



EWA KRZESZOWSKA*, MAGDALENA KOKOWSKA-PAWŁOWSKA**

Charakterystyka geochemiczna poziomów z fauną słodkowodną formacji z Lublina z Lubelskiego Zagłębia Węglowego

Wprowadzenie

Formacja z Lublina zaliczana do górnego westfalu A i westfalu B stanowi główną formację węglonośną Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW). Warstwy te buduje seria iłowcowo-mułowcowa, w obrębie której występują sferosyderyty oraz nieregularnie wykształcone wkładki piaskowców. W obrębie formacji z Lublina, w rejonie złoża Bogdanka występuje około 50 przewarstwień i pokładów węgla o miąższościach 0,05–3,80 m (Seremet i Górecki 2012). W centralnej części LZW, gdzie zlokalizowany jest obszar badań, tylko nieliczne pokłady zalicza się do pokładów względnie stałych, o szerokim zasięgu występowania. Są to przede wszystkim pokłady 379(303), 394(306), 391(309), 389(311), 385(315), 382(318), 377(323) i 375(325). Pokłady te posiadają podwójne oznaczenia związane ze zmianą numeracji wprowadzoną w chwili rozpoczęcia budowy kopalni Bogdanka (numery pokładów w nawiasach to wcześniejsze oznaczenia tych pokładów zastosowane przez Instytut Geologiczny w 1971 r.) (Porzycki i Zdanowski 1995; Seremet i Górecki 2012).

Najniższa część formacji z Lublina (górny westfal A) należy do serii paralicznej. Seria ta kończy horyzont morski – poziom faunistyczny Dunbarella, a strop tego poziomu wyznacza granicę sedymentacji paralicznej (westfal A) i limnicznej (westfal B). Horyzont ten ma zasadnicze znaczenie stratygraficzne i korelacyjne, a zespół faunistyczny tego poziomu jest

* Dr, ** Dr inż., Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Geologii Stosowanej, Gliwice;
e-mail: ewa.krzeszowska@polsl.pl; magdalena.kokowska-pawlowska@polsl.p

porównywalny z zespołem faunistycznym horyzontu Katharina w Zagłębiu Ruhry i Clay Cross w Wielkiej Brytanii (Musiał i Tabor 2001; Musiał i in. 1995).

Powyżej poziomu Dunbarella, w serii limnicznej weszfału B (górną część formacji z Lublina) występują wyłącznie osady kontynentalne. W obrębie tych osadów znajdują się nieciągłe lateralnie poziomy iłowców z fauną słodkowodną (Krzeszowska 2015; Musiał i Tabor 2001; Musiał i in. 1995).

Spąg formacji z Lublina przyjmowany jest na stropie piaskowców formacji z Dęblina, kilkadziesiąt metrów poniżej poziomu Dunbarella.

Celem pracy była charakterystyka geochemiczna poziomów zawierających szczątki fauny słodkowodnej oraz ocena możliwości zastosowania wybranych wskaźników geochemicznych do identyfikacji środowisk sedymentacyjnych LZW.

1. Metodyka i zakres badań

Materiał badawczy stanowiły próbki skał z rdzeni otworów wiertniczych, wykonanych na terenie LZW w latach 2013 i 2014 przez Spółkę PD Co Sp. z o.o. Próbki pochodzą z otworów wiertniczych Borowo i Syczyn 7 (powiat chełmski) oraz Kulik i Kopina 1 (powiat łużyński) (rys. 1). W otworach tych zidentyfikowano łącznie dziesięć wystąpień osadów zawierających faunę słodkowodną, z których osiem zostało opróbowanych. Lokalizację miejsc opróbowania w profilach otworów wiertniczych przedstawiono na rysunku 2.

Szczątki fauny słodkowodnej występują w obrębie szarych i ciemnoszarych, słabo zwięzłych iłowców z wkładkami lub kongrecjami syderytu ilastego (rys. 2, tab. 1). Dla wszystkich próbek wykonano badania obejmujące oznaczenie zawartości pierwiastków śladowych oraz tlenków. Analizy, łącznie z przygotowaniem i roztwarzaniem próbek, wykonane zostały w certyfikowanym laboratorium AcmeLabs w Vancouver w Kanadzie.

Pierwiastki śladowe: U, Th, V, Cr, Rb, K oznaczone zostały przy użyciu spektrometru masowego sprzężonego z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS). Próbki zostały roztworzone za pomocą metody pełnego roztwarzania, czyli metody czterech kwasów ($\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HCl} + \text{HNO}_3$) z użyciem przewodnictwa cieplnego. Przy pomiarach stosowane były następujące materiały referencyjne: STD OREAS25A-4A, STD OREAS45E.

