

## Utwory najwyższego ediakaru i najniższego kambru basenu lubelsko-podlaskiego jako potencjalne skały macierzyste dla węglowodorów

Jolanta Paczeńska<sup>1</sup>, Paweł Poprawa<sup>1</sup>, Michał Żywiecki<sup>2,3</sup>, Izabella Grotek<sup>1</sup>,  
Halina Poniewierska<sup>4</sup>, Marian Wagner<sup>4</sup>



J. Paczeńska



P. Poprawa



M. Żywiecki



I. Grotek



H. Poniewierska



M. Wagner

**The uppermost Ediacaran to lowermost Cambrian sediments of the Lublin-Podlasie Basin as a potential source rock formation for hydrocarbons.** *Prz. Geol.*, 53: 499–506.

*Summary.* In the present contribution we examine possible role of deposits of the Białopole, Lublin, Włodawa and Mazowsze Formations (uppermost Ediacaran to lowermost Cambrian), as well as their presumed lateral equivalents, developed in the Lublin-Podlasie region as a potential source rock for hydrocarbons. The analysed sediments contain marine kerogen of algal and cyanobacterial origin, i.e., predominantly oil prone. In some parts of the analysed area recent TOC could reach 0.65%, however, primary TOC could be significantly higher, as it is indicated by relatively high maturity of the hydrocarbons. Quality of potential source rock increases towards SW. The analysed potential source rock could be, at least partly, responsible for oil and gas shows, commonly observed in the Lower and Middle Cambrian sandstone horizons.

**Key words:** Lublin-Podlasie Basin, Ediacaran, Cambrian, potential source rock for hydrocarbons

W niniejszej pracy przedstawiono przesłanki umożliwiające uznanie ilasto-mułowcowych pakietów, w obrębie utworów najwyższego ediakaru i najniższego dolnego kambru basenu lubelsko-podlaskiego, za potencjalne skały macierzyste dla węglowodorów. Ewentualne wykazanie, iż badane utwory były efektywną skałą macierzystą dla węglowodorów określiliby je jako najstarsze w Polsce (por. np. Karmkowski, 1993) oraz jedno z nielicznych, prekambryjskich skał macierzystych w świecie (por. np. Hussein & Hussein, 1990; Brasier, 1995; Hunt, 1996). Przeprowadzona tu dyskusja opiera się na ograniczonej bazie analitycznej, na którą składają się dane publikowane, reinterpretowane opracowania archiwalne oraz badania własne. Obecnie są prowadzone w tym zakresie dalsze, szczegółowe badania, zatem przedstawione tu konkluzje należy uznać jedynie za wstępne.

Obszar badań obejmuje lubelsko-podlaski skłon kratonu wschodnioeuropejskiego; w szczególności wyznaczony jest on przez lokalizację otworów wiertniczych, nawiercających osady najwyższego neoproterozoiku i dolnego kambru (ryc. 1). W rejonie tym omawiane, potencjalnie macierzyste dla węglowodorów utwory są reprezentowane przez osady formacji białopolskiej i lubelskiej (najwyższy ediakar), włodawskiej (najwyższy ediakar–najniższy dolny kambur) i mazowieckiej (najniższy dolny kambur) (ryc. 2). Utwory te deponowane były w basenie o genezie ryftowej,

którego faza aktywnej ekstensji przypadać mogła na późny neoproterozoik i najwcześniejszy kambur, etap zaś poryftowej subsydencji termicznej na okres od wczesnego kambru do środkowego ordowiku (Poprawa & Paczeńska, 2002).

Omawiane utwory potencjalnie macierzyste dla węglowodorów stanowią najniższą część pokrywy osadowej kratonu wschodnioeuropejskiego w rejonie lubelsko-podlaskim. W wyższej części profilu dolnopaleozoicznego rolę skał potencjalnie macierzystych spełniać mogą również ilowcowe utwory górnego ordowiku oraz kilkusetmetrowej miąższości mułowcowo-iłowcowo-margliste utwory syluru, zwłaszcza wenloku i ludlowu (Calikowski, 1972; Wilczek, 1985; Stolarczyk i in., 1997; Klimuszko, 2002).

Istotną przesłanką, sugerującą, iż w obrębie kompleksu utworów najwyższego ediakaru i najniższego kambru występują skały macierzyste są objawy węglowodorów, stwierdzone w utworach tego kompleksu oraz w piaszczystych poziomach dolnego kambru (Depowski, 1962; Areń & Depowski, 1965; Depowski & Królicka 1964; Kaczyński, 1984; Karmkowski, 1993; Stolarczyk i in., 1997). Jako że w nadkładzie utworów tego kompleksu występuje szeroko rozprzestrzeniony poziom uszczelniający (Stolarczyk i in., 1997), jest mało prawdopodobne iż obserwowane objawy pochodzą z potencjalnie macierzystych utworów ordowiku czy syluru. Wniosek powyższy nie dotyczy natomiast objawów węglowodorów stwierdzanych w utworach środkowego kambru.

### Środowiska depozycji

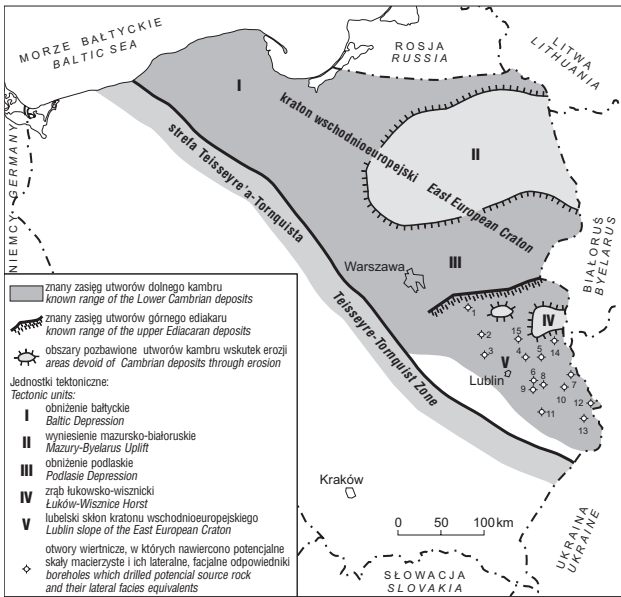
Na podstawie analizy facjalnej górnodiakarsko-dolnokambryjskich utworów formacji białopolskiej, lubelskiej, włodawskiej i mazowieckiej wstępnie stwierdzono, iż niektóre partie w obrębie sekwencji tych osadów można brać pod uwagę jako potencjalne skały macierzyste dla

<sup>1</sup>Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; jolanta.paczesna@pgi.gov.pl; pawel.poprawa@pgi.gov.pl; izabella.grotek@pgi.gov.pl

<sup>2</sup>Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; m.m.zywiecki@uw.edu.pl

<sup>3</sup>OG Petroleum Consulting, ul. A. Grottera 5A/6, 00-785 Warszawa; zywiecki@ogpcon.com

<sup>4</sup>Zakład Geologii Żłóż Węgla, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; wagner@geol.agh.edu.pl



**Ryc. 1.** Lokalizacja analizowanych otworów wiertniczych w obszarze lubelsko-podlaskim, w których nawiercono potencjalne skały macierzyste i ich lateralne, facjalne odpowiedniki na tle mapy ukazującej znany zasięg utworów górnego ediakaru i dolnego kambru. Otwory wiertnicze: 1 — Radzyń IG-1; 2 — Parczew IG-10; 3 — Tarkawica 3; 4 — Krowie Bagno IG-1; 5 — Kaplonosy IG-1; 6 — Busówno IG-1; 7 — Roskosz 1; 8 — Niwa 1; 9 — Święcica 1; 10 — Białopole IG-1; 11 — Łopiennik IG-1; 12 — Horodło 1; 13 — Terebiń IG-5; 14 — Wisznice IG-1; 15 — Podedwórze IG-2

**Fig. 1.** Location of the analyzed boreholes (1–15) of the Lublin-Podlasie regions which drilled potential source rock and their lateral facies equivalents against a sketch — map showing known range of the upper Ediacaran and Lower Cambrian deposits and their lateral facies equivalents

węglowodórów. Przesłankę ku temu stanowiła obecność w obrębie tych utworów pakietów ciemnych iłowców (formacja białopolska, włodawska i mazowiecka) oraz bardzo cienko-warstwowanych heterolitów piaskowco-mułowcowo-iłowcowych w formacji lubelskiej (np. Areń & Lendzion, 1978; Jaworowski, 1978; Paczeńska, 1996). Dla stref, w których omawiane utwory zostały rozpoznane wierceniami, tj. głównie dla obszaru na północno-wschód od rozłamu Kocka, stwierdzono brakiczne środowiska sedymentacji. Stanowią je zarówno sekwencje lagunowo-pływowe w obrębie formacji białopolskiej, lubelskiej i włodawskiej (Paczeńska, 1996), jak i środowiska otwartego przybrzeża w obrębie formacji mazowieckiej w basenie podlaskim (Paczeńska, 2001). Jaworowski (1997) wspomina o prawdopodobnej depozycji utworów formacji lubelskiej w słonych bagnach.

