кліматичними умовами;
- умовами надходження біогенів у морський басейн седиментації;
- обстановкою нагромадження, стагнації та захоронення  $C_{org}$  і фосфору в осадах.

Аналіз перелічених вище факторів є ключем для розкриття складної історії давнього

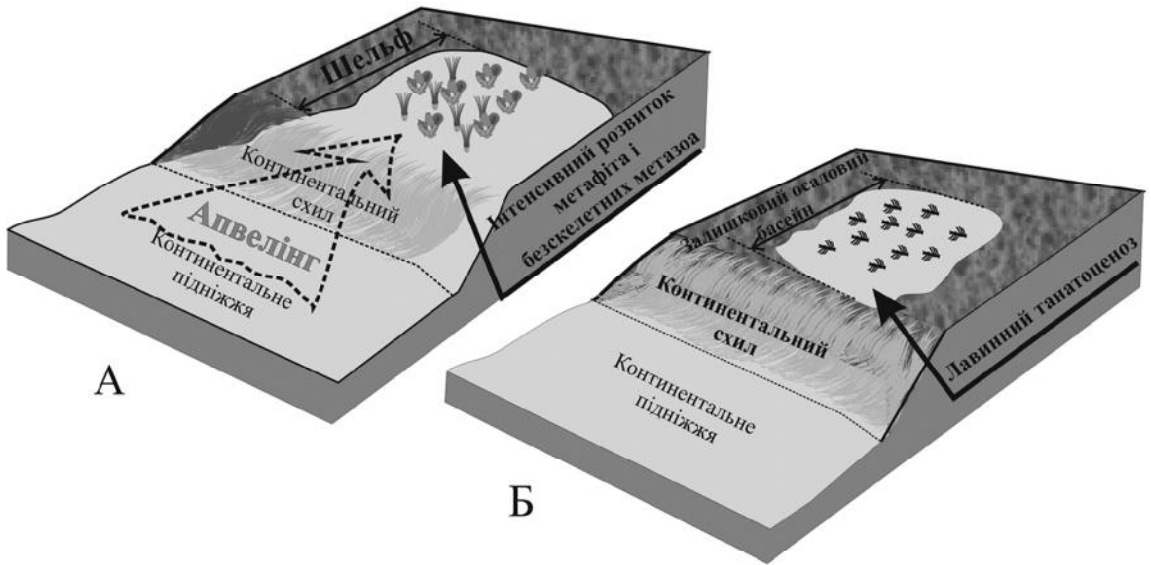


Рис. 8. Моделі пізньовендського осадонагромадження (Волино-Подільський сегмент континентальної окраїни Тетиса): А – в умовах зв'язку з динамічною системою палеоокеану; Б – в умовах регресії. Склала Н. Я. Радковець

седиментогенезу та постседиментаційних процесів на прикладі калюських нашарувань верхнього венду України.

Згідно з палеореко́нструкціями положення материків в докембрії [20], Східно-Європейський кратон в період 570–540 млн років тому знаходився на південь від екватора в палеоширотах близько 45–55° і омивався водами Світового океану (рис. 5). За палеотемпературними ізотопними даними [12] середньодобова температура поверхні води морів у той час сягала 35–40°C, а клімат загалом відзначався азональністю.

Пізньобайкальська орогенічна епоха ознаменувалася істотною перебудовою структурного плану давніх кратонів, зокрема і Східно-Європейського. Внаслідок цієї перебудови морська трансгресія у вендському періоді спричинила покриття плитними епіконтинентальними морями значної частини території платформ північної Євразії [12]. Поширення верхньовендських відкладів та їх потужності в межах СЄП є прямим підтвердженням цього (рис. 6).

Відклади верхнього венду – калюські верстви нагромаджувалися в могилів-подільський час, який став одним з важливих рубежів у пізньому докембрії для Східно-Європейського кратону, зокрема його південно-західної окраїни. Згідно з даними роботи [17], цей проміжок геологічного часу

відповідає початку формування Дністровського перикратону. Сформований у межах перикратону Подільсько-Молдовський осадовий басейн являв собою епіконтинентальну водойму, тісно пов'язану з динамічною системою пра-Палеотетиса (рис. 7).