Udział tlenków: Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , K_2O , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , Cr_2O_3 oznaczono za pomocą metody rentgenowskiej spektroskopii fluorescencyjnej z dyspersją fali (XRF). Do przygotowania próbek wykorzystano technikę stapiania, a jako topnik zastosowano mieszaninę cztero- i metaboranu litu ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiBO_2). Przy pomiarach stosowane były następujące materiały referencyjne: STD OREAS72B, STD SY-4(D).

Dla potrzeb niniejszej publikacji wybrano pierwiastki śladowe i tlenki, najczęściej stosowane do określania geochemicznej charakterystyki osadów oraz identyfikacji warstw morskich, brakicznych i słodkowodnych. Przeanalizowano zmiany wartości następujących parametrów: U, Th, Th/U, Th/ K_2O , V/Cr, $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$, Rb/K.

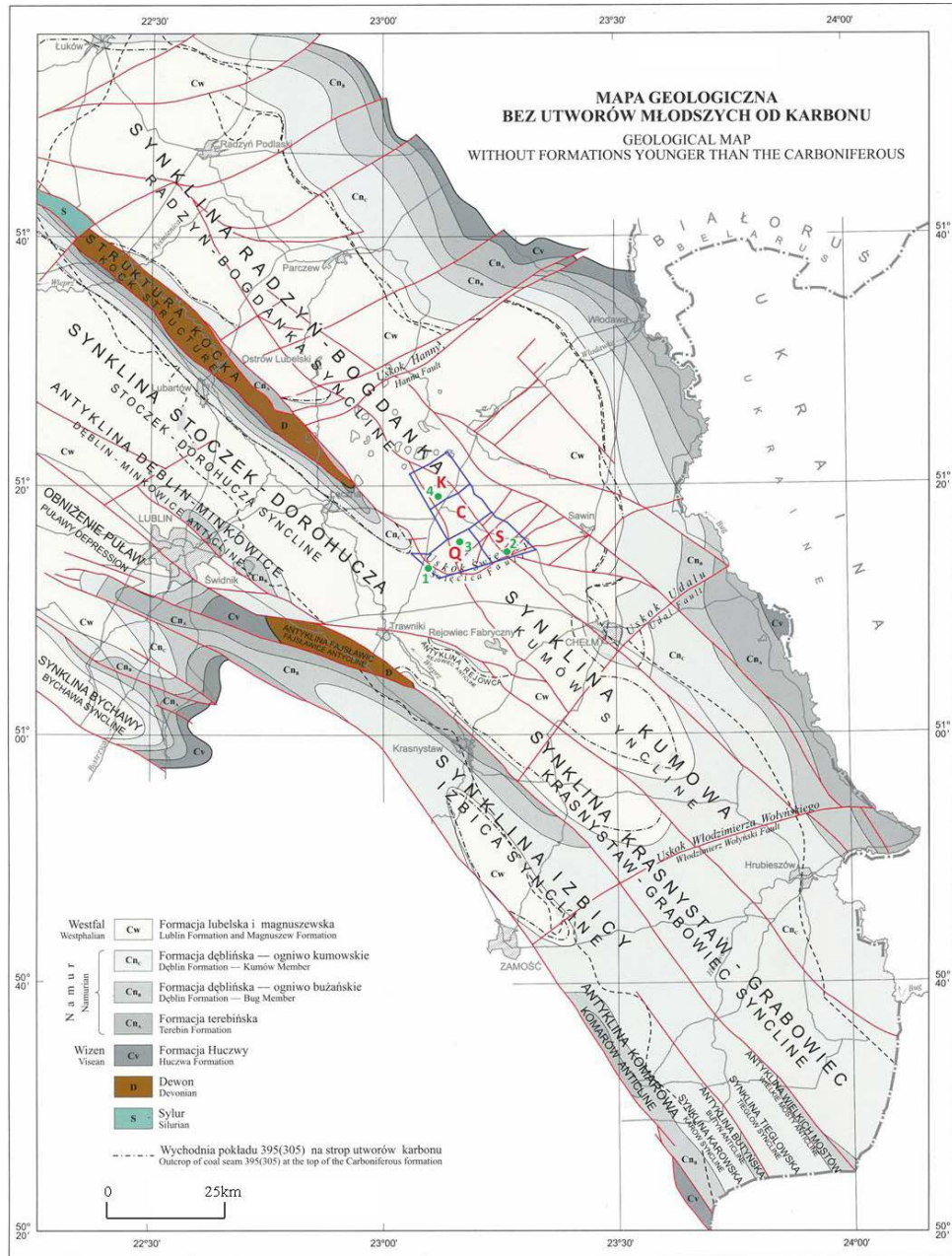


Fig. 1. Mapa geologiczna Lubelskiego Zagłębia Węglowego (Zdanowski 1999, uzupełnione)
K – Kopina, C – Cyców, S – Syczyn, Q – Kulik; 1 – otwór wiertniczy Borowo,
2 – otwór wiertniczy Syczyn 7, 3 – otwór wiertniczy Kulik, 4 – otwór wiertniczy Kopina 1