W przypadku formacji lubelskiej na złe natlenienie zbiornika i ograniczoną cyrkulację wód wskazuje bardzo mała, nie przekraczająca 1 mm średnica kanałów osadozerców (ryc. 3) (por. Ekdale & Mason, 1988) oraz bardzo niskie zróżnicowanie etologiczne i ichnotaksonomiczne zespołu skamieniałości

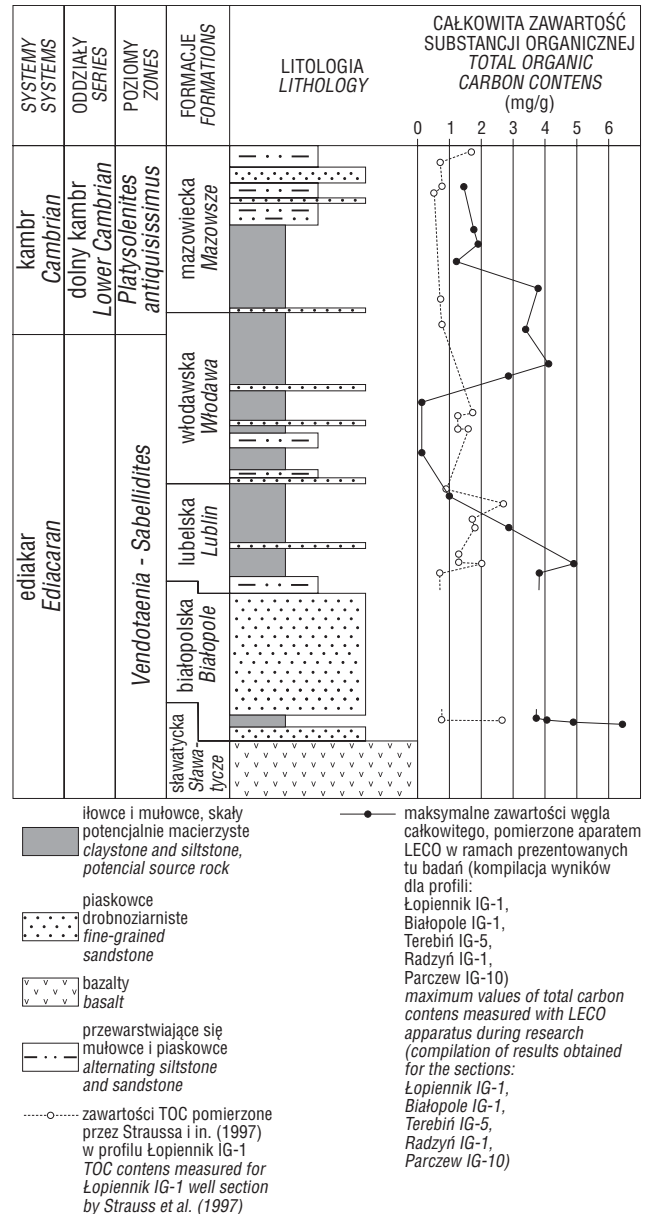
**Ryc. 2.** Przykładowy profil ediakaru i dolnego kambru basenu lubelskiego (głównie w oparciu o profil otworu Łopiennik IG-1) z zaznaczoną pozycją potencjalnych skał macierzystych

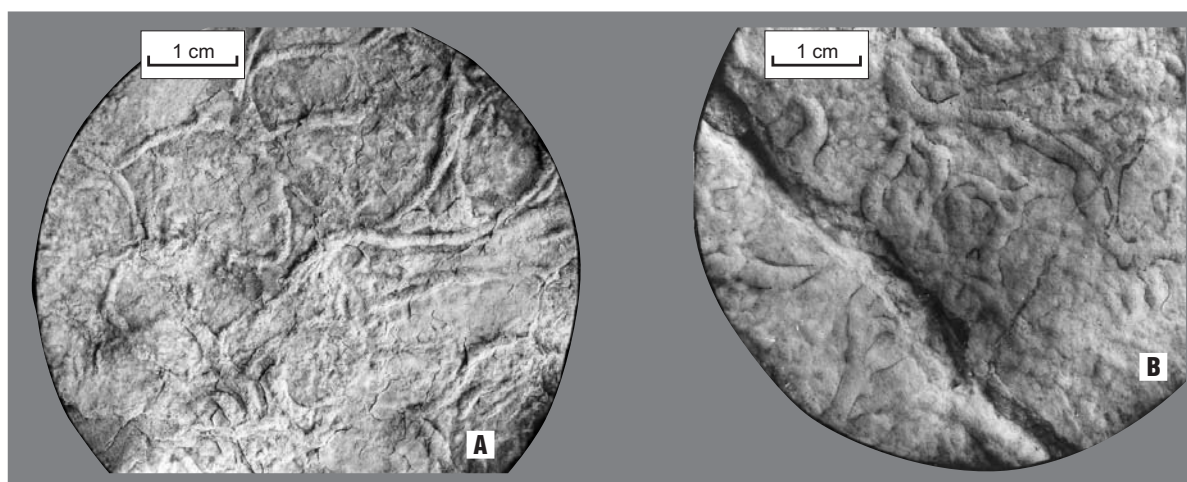
**Fig. 2.** An example of the Ediacaran and Lower Cambrian succession of the Lublin Basin (mainly based on profile of the Łopiennik IG-1 well) showing position of potential source rock

śladowych (Paczeńska, 1986, 1996). W utworach formacji włodawskiej ichnofauna występuje sporadycznie, natomiast w utworach formacji białopolskiej nie stwierdzono jej obecności, co można wiązać z niesprzyjającymi warunkami środowiskowymi dla egzystencji twórców śladów.

Wyniki przeprowadzonych dotychczas badań z zakresu geochemii izotopów stabilnych nie pozwalają jednoznacznie rozstrzygnąć charakteru środowiska depozycyjnego omawianych utworów. Analizy trwałych izotopów siarki z diagenetycznych piryty, wykazujące wartości  $\delta^{34}\text{S}$  od +7 do +48‰ CDT (Bottomley i in., 1992), mogą sugerować warunki redukcyjne środowiska sedymentacji osadów z substancją organiczną, aczkolwiek jedynie przy założeniu nietypowego składu izotopów siarki w wodzie morskiej w późnym neoproterozoiku i wczesnym kambrze oraz zamkniętych warunków geochemicznych systemu siarkowego. Najwyższe spośród wartości  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  izotopów trwałych węgla organicznego, które zawierają się w zakresie od -34,4 do -24,9‰ PDB (Strauss i in., 1997), wydają się korelować z występowaniem warunków redukcyjnych, sugerowanych przez najniższe wartości spośród wyników powyżej wspomnianych analiz izotopów siarki.