Характерною особливістю верхньовендських відкладів є парагенез фосфатів і вуглецевої органічної речовини. Лавинне випадання сполук фосфору та органічного вуглецю було зумовлене дією приберегового апвелінгу. Отже, фосфорити калюської "чорносланцевої" товщі слід розглядати як характерні індикатори давніх хіміко-палеоокеанографічних умов пізньовендського седиментогенезу Подільсько-Молдовського сегменту континентальної окраїни пра-Палеотетиса [14]. Так, згідно з даними роботи [15] (рис. 8, А) під дією приберегового апвелінгу глибинні океанічні води, збагачені Р, N, C<sub>орг</sub>, проникали в зону епіпелагіалі, спричиняючи бурхливий розвиток рослинних організмів і безскелетних метазоа.

Як відомо, в сучасних зонах апвелінгу тривалий розлад в їх гідродинамічних системах (зміна напрямків тропосферних течій, коливання рівня Світового океану і т. п.) зумовлює незворотні і катастрофічні наслідки, а саме масове вимирання більшої частини зоо- та фітопопуляцій. Це дає підстави вважати, що подібний процес відбувався в

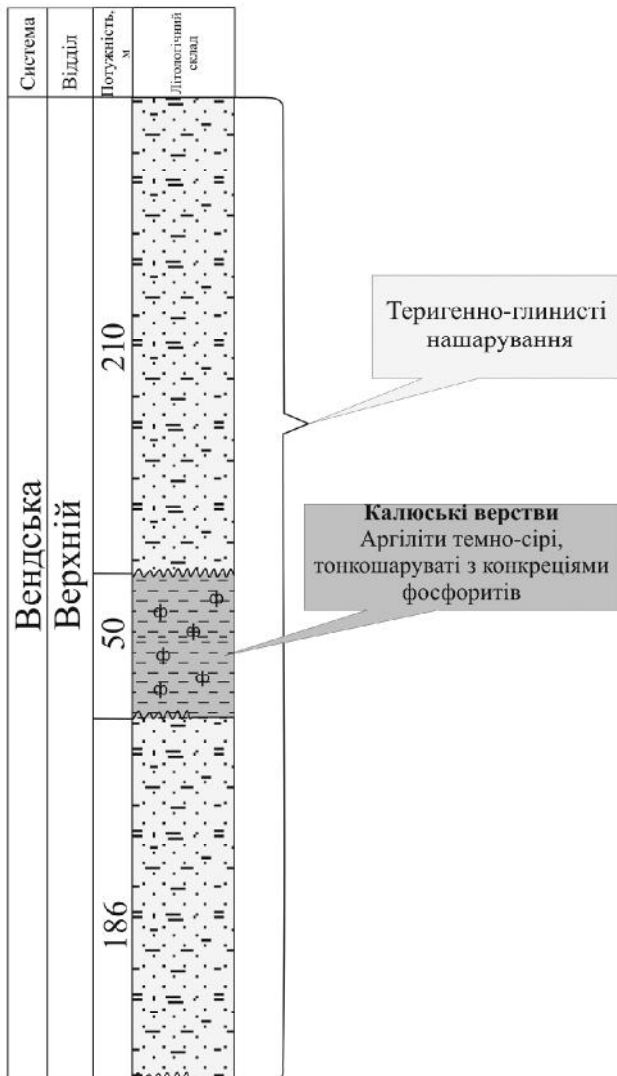


Рис. 9. Схематичний літологічний розріз калюських верств (верхній венд) Подільського схилу СЄП. Склала Н. Я. Радковець з використанням матеріалів роботи [18]

пізньовендському калюському басейні. Так, внаслідок закриття Дністерського прогину припинився зв'язок з динамічною системою океану (рис. 8, Б). Волино-Подільський басейн, зазнавши регресії, став внутрішньо-континентальним, поступово зменшуючи свої акваторії, що призвело до виведення осадової товщі в зону гіпергенезу. Вплив тектонічної перебудови Дністровського перикратону на седиментаційні процеси було підтверджено літолого-стратиграфічними дослідженнями верхньовендської товщі Подільського схилу СЄП [6]. Як видно із схематичного літологічного розрізу (рис. 9), у

післякалюський час фіксується перерва в осадконагромадженні. В результаті цього калюські верстви зазнали едафогенного, місцями гіпергенного впливу, а в їх покрівлі утворилася своєрідна кора вивітрювання – зона освітлених аргілітів потужністю до 3 м. Цей процес особливо виразно проявився на локальних підняттях (села Сокілець, Миньківці, Велика Кужелева та ін. [2]).