Fig. 1. Geological map Lublin Coal Basin (Zdanowski 1999, amended)
K – Kopina, C – Cyców, S – Syczyn, Q – Kulik; 1 – borehole Borowo,
2 – borehole Syczyn 7, 3 – borehole Kulik, 4 – borehole Kopina 1

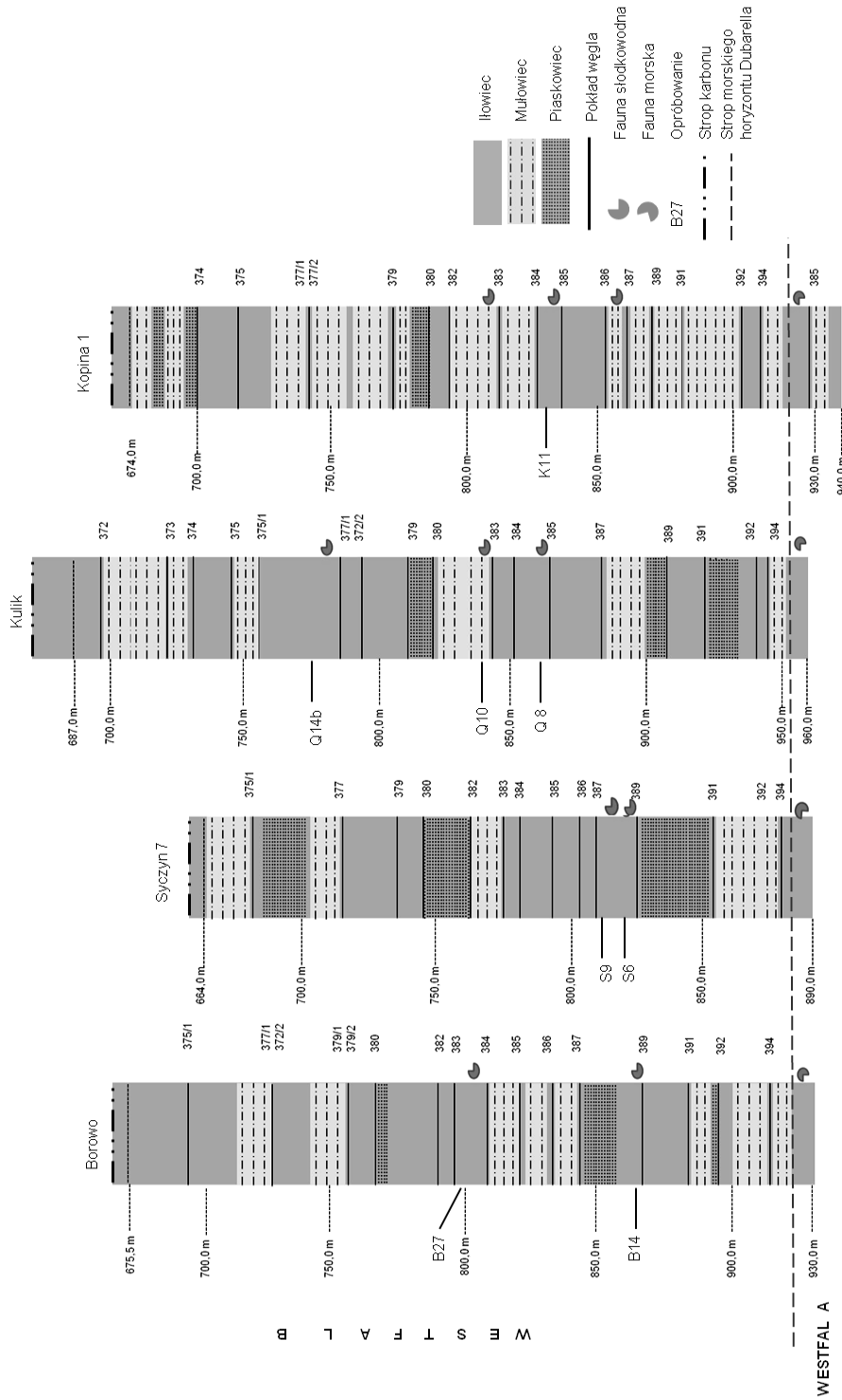


Fig. 2. Profile karbonu otworów wiertniczych: Borowo, Syczyn 7, Kulik, Kopina 1 (LZW)

Fig. 2. Carboniferous profiles of the boreholes: Borowo, Syczyn 7, Kulik, Kopina 1 (LZW)

2. Charakterystyka petrograficzna próbek

W profilu otworu Borowo występują dwa poziomy z fauną słodkowodną zlokalizowane powyżej pokładów 389 (próbka B14) i 384 (próbka B27) (rys. 2, tab. 1). W obrębie ciemnoszarych iłowców, z wkładkami syderytu ilastego stwierdzono obecność pojedynczych małżów o stanie zachowania pozwalającym na ich identyfikację rodzajową. Oznaczono rodzaje *Anthraconia Naiadites* i *Anhracosia*.