Biorąc pod uwagę wyżej omówione czynniki oraz fakt, iż jakość i miąższość potencjalnie macierzystych dla węglowo-





**Ryc. 3.** Drobne, o małej średnicy kanały żerowiskowo-mieszkalne oportunistycznych osadożerców, zasiedlających, niedotlenione środowisko. **A** — *Torrowangea rosei* Webby, otwór Terebiń IG-5, gł. 3721,0 m, **B** — *Planolites montanus* Richter, otwór Łopiennik IG-1, gł. 5426,2 m. A–B: formacja lubelska, najwyższy ediakar, poziom *Vendotaenia-Sabellidites*

**Fig. 3.** Very small diameter feeding-dwelling burrows of opportunistic deposit-feeders occupying high-stress, poorly oxygenated environment. **A** — *Torrowangea rosei* Webby, Terebiń IG-5 borehole, depth 3721.0 m, **B** — *Planolites montanus* Richter, Łopiennik IG-1 borehole, depth 5426.2 m. A–B: Lublin Formation, uppermost Ediacaran, *Vendotaenia-Sabellidites* Zone

dorów osadów najwyższego ediakaru i najniższego kambru wzrasta ku SW, głównej kuchni naftowej należałoby oczekiwać w podłożu południowej części rowu lubelskiego i dalej ku SW. W tej strefie środowiska depozycji omawianych utworów mogły być nieco odmienne niż opisane powyżej. W szczególności oczekiwać można tu ewentualnie osadów otwartego morza, o zwiększonej zawartości substancji organicznej. W takim ujęciu ewentualnie występujące tu oboczne ekwiwalenty utworów formacji białopolskiej, lubelskiej, włodawskiej i mazowieckiej stanowiłyby zasadniczą formację macierzystą dla węglowodorów. Jednakże w podłożu południowej części rowu lubelskiego utwory najwyższego neoproterozoiku i najniższego kambru są pogrążone na dużych głębokościach i nie są nawiercone, zatem uniemożliwia to bezpośrednią weryfikację powyższego postulatu. W niniejszej pracy przyjęto, iż charakterystykę substancji organicznej, określaną w strefie rozpoznanej wierceniami, ekstrapolować można na wyżej wspomnianą, potencjalną, główną strefę generacji węglowodorów.

### Typ kerogenu

Określenie typu kerogenu potencjalnie macierzystych dla węglowodorów utworów wyższego ediakaru i najniższego kambru metodami analitycznymi jest trudne. Wiąże się to z tym, że w strefach, gdzie omawiane utwory cechują się podwyższoną zawartością materii organicznej, tj. w południowo-zachodniej części omawianego obszaru (np. ryc. 2), mają one jednocześnie bardzo wysoką dojrzałość termiczną. Z kolei we wschodniej i północno-wschodniej części obszaru badań, gdzie dojrzałość termiczna utworów wyższego ediakaru i najniższego kambru jest niższa, maleje równocześnie zawartość substancji organicznej. Stanowi to istotne ograniczenie, szczególnie dla laboratoryjnych analiz z zakresu geochemii organicznej, w tym dla analizy pirolitycznej oraz analizy biomarkerów.

Na obecnym etapie badań można jednak wskazać na kilka przesłanek, bezpośrednio bądź pośrednio pozwalających określić typ kerogenu omawianych utworów. Pierwszą z nich jest ewolucja biosfery na Ziemi w późnym prekambrze, przejawiająca się przede wszystkim rozkwitem fitoplanktonicznych organizmów, w tym w szczególności akritarch, sinic i eukariotycznych, fotosyntetyzujących glonów (ryc.

4), będących ówczynie podstawowymi producentami węgla organicznego. Organizmy te tworzyły kerogen o charakterystycznych, choć zmiennych w czasie, wartościach stosunku H/C do  $\delta^{13}C_{org}$ . Cechuje się on tendencją do wzrostu udziału lżejszych izotopów węgla w coraz młodszych osadach (ryc. 5A) oraz równoczesną tendencją do wzrostu wartości H/C (Schopf, 1994).

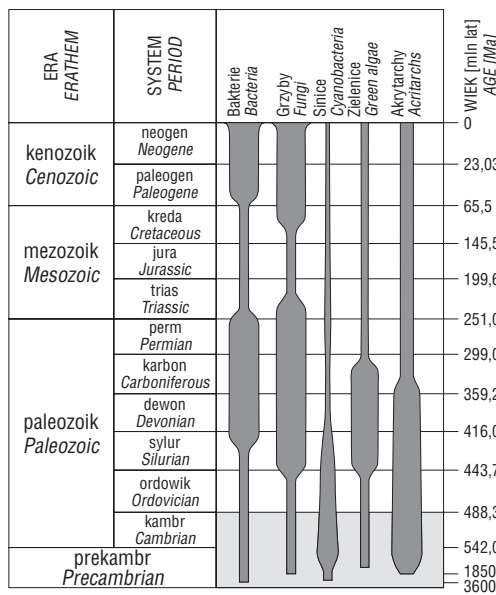
Wyniki analiz  $\delta^{13}C_{org}$  i H/C dla kerogenów, wyekstrahowanych z potencjalnie macierzystych utworów obszaru lubelsko-podlaskiego (Strauss i in., 1997; por. tab.1), odniesione do wykresu ich trendów w prekambrze i kambrze (ryc. 5A), wskazują iż są one izotopowo lżejsze od kerogenów paleoproterozoicznych i archaicznych. Wartości  $\delta^{13}C_{org}$  i H/C analizowanych tu utworów są zbliżone do ich równowiekowych odpowiedników, pochodzących z innych profili na świecie, w tym efektywnych skał macierzystych, co wskazuje że ich producentami były podobne grupy organizmów.

Współczesne eukariotyczne glony charakteryzują się wartościami  $\delta^{13}C_{org}$  podobnymi, jak w przypadku kerogenu analizowanych utworów, natomiast dzisiaj żyjące sinice są zdecydowanie izotopowo cięższe od analizowanego kerogenu (ryc. 5B). Przyjmując, iż współczesna charakterystyka izotopowa tych organizmów jest reprezentatywna dla ich prekambryjskich odpowiedników, założyć można iż głównymi prekursorami kerogenów z analizowanych utworów były glony.

**Tab. 1.** Stosunek H/C i wartości izotopów węgla organicznego dla ediakarańskich i kambryjskich kerogenów z otworu Białopole IG-1 (wg Strauss i in., 1997)

Table 1. H/C ratio and organic carbon isotope values for the Ediacaran and Cambrian kerogens from the Białopole IG-1 well (according to Strauss et al., 1997)

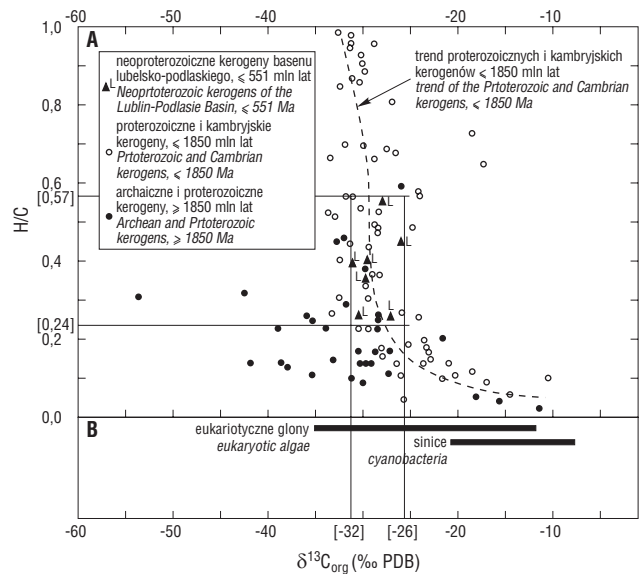
Formacja Formation	Głębokość Depth (m)	H/C	$\delta^{13}C$ (‰ PDB)
mazowiecka Mazowsze	2736,4	0,26	-27,7
	2789,0	0,40	-30,0
	2804,4	0,24	-32,5
włodawska Włodawa	2817,3	0,57	-27,9
	2836,5	0,33	-31,9
lubelska Lublin	2853,0	0,35	-29,9
	2885,2	0,45	-26,0