## Висновки

Вивчення процесів давнього седиментогенезу в межах Подільсько-Молдовського сегменту континентальної окраїни пра-Палеотетиса дозволило встановити, що формування верхньовендських "чорносланцевих" фосфоритоносних відкладів південно-західної окраїни СЄП відбулося внаслідок давньої "аноксичної океанічної події", спричиненої дією прибережного апвелінгу. Цю "аноксичну подію", яка зафіксувалася в літологічному літописі калюських верств венду, автори індексують як ОАЕВ і вважають, що описані "чорносланцеві" фосфоритоносні відклади верхнього венду, що відслонюються в межах Середньої Наддністрянщини, є її геолого-геохімічним еталоном.

1. *Вассоевич Н. Б.* Стадии литогенеза // Справочник по литологии. – М.: Недра, 1983. – С. 85–96.
2. *Великанов В. А., Асеева Е. А., Федонкин М. А.* Венд Украины. – Киев: Наук. думка, 1983. – 164 с.
3. *Виржиківський Р. Р.* Геологічна мапа України, планшети XXVI-6 і XXVII-6 (Наддністрянщина: Могилів-Ямпіль). – К., 1933. – 220 с.
4. *Геворк'ян В. Х., Батурич Г. Н., Чугунний Ю. Г.* Фосфорити и фосфатизированные породы Атлантического и Индийского океанов. – Киев: Наук. думка, 1990. – 188 с.
5. *Гниловская М. Б.* Вендотениды // Палеонтология верхнедокембрийских и кембрийских отложений Восточно-Европейской платформы. – М.: Наука, 1979. – С. 39–48.
6. *Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуші М-35-XXVIII (Бар), М-35-*



- XXXIV (Могилів-Подільський) (в межах України). Пояснювальна записка. – К.: М-во охорони навколиш. природ. середовища України; Держ. геол. служба; УкрДГРІ, 2007. – 206 с.
7. *Докембрийская* геология СССР / Отв. ред. Рундквист Д. В., Митрофанов Ф. П. – Л.: Наука, 1988. – 440 с.
  8. *Зелізна С. Т., Плакса Я. П., Фільц Д. І.* Бітумінологічне дослідження миньковецьких відкладів Придністров'я // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1971. – Вип. 25. – С. 79–86.
  9. *Ищенко А. А.* К характеристике вендской водорослевой флоры Приднестровья // Стратиграфия и формации докембрия Украины: Сб. науч. тр. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 181–206.
  10. *Корчагина Ю. И., Четверикова О. П.* Методы исследования рассеянного органического вещества осадочных пород. – М.: Недра, 1976. – 229 с.
  11. *Палий В. М.* Остатки бесскелетной фауны и следы жизнедеятельности из отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Подолии // Палеонтология и стратиграфия верхнего докембрия и нижнего палеозоя юго-запада Восточно-Европейской платформы. – Киев: Наук. думка, 1976. – С. 63–77.
  12. *Салоп Л. И.* Геологическое развитие Земли в докембрии. – Л.: Недра, 1982. – 343 с.
  13. *Сеньковский Ю. Н., Глушко В. В., Сеньковский А. Ю.* Фосфориты запада Украины. – Киев: Наук. думка, 1989. – 144 с.
  14. *Сеньковский Ю. М., Григорчук К. Г., Гнідець В. П., Колтун Ю. В.* Геологічна палеоокеанографія океану Тетис. – К.: Наук. думка, 2004. – 172 с.
  15. *Сеньковский Ю. М., Григорчук К. Г., Гнідець В. П. та ін.* Карпато-Чорноморський сегмент океану Тетис. Процеси седиментогенезу в періоди "океанічних безкисневих подій" // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2006. – № 3–4. – С. 76–95.
  16. *Сидоренко Св. А.* Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии. – М.: Наука, 1991. – 104 с. – (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 463).
  17. *Тектонічна* карта України. Масштаб 1:1 000 000. Пояснювальна записка. Ч. 1. – К.: УкрДГРІ, 2007. – 96 с.
  18. *Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Геохимия черных сланцев. – Л.: Наука, 1988. – 272 с.
  19. *Gradstein F., Ogg F., Smith A.* A Geological Time Scale. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 589 p.
  20. *Torsvik T. H., Muller R.. D., Van Der Voo R. et al.* Global plate motion frames: Toward an unified model // Reviews of Geophysics. – 2008. – № 46. – P. 1–44.

<sup>1</sup>Ін-т геології і геохімії  
горючих копалин НАН України,  
Львів  
E-mail: spgk100@gmail.com

Стаття надійшла  
19.10.11

<sup>2</sup>Президія НАН України,  
Київ  
E-mail: paliy@nas.gov.ua