W profilu otworu Syczyn 7 zidentyfikowane zostały dwa poziomy ze szczątkami fauny słodkowodnej, zlokalizowane powyżej pokładu 389 (próbka S6 i S9) (rys. 2). Poziomy te wykształcone są w postaci ciemnoszarego (próbka S9) i szarego z odcieniem brązowym (S6) iłowca z wkładkami syderytu ilastego (tab. 1). Stopień zachowania fauny nie pozwalał na jej identyfikację na poziomie gatunkowym lub rodzajowym.

W profilu otworu Kulik stwierdzono obecność trzech poziomów ze szczątkami fauny słodkowodnej, zlokalizowane powyżej pokładów 385 (próbka Q8) , 383 (próbka Q10) i 377/1

Tabela 1. Opróbowanie poziomów z fauną słodkowodną otworów wiertniczych Borowo, Syczyn 7, Kulik i Kopina 1 (LZW)

Table 1. Sampling of het freshwater horizon within boreholes Borowo, Syczyn 7, Kulik i Kopina 1 (LCB)

Otwór wiertniczy	Zakres głębokości m p.p.t.	Numer próbki	Litologia opróbowanego odcinka profilu
Borowo	800,5–803,8	B27	iłowiec ciemnoszary, z odcieniem brązowym, średniozwięzły, zawęglony z licznymi wkładkami syderytu ilastego
	863,5–863,9	B14	iłowiec ciemnoszary, średniozwięzły, miejscami zawęglony z nielicznymi wkładkami syderytu ilastego
Syczyn 7	811,9–812,3	S9	iłowiec ciemnoszary, średniozwięzły, miejscami zawęglony z wkładkami syderytu ilastego
	818,1–818,4	S6	iłowiec szary z odcieniem brązowym, średniozwięzły, z licznymi wkładkami syderytu ilastego
Kulik	774,7–775,0	Q14b	iłowiec ciemnoszary, średniozwięzły, miejscami zawęglony
	841,3–841,5	Q10	iłowiec ciemnoszary, średniozwięzły, miejscami zawęglony ze sferosyderytami
	862,1–862,3	Q8	iłowiec ciemnoszary, średniozwięzły, miejscami zawęglony z wkładkami syderytu ilastego
Kopina 1	828,9–831,4	K11	iłowiec ciemnoszary, średniozwięzły, zawęglony z warstewkami iłowca zsyderytyzowanego i mułowca

(próbka Q14b) (rys. 2). Poziomy te wykształcone są w postaci ciemnoszarych, miejscami zawęglonych ilowców z wkładkami sferosyderytów (próbka Q10) lub wkładkami syderytu ilastego (próbka Q8) (tab. 1). Stopień zachowania fauny nie pozwalał na jej identyfikację na poziomie gatunkowym lub rodzajowym.

W profilu otworu Kopina 1 występują trzy poziomy ze szczątkami fauny słodkowodnej, przy czym tylko jeden (zlokalizowany powyżej pokładu 385 – próbka K11) został opróbowany (rys. 2). Opróbowany poziom wykształcony jest w postaci ciemnoszarego słabozwięzłego ilowca z wkładkami ilowca syderytycznego i mułowca (tab. 1). Stopień zachowania fauny nie pozwalał na jej identyfikację na poziomie gatunkowym lub rodzajowym.

3. Wskaźniki geochemiczne stosowane w badaniach paleośrodowiskowych

W ostatnich latach badania geochemiczne coraz częściej wykorzystywane są do identyfikacji środowisk sedymentacyjnych. Istnieje szereg wskaźników pozwalających na odróżnienie osadów tworzących się w morskich i niemorskich środowiskach sedymentacyjnych. Stwierdzono, że mułowce i ilowce pochodzenia morskiego i niemorskiego różnią się pod względem geochemicznym (Adams i Weaver 1958; Archard i Trice 1990; Leeder i in. 1990; Davies i McLean 1996; O'Mara i Turner 1997).

Osady morskie zwykle wykształcone w postaci czarnych łupków tworzących klasyczne „horyzonty morskie” charakteryzują się podwyższonym poziomem uranu (U), wysokim poziomem promieniowania gamma oraz obecnością fauny goniatytowej (Pearce i in. 2010).