**Ryc. 4.** Główni producenci  $C_{org}$  w prekambrze i kambrze oraz okresy wysokiej produktywności fitoplanktonu w historii Ziemi (wg Tissot & Welte, 1984, zmienione wg Prothero & Dott, 2004). Geochronologia wg Gradsteina i in., 2004

**Fig. 4.** The main producers of  $C_{org}$  in the Precambrian-Cambrian and the periods of high phytoplankton productivity throughout geological time (according to Tissot & Welte, 1984, modified after Prothero & Dott, 2004). Geochronology according Gradstein et al., 2004

Jedną spośród metod określania genetycznego typu kerogenu, możliwych do zastosowania w przypadku silnie przeobrażonych termicznie utworów, jest analiza petrograficzna substancji organicznej na polerach w świetle odbitym. Analiza taka, przeprowadzona w odniesieniu do potencjalnie macierzystych dla węglowodorów, górno-ediakarańsko-dolnokambryjskich utworów basenu lubelsko-podlaskiego, potwierdza, iż w tym przypadku kerogen powstawał w dużym stopniu z substancji organicznej pochodzenia glonowego. Wskazuje na to częste występowanie asocjacji organiczno-mineralnej, bogatej w bitumin, którego źródłem są obserwowane powszechnie silnie zde-



**Ryc. 5. A** — wartości  $\delta^{13}C_{org}$  i H/C dla kerogenów wyizolowanych z archaicznych, proterozoicznych i kambryjskich osadów z różnych profili na świecie (według Schopfa, 1994) z naniesionymi wartościami H/C i  $\delta^{13}C_{org}$  dla kerogenów z neoproterozoiczno-kambryjskich osadów lubelskiego skłonu kratonu wschodnioeuropejskiego (wg Straussa i in., 1997). **B** — wartości  $\delta^{13}C_{org}$  dla współczesnych eukariotycznych glonów i sinic (wg Schopfa, 1994)

**Fig. 5. A** —  $\delta^{13}C_{org}$  values for kerogens isolated from Archean, Proterozoic and Cambrian sediments from several sections across the world (according to Schopf, 1994) with  $\delta^{13}C_{org}$  and H/C ratio values for the Ediacaran-Cambrian sediments of Lublin slope of the East European Craton (according to Strauss et al., 1997). **B** —  $\delta^{13}C_{org}$  values for recent eukaryotic algae and cyanobacteria (according to Schopf, 1994)

gradowane termicznie szczątki alginitu (ryc. 6E), bądź mat glonowych (ryc. 6A, D). Ich obecność zaznacza się szczególnie w próbkach z otworów Terebiń IG-5 oraz Łopiennik IG-1. Zaznaczyć należy jednakże, że silne przegrzanie i wysoki stopień dojrzałości (por. ryc. 6D, E) powoduje brak dobrze zachowanych form pierwotnego alginitu, z którego



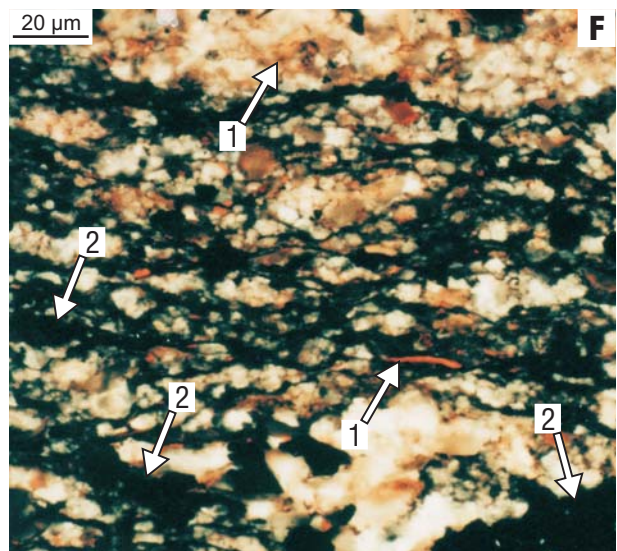
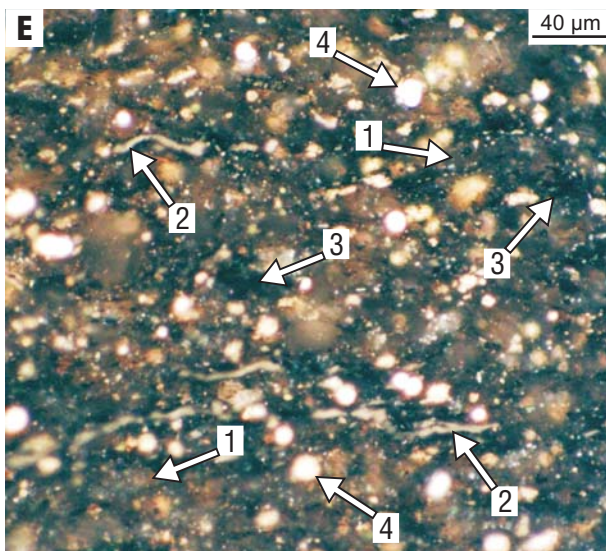
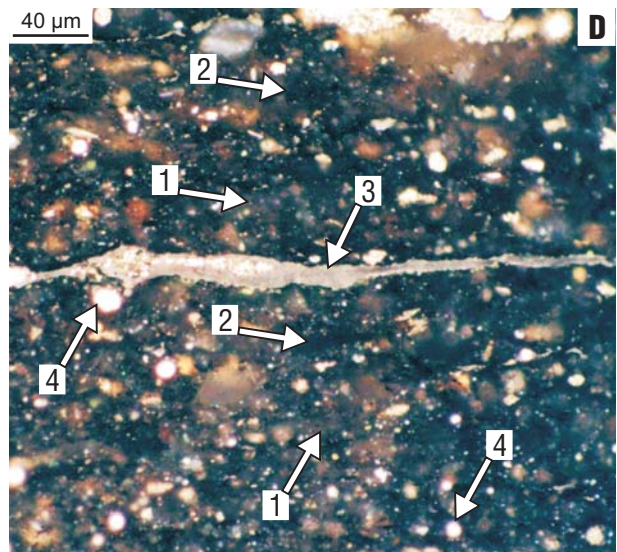
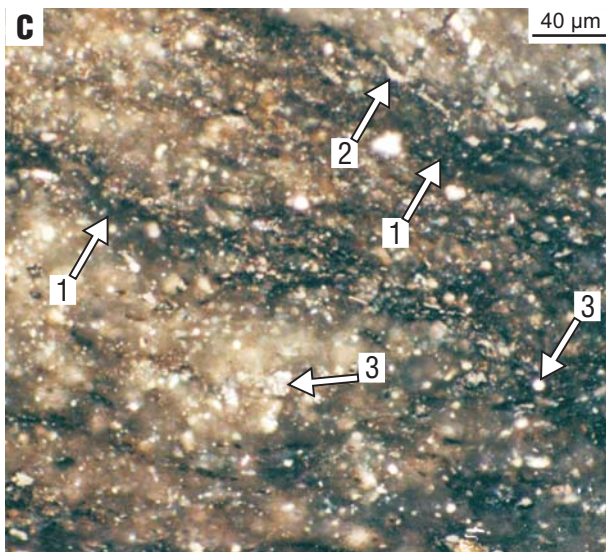
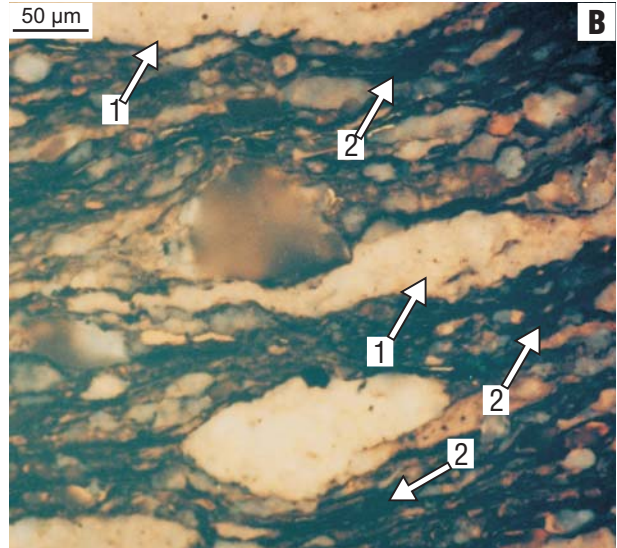
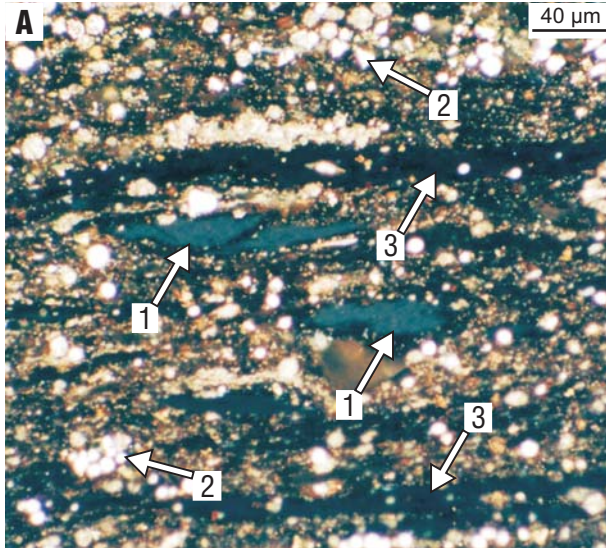
**Ryc. 6.** Zdjęcia mikroskopowe, ilustrujące rodzaj substancji organicznej analizowanych, potencjalnie macierzystych dla węglowodorów utworów ediakaru i najniższego kambru. **A** — Terebiń IG-5, gł. 3825,0 m: 1 — soczewkowate formy bituminu, 2 — framboidalne skupienia pirytu, 3 — pozostałości silnie zbiodegradowanych mat glonowych; światło białe, imersja. **B** — Terebiń IG-5, gł. 3825,0 m: 1 — impregnacje bitumiczne, 2 — bitumin oraz niefluoryzujący kerogen; światło niebieskie, imersja. **C** — Łopiennik IG-1, gł. 5362,0 m: 1 — asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego z wydzielonymi (2) drobnymi ziarnami bituminu, 3 — drobne skupienia pirytu; światło białe, imersja. **D** — Łopiennik IG 1, gł. 5560,8 m: 1 — asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego (ciemnoszara część tła zdjęcia) wraz ze (2) szczątkowymi formami zbiodegradowanych glonów (czarne, soczewkowate ciała), 3 — cienka, anizotropowa lamina bituminu, 4 — framboidalne skupienia pirytu; światło białe, imersja. **E** — Łopiennik IG 1, gł. 5560,8 m: 1 — asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego, 2 — żyłki bituminu, 3 — szczątkowe formy zdegradowanego alginitu, 4 — framboidalne skupienia pirytu; światło białe, imersja. **F** — Łopiennik IG 1, gł. 5560,8 m: 1 — infiltracje bitumiczne, 2 — nierozdzielne: bitumin, niefluoryzujący kerogen oraz składniki mineralne; światło niebieskie, obiektyw suchy