Morskie ciemne łupki zawierają więcej U niż słodkowodne i brakiczne deponowane w środowisku utleniającym, gdzie U występuje w postaci bardziej rozpuszczalnego U^{6+} . Osady morskie, tworzące się w środowisku beztlenowym, zawierają nierozpuszczalny U^{4+} . W osadach zawierających dużo substancji organicznej uran może być uwięziony i związany z amorficzną substancją organiczną, szczątkami roślin lub minerałami ilastymi (Archard i Trice, 1990; Leeder i in. 1990). Uran koncentruje się głównie w materii organicznej zgromadzonej w łupkach powstających w warunkach beztlenowych (Adams i Weaver 1958; Archard i Trice 1990; Leeder i in. 1990; Davies i McLean 1996; O'Mara i Turner 1997). Na podstawie badań utworów namuru środkowej Anglii oraz namuru i westfalu obszaru Basenu Morza Północnego stwierdzono, że zawartość uranu w osadach morskich przekracza 6 ppm (Davies i McLean 1996; O'Mara i Turner 1997; Leeder i in. 1990).

Osady słodkowodne charakteryzują się wyższym stosunkiem Th/U. Według Davies, McLean (1996) wskaźnik Th/U dla osadów niemorskich wynosi powyżej 3,8; Hollywood i Whorlow (1993) przyjmują wartości graniczne na poziomie 3,0, natomiast Adams i Weaver (1958) na poziomie 2,0. Według Davies, McLean (1996) również wskaźnik Th/ K_2O można stosować do identyfikacji środowisk sedymentacyjnych. Wartość Th/ K_2O poniżej 6 wskazuje na morski charakter osadów.

Pearce i in. (2010) przy geochemicznej charakterystyce osadów wykorzystują obok Th i U również: Mo, Cu, Zn, Ni, V, Zr, P₂O₅. Udział tych składników wyraża się stosunkiem do ilości Al₂O₃ w celu zniwelowania wpływu zróżnicowanego składu mineralnego skał. W osadach morskich zawartość P₂O₅ zwykle bywa podwyższona, a jako graniczną wartość wskaźnika P₂O₅/Al₂O₃ przyjmuje się 0,02. Przy stosowaniu tego wskaźnika należy pamiętać, że P₂O₅ może być podwyższone w mułowcach z Lingulami i łuskami ryb. Wysoki udział w skałach minerałów ciężkich (m.in. apatyty, cyrkonu, monacytu) może również wpływać na podwyższoną zawartość P₂O₅.

Osady pochodzenia morskiego i pochodzenia jeziornego identyfikować można również za pomocą wskaźnika V/Cr. Jako skały pochodzenia morskiego uznaje się osady, gdzie stosunek ten jest powyżej 1,5, a jeziorne od 0,2 do 1,5 (Adamczyk 1994; Dill i in. 1991). Osady morskie charakteryzują się wyższym udziałem wanadu niż osady limniczne chociaż nie podaje się wyraźnej wartości granicznej, a identyfikacja środowiska sedimentacyjnego opiera się na średnich wartościach V dla poszczególnych serii skalnych (Breit i Wanty 1991; Kombrink i in. 2008).

Kolejnym wskaźnikiem stosowanym w celu wyróżnienia osadów powstających w środowisku wodnym o różnym stopniu zasolenia (wody słodkie, brakiczne, morskie) jest stosunek Rb/K (Campbell i Williams 1965). Zastosowanie tego wskaźnika opiera się na założeniu, że łupki morskie zawierają większą zawartość Rb z powodu wyższych stężeń jonów Rb⁺ w wodach oceanicznych niż w wodach słodkich (0,12 ppm Rb w oceanach i 0,0013 ppm Rb w rzekach) (Taylor i McLennan 1985). Według Campbell i Williams (1965) średnia wartość Rb/K dla osadów słodkowodnych i brakicznych wynosi około $4 \cdot 10^{-3}$, natomiast dla osadów morskich $6 \cdot 10^{-3}$.

4. Analiza wyników badań geochemicznych poziomów z fauną słodkowodną

W próbkach skał z horyzontów z fauną słodkowodną stwierdzono zróżnicowany udział składników chemicznych, zależny od przynależności do wyróżnionych odmian petrograficznych (tab. 1, tab. 2). Wszystkie próbki zaklasyfikowano do ilowców, miejscami zawęglonych, ze zmiennym udziałem wkładek syderytycznych, przy czym w jednej próbce (K11) dodatkowo stwierdzono obecność wkładki mułowcowej.

Głównym składnikiem chemicznym badanych skał jest SiO₂, której zawartość wynosi od 51,54 do 71,58%, przy udziale Al₂O₃, wahającym od 14,10 do 19,84% (tab. 2).

Według klasyfikacji podawanej przez Sprague i in. (2009), uwzględniającej stosunek SiO₂/Al₂O₃ siedem próbek reprezentuje ilowce (SiO₂/Al₂O₃ < 4). Jedna z analizowanych próbek, gdzie stosunek SiO₂/Al₂O₃ wynosi 5,08, według zastosowanej klasyfikacji (Sprague i in. 2009) reprezentuje mułowiec.

Badane próbki wykazują dość zróżnicowaną zawartość Fe₂O₃, wahającą się pomiędzy 3,06 a 11,20%, a podwyższona zawartość żelaza związana jest z obecnością syderytu.

Tabela 2. Skład chemiczny próbek skał z poziomów z fauną słodkowodną LZW

Table 2. Chemical compositions for the samples from freshwater horizons LCB

Otwór wiertniczy	Numer próbki	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Na ₂ O [%]	K ₂ O [%]	MnO [%]	TiO ₂ [%]	P ₂ O ₅ [%]	Cr ₂ O ₃ [%]	LOI (straty parzenia) [%]
Borowo	B27	55,03	14,96	3,68	11,10	0,37	2,14	0,17	2,00	0,17	0,88	0,12	0,01	12,84
	B14	54,62	19,84	2,75	5,72	0,41	2,01	0,33	2,97	0,06	0,92	0,18	0,01	9,92
Syczyn 7	S9	51,54	19,84	2,60	8,77	0,80	2,04	0,95	3,30	0,17	0,81	0,28	0,0,1	11,66
	S6	55,34	17,66	3,13	11,20	0,53	1,58	0,86	2,85	0,19	0,76	0,21	0,01	7,01
Kulik	Q14b	66,33	19,45	3,41	3,06	0,16	0,99	0,75	2,94	0,04	1,19	0,15	0,01	8,28
	Q10	63,49	17,30	3,67	5,08	0,23	1,20	0,86	2,52	0,08	1,03	0,13	0,01	8,29
Kopina 1	Q8	60,86	17,17	3,54	5,76	0,60	1,93	0,82	2,97	0,05	0,88	0,22	0,01	8,70
	K11	71,58	14,10	5,08	3,59	0,17	0,92	1,08	2,04	0,06	0,85	0,07	0,01	5,67

Błąd pomiaru 0,01.

Tabela 3. Wartości wskaźników geochemicznych dla próbek skał z poziomów z fauną słodkowodną LZW

Table 3. Geochemical ratios for the samples from freshwater horizons LCB

Otwór wiertniczy	Numer próbki	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Th/K2O	V (ppm)	Cr (ppm)	V/Cr	P ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃	Rb (ppm)	K (ppm)	Rb/K
Borowo	B27	4,4	12,1	2,8	6,05	129	110	1,17	0,01	84,4	17 100	0,0049
	B14	4,8	13,3	2,8	4,48	116	104	1,12	0,01	95,4	18 000	0,0053
Syczyn 7	S9	5,5	13,6	2,5	4,12	125	99	1,26	0,01	143,2	28 200	0,0051
	S6	4,9	13,0	2,7	4,56	140	120	1,17	0,01	129,0	25 300	0,0051
Kulik	Q14b	5,2	13,7	2,6	4,66	118	102	1,16	0,01	116,3	23 000	0,0051
	Q10	4,8	13,8	2,9	5,48	111	108	1,03	0,01	111,6	21 700	0,0051
Kopina 1	Q8	4,6	13,1	2,8	4,41	107	108	0,99	0,01	147,8	25 200	0,0059
	K11	4,1	12,8	3,1	4,49	84	76	1,11	0,00	83,0	17 300	0,0047

Błąd pomiaru U, Th, Rb – 0,1; V, Cr – 1,0; K – 100.

Pozostałe tlenki wykazują niewielkie udziały, typowe dla iłowców i mułowców towarzyszących pokładom węgla (Kokowska-Pawłowska 2015).

Analiza wybranych pierwiastków śladowych oraz tlenków pozwoliła na obliczenie wskaźników geochemicznych stosowanych do identyfikacji paleośrodowiska sedimentacji (tab. 3). W próbkach skał z horyzontów z fauną słodkowodną stwierdzono podobną zawartość uranu (U) wahającą się od 4,1–5,5 ppm, co wyraźnie wskazuje na niemorski charakter osadów (Davies i McLean 1996; O'Mara i Turner 1997; Leeder i in. 1990). Udział toru (Th) wynosi od 12,1 ppm do 13,8 ppm, a wskaźnik Th/U przedstawiany w literaturze jako jeden z podstawowych wskaźników identyfikujących osady morskie i niemorskie wynosi od 2,5 do 3,1. Według różnych autorów wartość tego wskaźnika typowa dla osadów morskich i niemorskich jest różna, a jako wartość graniczną można przyjmować za Adams, Weaver (1958) wartość 2,0.

Kolejnym wskaźnikiem stosowanym do identyfikacji osadów morskich jest stosunek Th/K₂O. Udział K₂O w analizowanych próbkach skał waha się od 2,0 do 3,3%. Wartość wskaźnika Th/K₂O wynosi 4,12 do 6,05. Według Davies, McLean (1996) wskaźnik geochemiczny Th/K₂O < 6 wskazuje na osady morskie, co nie znajduje potwierdzenia dla analizowanych próbek. Według badań autorek wskaźnik ten ma ograniczone zastosowanie dla osadów westfalu LZW.