**Fig. 6.** Microscopic pictures, illustrating character of organic matter of the analyzed potential, Ediacaran to lowermost Cambrian source rock for hydrocarbons. **A** — Terebiń IG-5, depth 3825.0 m: 1 — lenses of bitumen, 2 — framboidal concentrations of pyrite, 3 — remnants of strongly biodegraded algal mats; white light, immersion. **B** — Terebiń IG-5, depth 3825.0 m: 1 — bitumine impregnation; 2 — bitumen and non-fluorescing kerogen; blue light, immersion. **C** — Łopiennik IG-1, depth 5362.0 m: 1 — organo-mineral association of bitumine type with (2) fine grains of bitumen, 3 — fine concentrations of pyrite; white light, immersion. **D** — Łopiennik IG 1, depth 5560.8 m: 1 — organo-mineral association of bitumine type (dark-grey part of the picture background) with (2) remnants of strongly biodegraded algae (black lenses), 3 — thin, anisotropic lamina of bitumen, 4 — framboidal concentrations of pyrite; white light, immersion. **E** — Łopiennik IG 1, depth 5560.8 m: 1 — organo-mineral association of bitumine type, 2 — veins of bitumen, 3 — remnants of strongly biodegraded alginate, 4 — framboidal concentrations of pyrite; white light, immersion. **F** — Łopiennik IG 1, depth 5560.8 m: 1 — bitumine infiltration, 2 — undivided: bitumen, non-fluorescing kerogen and mineral components; blue light, air

wygenerowane zostały najprawdopodobniej bituminy impregnujące analizowane osady (ryc. 6B, F).

Występowanie cyklicznych zakwitów glonów i sinic w morskim zbiorniku lubelsko-podlaskim stwierdzić można również na podstawie obecności relatywnie obfitego rezydium substancji organicznej w separatach do badań mikrofitoplanktonicznych. Jest to szczególnie charakterystyczne

dla formacji białopolskiej i lubelskiej (Moczyłowska, 1991). Wzbogacenie osadu w glony i sinice powodowało, iż podczas pogrzebienia powstawały przy udziale bakterii aneroobowych warunki redukcyjne, sprzyjające zachowaniu substancji organicznej w osadzie (Moczyłowska, 1991). Ponadto, na powierzchniach przeławień piaskowcowo-iłwcowych makroskopowo stwierdzano masowe występowanie organi-



zmów z grupy Vendotaenides (Gniłowska, 1983; Paczeńska, 1996) (ryc.7), reprezentujących glony (Gniłowska, 1983) lub prymitywne sinice (Vidal, 1989).

Przyjęcie dla omawianych skał potencjalnie macierzystych morskiego typu kerogenu powstałego z omówionych powyżej grup organizmów oznacza, iż generować mogły one głównie ropę naftową, przy relatywnie niewielkim udziale gazu ziemnego (Peters & Cassa, 1994).

### Zawartość substancji organicznej

Analityczne badania zawartości substancji organicznej (TOC) w omawianych utworach były prowadzone dotąd jedynie wrywkowo. Dodatkowo, w zachodniej i południowo-zachodniej części badanego obszaru, wiarygodność takich badań napotyka na istotne ograniczenie w postaci bardzo wysokiej dojrzałości termicznej. Jakościową przesłanką wskazującą na możliwość występowania w omawianych utworach podwyższonych zawartości TOC jest ich wykształcenie facjalne, szczególnie w odniesieniu do występujących w nich pakietów czarnych iłowców i mułowców, zdeponowanych w niedotlenionym zbiorniku.

Badania geochemiczne Straussa i in. (1997), przeprowadzone dla utworów formacji białopolskiej, lubelskiej, włodawskiej i mazowieckiej w otworach Łopiennik IG-1 i Białopole IG-1 wskazują, że obecna zawartość substancji organicznej w tych profilach sięga maksymalnie 3,0 mg/g<sub>skaly</sub>, tj. 0,3% (por. ryc. 2). Utwory późnego ediakaru wykazują większą zawartość węgla organicznego niż osady z najniższych części kambru (por. Sikorska, 1998). Podwyższonymi zawartościami TOC charakteryzują się spągowe interwały formacji białopolskiej i lubelskiej, stropowe części formacji lubelskiej i włodawskiej (ryc. 2) (Strauss i in., 1997).

W celu określenia zawartości węgla całkowitego, z uwagi na relatywnie wysokie dojrzałości termiczne analizowanych skał, zastosowano analizę aparatem LECO, tj. pomiaru ilości uwalnianego CO w czasie spalania próbek w temperaturach wyższych niż przy pirolizie RockEval™. Obecne zawartości substancji organicznej uzyskane tą metodą zawierają się najczęściej w zakresie od 0,2% do 0,65% (ryc. 2). Podkreślić należy, że w przypadku badań aparatem LECO na pomiar wpływać może węgiel nieorganiczny pochodzenia, np. uwalniany z węglanu wapnia. Jednakże to źródło możliwego błędu analiz jest w przypad-

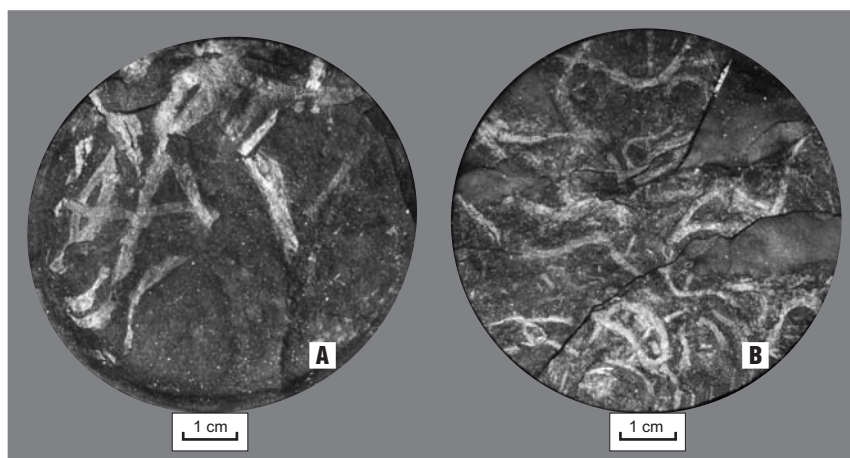
ku analizowanych utworów niewielkie, gdyż zazwyczaj nie zwiernają one zauważalnych ilości węglanów.

Biorąc pod uwagę wysoką dojrzałość termiczną analizowanych utworów, przy jednoczesnym uwzględnieniu przypuszczalnego typu ich kerogenu oraz wstępnie pomierzonych, współczesnych zawartości substancji organicznej stwierdzić można, iż jej pierwotna zawartość była wyraźnie wyższa. Jest zatem prawdopodobne, że pierwotna zawartość TOC omawianych skał ogólnie była zbliżona do uznawanej za progową dla skał macierzystych, tj. około 0,5%, w przypadku zaś niektórych poziomów mogła ją znacząco przekraczać. Niewątpliwie określenie reprezentatywnych zawartości substancji organicznej omawianych utworów wymaga zdecydowanie szerszej bazy analitycznej, co jest przedmiotem prowadzonych obecnie badań.

### Stratygraficzne odpowiedniki analizowanych utworów na świecie

Bogate w substancję organiczną facje ilasto-mułowcowe, równowiekowe z omawianymi osadami basenu lubelsko-podlaskiego, są znane z innych profili kratonu wschodnioeuropejskiego, jak np. z Podola i Wołynia (np. Urbanek & Rozanow, 1983). Ponadto litofacjalnie podobne utwory tego wieku są znane z Nowej Fundlandii — ogniwa Chapel Islands 1, 2 (Narbonne i in., 1987), centralnej Hiszpanii — łupki Pusa (Brasier, 1979) i północno-wschodniej Norwegii (Nystuen, 1985) (ryc. 8; por. Brasier, 1992).

Wiekowe odpowiedniki utworów z basenu lubelsko-podlaskiego, aczkolwiek facjalnie odmienne, występują w centralnym superbasenie Australii i ryftowym kompleksie Adelajdy na południu Australii (Preiss, 2000), w zachodniej Tasmanii (Calver & Walter, 2000), w południowo-zachodniej Namibii (Germs, 1995), na półwyspie Synaj i w północnym Egipcie (Husseini & Husseini, 1990), w Szkocji (Prave, 1999), w północno-zachodniej Argentynie (Acenolaza & Durand, 1986), w górach White-Inyo w Kalifornii (Alpert, 1975), w górach Mackenzie w północno-zachodniej Kanadzie (Jefferson & Parrish, 1989), w Nowej Szkocji i Nowym Brunzwicku, we wschodniej Kanadzie (Landing & Murphy, 1991), w basenie Amundsen na wyspie Wiktorii, w północno-zachodniej Kanadzie (Hofmann & Rainbird, 1994), w basenie Zavkhan, w południowo-zachodniej Mongolii (Lindsay i



**Ryc. 7.** Nagromadzenia Vendotaenides w czarnych iłowcach. **A** — *Vendotaenia antiqua* Gnilovskaya forma *quarta*, otwór Łopiennik IG-1, gł. 5551,6 m, najwyższy ediakar, formacja białopolska, **B** — *Vendotaenia antiqua* Gnilovskaya forma *tertia* i forma *secunda*, otwór Łopiennik IG-1, gł. 5420,3 m, najwyższy ediakar, formacja lubelska

**Fig. 7.** Accumulation of Vendotaenides in black claystone. **A** — *Vendotaenia antiqua* Gnilovskaya forma *quarta*, Łopiennik IG-1 borehole, depth 5551,6 m, uppermost Ediacaran, Białopole Formation. **B** — *Vendotaenia antiqua* Gnilovskaya forma *tertia* and forma *secunda*, Łopiennik IG-1 borehole, depth 5420,3 m, uppermost Ediacaran, Lublin Formation

in., 1996), w północno-zachodnich Himalajach w Indii (Kumar, 1984) i w południowo-wschodniej Kalifornii (Fedo & Cooper, 2001) — (ryc. 8).

Pomimo globalnego rozprzestrzenienia utworów neoproterozoicznych, efektywne skały macierzyste tego wieku występują relatywnie rzadko, np. w górach Elburs w Iranie (Hamdi i in., 1989) i w południowych Chinach (Luo i in., 1984) (ryc. 8). Duże znaczenie ekonomiczne mają na świecie tylko dwie wielkie prowincje naftowe, w których skałami macierzystymi dla lekkich węglowodorów były utwory górnego neoproterozoiku. Obie prowincje są związane z ryftowymi basenami rozwiniętymi na brzegach kontynentu Gondwany.

Pierwsza z nich występuje na jego wschodnim krańcu. Są to złoża Zatoki Perskiej, gór Zagros, złoża południowego Omanu, rejonu Kerman w centralnym Iranie oraz złoża prowincji Salt Range w Pakistanie (Husseini & Husseini, 1990; Brasier, 1995). Drugą prowincją jest rejon między Leną a Tunguską, związany z północno-wschodnimi krańcami Gondwany, zajmujący ogromny obszar (ponad 1 mln km<sup>2</sup>) w południowo-wschodniej części kratonu syberyjskiego (Kontorovich i in., 1990).

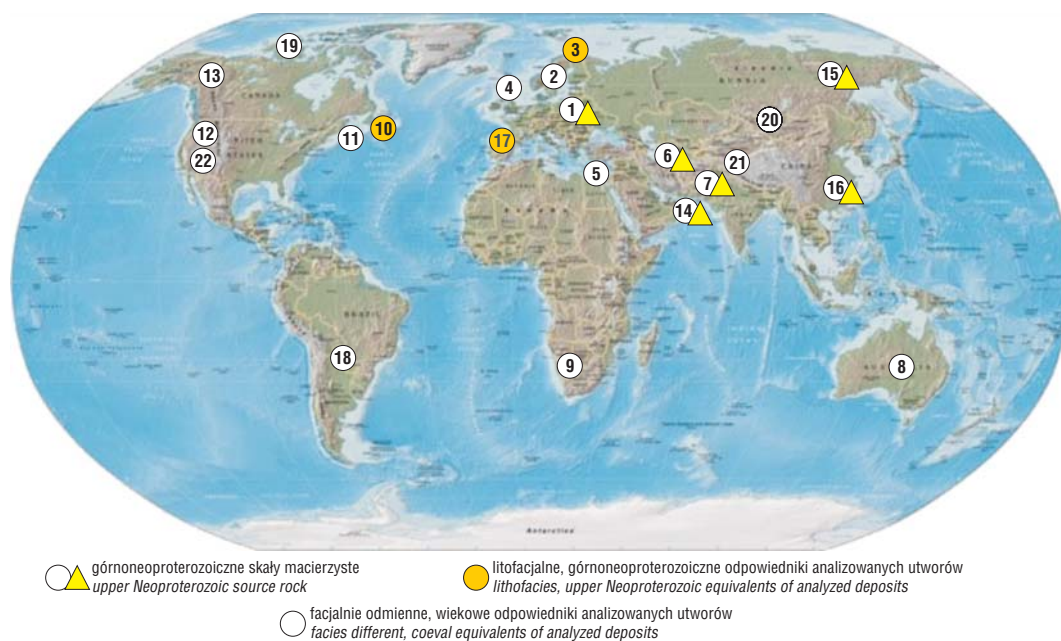
Utwory wymienionych wyżej górnoproterozoicznych prowincji naftowych cechuje podobna charakterystyka stabilnych, lekkich izotopów węgla organicznego (np.