Przeanalizowano również udział P₂O₅ normalizowane do Al₂O₃, czyli stosunek P₂O₅/Al₂O₃. Wartość P₂O₅/Al₂O₃ nie przekracza wartości 0,01. Według Pearce i in. (2010) wartość wskaźnika P₂O₅/Al₂O₃ dla osadów morskich jest większa od 0,02, czyli wskaźnik ten w sposób poprawny wskazuje na limniczne środowisko sedimentacji.

Dokonano również analizy zawartości wanadu (V) i chromu (Cr) oraz ich wzajemnych relacji. Zawartość wanadu waha się od 84 do 140 ppm, a chromu od 76 do 120 ppm. Stosunek V/Cr – który wynosi od 0,99 do 1,26 – wyraźnie wskazuje na limniczny charakter osadów (Adameczyk 1994; Dill i in. 1991).

Udział rubidu (Rb) w analizowanych próbkach waha się od 83,0 do 147,8 ppm, natomiast potasu (K) od 17 100 do 28 200 ppm. Stosunek Rb/K, wskazujący na stopień zasolenia zbiornika sedimentacyjnego wynosi od 0,0047 do 0,0059, czyli jest nieco wyższy niż średni dla osadów słodkowodnych czy brakicznych.

Podsumowanie

Poziomy z fauną słodkowodną zidentyfikowane w otworach wiertniczych LZW (Borowo, Syczyn 7, Kulik i Kopina1) wykształcone są w postaci szarych i ciemnoszarych, miejscami zawęglonych iłowców ze zmiennym udziałem wkładek syderyticznych.

W próbkach skał z horyzontów z fauną słodkowodną stwierdzono zróżnicowany skład chemiczny, wyrażający się przede wszystkim różnym udziałem Al₂O₃, SiO₂ i Fe₂O₃.

Studium geochemiczne poziomów z fauną słodkowodną obejmowało analizę zawartości wybranych pierwiastków: U, Th, V, Cr, Rb, K i wskaźników geochemicznych najczęściej

stosowanych do identyfikacji warstw morskich, brackicznych i słodkowodnych. Udział U, Th, V, Cr, Rb, K wykazuje bardzo podobne wartości dla łożysk z otworów wiertniczych Borowo, Syczyn 7, Kulik, natomiast w próbce z otworu Kopina 1 obserwowano wyraźnie niższe wartości (szczególnie V, Cr, Rb, K).

Analiza wartości wskaźników geochemicznych dla wszystkich próbek wykazała, że wskaźniki takie jak: U, Th, Th/U, P_2O_5/Al_2O_3 , V/Cr, Rb/K mogą być stosowane do identyfikacji środowisk sedymentacyjnych i korelacji geochemicznych sekwencji skalnych LZW. Według badań autorek wskaźnik Th/ K_2O , którego wartość dla analizowanych próbek osadów słodkowodnych sugeruje ich morskie pochodzenie ma ograniczone zastosowanie dla analizowanych profili.

Przeprowadzone badania wykazały bardzo podobną charakterystykę petrograficzną i geochemiczną poziomów z fauną słodkowodną z otworów wiertniczych Borowo, Syczyn 7, Kulik i nieco odmienną w otworze Kopina 1.