Margaritz i in., 1986; Tucker, 1989; Strauss i in., 1997), zbliżona również do stwierdzonej dla omawianych utworów basenu lubelsko-podlaskiego. Jest to związane z ewolucją producentów węgla organicznego oraz globalnymi trendami różnicowania się cyklu węglowego w późnym neoproterozoiku i wczesnym kambrze (Brasier, 1995).

## Wnioski

1. Na podstawie przesłanek lito- i biofacjalnych oraz wstępnych badań petrografii substancji organicznej stwierdzono, iż utwory formacji białopolskiej, lubelskiej, włodawskiej i mazowieckiej (najwyższy ediakar-najniższy dolny kambr), a zwłaszcza ich ewentualne oboczne odpowiedniki, przypuszczalnie występujące w podłożu południowej części rowu lubelskiego, można brać pod uwagę jako potencjalnie macierzyste dla węglowodorów. Wiekowo odpowiadają one efektywnym skałom macierzystym rejonu zatoki Perskiej i zachodniej Syberii, jednym z najstarszych na Ziemi.

2. Utwory te najprawdopodobniej zawierają morski typ kerogenu, pochodzący z glonów morskich i sinic, o przeważającym potencjale ropotwórczym. Biorąc pod uwagę wysoką dojrzałość termiczną tych utworów, typ kerogenu, jak również obecną zawartość substancji organicznej (maksymalnie do 0,65%), pierwotną zawartość TOC w



**Ryc. 8.** Górnoproterozoiczne potencjalne skały macierzyste z basenu lubelsko-podlaskiego oraz ich globalne, stratygraficzne i litofacjalne odpowiedniki. 1 — basen lubelsko-podlaski, Polska; Wołyń i Podole, Ukraina; 2 — basen Muhos, Szwecja; 3 — rów Vättern, Norwegia; 4 — północna Szkocja; 5 — półwysep Synaj, Bliski Wschód; 6 — centralny Iran; 7 — prowincja Salt-Range, Pakistan; 8 — centralny superbasen (basen Georgina, basen Amadeus, basen Officer), Australia; 9 — północno-zachodnia Namibia; 10 — południowo-wschodnia Nowa Fundlandia, Kanada; 11 — Nowy Brunswik, Kanada; 12 — Góry White Inyo, Kalifornia, USA; 13 — Góry Mackenzie, Kordyliera Kanadyjska, Kanada; 14 — południowy Oman; 15 — prowincja Lena-Tunguska, Rosja; 16 — południowe Chiny; 17 — centralny Płw. Iberyjski, Hiszpania; 18 — północno-wschodnia Argentyna; 19 — basen Amundsena, wyspa Wiktorii, północno-zachodnia Kanada; 20 — basen Zawchan, południowo-zachodnia Mongolia; 21 — północno-zachodnie Himalaje, India; 22 — południowo-wschodnia Kalifornia, USA; 23 — kompleks ryftowy Adelajdy, południowa Australia; 24 — zachodnia Tasmania, Australia

**Fig. 8.** The upper Neoproterozoic to lowermost Cambrian potential source rock from Lublin-Podlasie basin and their stratigraphic and lithofacies equivalents. 1 — Lublin-Podlasie Basin (Poland), Volhyn and Podolia (Ukraine); 2 — Muhos Basin, Sweden; 3 — Vättern Graben, Norway; 4 — northern Scotland; 5 — Sinai Peninsula, Middle East; 6 — central Iran; 7 — Salt Range Province, Pakistan; 8 — Centralian Superbasin (Georgina Basin, Amadeus Basin, Officer Basin), Australia; 9 — north-western Namibia; 10 — south-eastern New Foundland; 11 — New Scotia and New Brunswick, Canada; 12 — White-Inyo Mountains, California, USA; 13 — Mackenzie Mountains, Canadian Cordillera, Canada; 14 — southern Oman; 15 — Lena-Tunguska province, Russia; 16 — southern China; 17 — central Iberian Peninsula, Spain; 18 — north-eastern Argentina; 19 — Amundsen Basin, Victoria Island, north-western Canada; 20 — Zavkhan Basin, south-western Mongolia; 21 — north-western Himalaya, India; 22 — south-eastern California, USA; 23 — Adelaide Rift Complex, southern Australia; 24 — western Tasmania, Australia

strefie dokumentowanej wierceniami można w dużym przybliżeniu szacować na sięgające 0,5–1%.

3. Objawy ropy naftowej i gazu ziemnego, licznie obserwowane w piaskowcach górnego ediakaru oraz dolnego kambru w obszarze lubelsko-podlaskim, mogą pochodzić z postulowanych skał macierzystych. Jednakże nie jest wykluczone, iż węglowodory występujące w utworach środkowego kambru częściowo pochodzą z górnoodowickich, bądź sylurskich skał macierzystych.

Za dyskusje i cenne uwagi autorzy pragną podziękować Maciejowi Kotarbie, Pawłowi Kosakowskiemu oraz Janowi Kaczyńskiemu. Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003–2005 jako projekt badawczy 5T12B 053 25.

## Literatura

- ACENOLAZA F.G. & DURAND F.R. 1986 — Upper Precambrian–Lower Cambrian biota from the northwest of Argentina. *Geol. Mag.*, 123: 367–375.
- ALPERT S.P. 1975 — Planolites and Skolithos from the Upper Precambrian–Lower Cambrian, White Inyo Mountains, California. *Jour. Palaeontology*, 50: 2260–2269.
- AREŃ B. & DEPOWSKI S. 1965 — Przejawy gazu w eokambrze obniżenia podlaskiego. *Kwart. Geol.*, 9: 17–25.
- AREŃ B. & LENDZION K. 1978 — Charakterystyka stratygraficzno-litologiczna wendy i kambru dolnego. *Pr. Inst. Geol.*, 90: 7–49.
- BOTTOMLEY D.J., VEIZER J., NIELSEN H. & MOCZYDŁOWSKA M. 1992 — Isotopic composition of disseminated sulfur in Precambrian sedimentary rocks. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 56: 3311–3322.
- BRASIER M. D. 1979 — The Cambrian radiation event. [In:] House M.R. (ed.), *The Origin of Major Invertebrate Groups*: 59–103.
- BRASIER M.D. 1992 — Paleooceanography and changes in the biological cycling of phosphorus across the Precambrian–Cambrian boundary. [In:] Lipps J.H., Signor P.W. (eds.), *Origin and Early Evolution of the Metazoa*. Plenum Press, New York.
- BRASIER M.D. 1995 — The basal Cambrian transition and Cambrian bio-events (from terminal Proterozoic Extinctions to Cambrian biomers). [In:] Walliser O.H. (ed.), *In Global Events and Events Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer, Berlin: 113–118.
- CALIKOWSKI J. 1972 — Interpretacja geochemiczna badań bituminów w utworach paleozoicznych i mezozoicznych. [In:] Ropo- i gazonośność obniżenia podlaskiego na tle budowy geologicznej. Część II. Warunki występowania bituminów w obniżeniu podlaskim. *Pr. Geostrukturalne. Inst. Geol.*: 122–172.
- CALVER C.R. & WALTER M.R. 2000 — The late Neoproterozoic Grassy Group of King Island, Tasmania: correlation and palaeogeographic significance. *Precambrian Research*, 100: 299–312.
- DEPOWSKI S. 1962 — Znaczenie bezpośrednich śladów ropy naftowej i gazu ziemnego dla oceny perspektyw ropo- i gazonośności obszarów poszukiwawczych. *Wiad. Naftowe*, 8(10): 217–219.
- DEPOWSKI S. & KRÓLICKA J. 1964 — Ślady ropy naftowej i gazu ziemnego na Niżu Polskim oraz ich znaczenie dla poszukiwań naftowych. *Kwart. Geol.*, 8: 171–188.
- EKDALE A.A. & MASON T.R. 1988 — Characteristic trace fossils associations in oxygen-poor sedimentary environments. *Geology*, 16: 673–768.
- GERMS G.J.B. 1995 — The Neoproterozoic of south-western Africa with emphasis on platform stratigraphy and paleontology. *Precambrian Research*, 73: 137–151.
- GNIŁOWSKA M.B. 1983 — Vendotaenides. [In:] Urbanek A. & Rozanow A.Yu. (ed.), *Upper Precambrian and Cambrian Palaeontology of the East European Platform*. Wyd. Geol.: 46–56.
- GORIN G.E., RACZ L.G. & WALTER M.R. 1982 — Late Precambrian–Cambrian sediments of Huqf group, Sultanate of Oman. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 66: 2609–2627.
- GRADSTEIN F. M., OGG J. & SMITH A. G. (ed.) 2004 — *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HAMDI B., BRASIER M.D. & JIANG ZHIWEN 1989 — Earliest skeletal fossils from Precambrian–Cambrian boundary strata, Elbruz Mts., Iran. *Geol. Mag.*, 126: 283–289.
- HUNT J.M. 1996 — *Petroleum Geochemistry and Geology*. Wydanie Drugie. W.H. Freeman and Company, New York.
- HUSSEINI M.I. & HUSSEINI S.I. 1990 — Origin of the Infracambrian salt basins of the Middle East. [In:] Brooks J. (ed.), *Classics Petroleum Provinces*. Spec. Publ. Geol. Soc. London: 279–292.
- JAWOROWSKI K. 1978 — Charakterystyka sedymentologiczna osadów morskich z pogranicza prekambriu i kambriu. *Pr. Inst. Geol.*, 90: 51–70.
- JAWOROWSKI K. 1997 — Warunki depozycji ciał piaszczystych kambriu dolnego i środkowego w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 377.
- JEFFERSON C.W. & PARRISH R.R. 1989 — Late Proterozoic stratigraphy, U-Pb zircon ages and rift tectonics, Mackenzie Mountains, northwestern Canada. *Canadian Jour. Earth Sc.*, 26: 1784–1801.
- KACZYŃSKI J. 1984 — Perspektywy ropogazoności Lubelszczyzny. *Prz. Geol.*, 32: 330–333.
- KARNKOWSKI P. 1993 — Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. T. 1, *Niż Polski*. Tow. Geosyn., Kraków.
- KLIMUSZKO E. 2002 — Utwory sylury południowo-wschodniej Polski jako skały potencjalnie macierzyste dla dewońskich rop naftowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 402: 75–100.
- KONTOROVICH A.E., MANDELBAUM M.M., SURKOV V.S., TROFIMIUK A.A. & ZOLOTOV A.N. 1990 — Lena–Tunguska Upper Proterozoic — Paleozoic petroleum superprovince. [In:] Brooks J. (ed.), *Classics Petroleum Provinces*. Spec. Publ. Geol. Soc. London: 473–489.
- LUO HUILIN, JIANG ZHIWEN, WU XICHE, SONG XUELIANG & OUYANG LIN 1984 — Sinian–Cambrian boundary Stratotype Section at Meishucun, Jinning, Yunnan, China. Publishing House, Kunming, Yunnan, China.
- MAGARITZ M., HOLSER W.T. & KIRSCHVINK J.L. 1986 — Carbon-isotope events across the Precambrian–Cambrian on the Siberian Platform. *Nature*, 320: 258–259.
- MOCZYDŁOWSKA M. 1991 — Acritarch biostratigraphy of the Lower Cambrian and the Precambrian–Cambrian boundary in southeastern Poland. *Fossils and Strata*, 29: 1–127.
- NARBONNE G.M., MYROW P., LANDING E. & ANDERSON M.M. 1987 — A candidate stratotype for the Precambrian–Cambrian boundary, Fortune Head, Burin Peninsula, southeastern Newfoundland. *Canadian Jour. Earth Sc.*, 24: 1277–1293.
- PACZEŚNA J. 1986 — Upper Vendian and Lower Cambrian ichnocoenoses from Lublin Region. *Biul. Inst. Geol.*, 355: 31–47.
- PACZEŚNA J. 1996 — The Vendian and Cambrian ichnocoenoses from the Polish Part of the East European Platform. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 152: 1–77.
- PACZEŚNA J. 2001 — Zastosowania skamieniałości śladowych w analizie fałdalnej i wysokorozdzielczej stratygrafii sekwencji — przykład z kambriu polskiej części kratonu wschodnioeuropejskiego. *Prz. Geol.*, 49: 1137–1145.
- PETERS K.E. & CASSA M.R., 1994 — Applied source rock geochemistry. [In:] *The Petroleum System — from Source to Trap*. Magoon L.B., Dow W.G. (eds.), AAPG Memoir, 60: 93–120.
- POPRAWA P. & PACZEŚNA J. 2002 — Rozwój ryftu w późnym neoproterozoiku-wczesnym paleozoiku na lubelsko-podlaskim skłonie kratonu wschodnioeuropejskiego—analiza subsydencji i zapisu fałdalnego. *Prz. Geol.*, 50: 49–61.
- RAVE A.R., 1999 — The Neoproterozoic Dalradian Supergroup of Scotland: an alternative hypothesis. *Geol. Mag.*, 136: 609–617.
- PREISS W.V. 2000 — The Adelaide Geosyncline of South Australia and its significance in Neoproterozoic continental reconstruction. *Precambrian Research*, 100: 21–63.
- SCHOPF J.W. 1994 — The oldest known records of life: Early Archean stromatolites, microfossils, and organic matter. [In:] Bengtson S. (ed.), *Early Life on Earth*, 193–203.
- SIKORSKA M. 1998 — Rola diagenety w kształtowaniu przestrzeni porowej piaskowców kambriu z polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 164: 1–66.
- STOLARCZYK F., STOLARCZYK J., WYSOCKA H. & BUCHELT M. 1997 — Strefy perspektywiczne dla występowania węglowodorów w kambrze lubelsko-podlaskiej części starej platformy. *Prz. Geol.*, 45: 171–175.
- STRAUSS H., VIDAL G., MOCZYDŁOWSKA M. & PACZEŚNA J. 1997 — Carbon geochemistry and palaeontology of the Neoproterozoic to early Cambrian siliciclastic successions in the East European Platform, Poland. *Geol. Mag.*, 134: 1–16.
- TISSOT B.P. & WELTE D.H. 1984 — *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag.
- TUCKER M.E. 1989 — Carbon isotope and Precambrian–Cambrian boundary geology, South Australia: ocean basin formation, water chemistry and organic evolution. *Terra Nova*, 1: 375–379.
- URBANER A. & ROZANOW A.YU. (ed.) 1983 — *Upper Precambrian and Cambrian Palaeontology of the East European Platform*. Wyd. Geol.
- VIDAL G. 1989 — Are Late Proterozoic carbonaceous megafossils metaphytic algae or bacteria? *Lethaia*, 22, 375–379.
- WILCZEK T. 1985 — Mapa stopnia katagenety SO w stropie osadów ordowiku. *Arch. Geonauka, Warszawa*.