LITERATURA

- Adamczyk, Z. 1994. Obecność B, V, Ga, Zr, Ti, Mo, Cr., w ilastych przerostach pokładów węgla warstw jakłowieckich i porębskich niecki jejkowickiej. *XVII Sympozjum nt. Geologia Formacji Węglonośnych Polski*. Kraków: PiG, s. 9–12.
- Adams, J.A i Weaver, P.A. 1958. Thorium to uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Examples of concept of geochemical facies. *American Association of Petroleum Geologist, Bulletin*, vol. 42, s. 387–430.
- Archard, G. i Trice, R.A. 1990. A preliminary investigation into the spectral radiation of the Upper Carboniferous marine bands. *Newsletters on Stratigraphy* vol. 21, s. 167–173.
- Breit, G.N. i Wanty R.B. 1991. Vanadium accumulation in carbonaceous rocks: A review of geochemical controls during deposition and diagenesis. *Chemical Geology* vol. 91, issue 2, s. 83–97.
- Campbell, F.A. i Williams, G.D. 1965. Chemical composition of shales of Mannville Group (Lower Cretaceous) of central Alberta, Canada. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* vol. 49, s. 81–87.
- Davies, S. i McLean, D. 1996. Spectral gamma ray and palynological characterisation of Kinderscoutian marine bands in the Namurian of the Pennine Basin. *Yorkshire Geological Society, Proceedings* vol. 51, s. 103–114.
- Dill i in. 1991 – Dill, H., Teschner, M. i Wehner, H. 1991. Geochemistry and lithofacies of Permo-Carboniferous carbonaceous rocks from the southwestern edge of the Bohemian Massif (Germany). A contribution to facies analysis of continental anoxic environments. *International Journal of Coal Geology* 18, s. 251–291.
- Leeder i in. 1990 – Leeder, M.R., Raiswell, R., Al-Biaty, H., McMahon, A. i Hardmann, M. 1990. Carboniferous stratigraphy, sedimentation and correlation of well 48/3–3 in the southern North Sea Basin: integrated use of palynology, natural gamma/sonic logs and carbon/sulfur geochemistry. *Geological Society of London, Journal* vol. 147, s. 287–300.
- Hollywood, J.M. i Whorlow, C.V. 1993. Structural development and hydrocarbon occurrence of the Carboniferous in the UK Southern North Sea Basin [W:] Parker, J.R., ed., *Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the Fourth Conference: Geological Society of London*, s. 689–696.
- Kombrink i in. 2008 – Kombrink, H., van OS, B.J.H., van der Zwan, C.J. i Wong, Th.E. 2008. Geochemistry of marine and lacustrine bands in the Upper Carboniferous of the Netherlands. *Netherlands. Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, s. 309–322.
- Kokowska-Pawłowska, M. 2015. Petrographic and mineral variability of the rocks accompanying selected coal seams of the Poruba beds and their influence of the trace elements content. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 31, z. 2, s. 73–92.
- Krzeszowska, E. 2015. New data on the development of the *Dunbarella* marine marker horizon in the Lublin Coal Basin (Poland). *International. Journal of Coal Geology* vol. 150–151, 1, s. 170–180.

- Musiał, Ł. i Tabor, T. 2001. Korelacja biostratygraficzna karbonu górnego Polski z innymi obszarami na podstawie makro- i mikrofauny [W:] Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych. Karbon. Budowa Geologiczna Polski, Tom III, cz. 1c, s. 22–26.
- Musiał i in. 1995 – Musiał, Ł., Tabor, M., Żakowa, H. Makrofauna in: The Carboniferous system in Poland. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego. 168, s. 23–44.
- O'Mara, P.T. i Turner B.R. 1997. Westphalian B marine bands and their subsurface recognition using gamma-ray spectrometry: Yorkshire Geological Society, Proceedings, s. 307–316.
- Pearce i in. 2010- Pearce, T.J., McLean, D., Martin, J.H., Ratcliffe, K., Wray, D.S., 2010. A whole-rock geochemical approach to the recognition and correlation of "Marine Bands". *Society for Sedimentary Geology*, s. 221–238.
- Porzycki J. i Zdanowski A. 1995. Southeastern Poland. (Lublin Carboniferous Basin) [W:] The Carboniferous system in Poland. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* nr 168, s. 102–109.
- Seremet E. i Górecki J. 2012. Podstawowe kryteria możliwości podziemnego zgazowania węgla w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 83, s. 185–192.
- Sprague, R. A., Melvin, J. A., Conradi, F. G., Pearce, T. J., Dix, M. A., Hill, S. D., & Canham, H. 2009. *Integration of Core-based Chemostratigraphy and Petrography of the Devonian Jauf Sandstones, Uthmaniya Area, Ghawar Field, Eastern Saudi Arabia*. Search and Discovery Article, 20065, 34.
- Taylor, S.R. i McLennan, S. 1985. *The continental crust its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, s. 312.
- Zdanowski, A. red. 1999. *Atlas geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego 1:500000*. Warszawa: PIG.

CHARAKTERYSTYKA GEOCHEMICZNA POZIOMÓW Z FAUNĄ SŁODKOWODNĄ FORMACJI Z LUBLINA Z LUBELSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Słowa kluczowe

LZW, formacja z Lublina, fauna słodkowodna, wskaźniki geochemiczne

Streszczenie

Formacja z Lublina zaliczana do górnego westfalu A i westfalu B stanowi główną formację węglonośną Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW). Osady westfalu B należą do serii limnicznej, w obrębie której występują nieregularnie wykształcone poziomy z fauną słodkowodną. W artykule przedstawiono charakterystykę poziomów zawierających szczątki fauny słodkowodnej z otworów wiertniczych: Borowo, Syczyn 7, Kulik, Kopina 1 (LZW).

Poziomy te budują iłowce z wkładkami lub kongrekcjami syderytu ilastego. Dla analizowanych poziomów oznaczono zawartości pierwiastków śladowych: U, Th, V, Cr, Rb, K (ICP-MS) oraz tlenki: Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, MnO, TiO₂, Cr₂O₃ (XRF), a następnie obliczono wskaźniki geochemiczne stosowane do identyfikacji paleośrodowiska sedymentacji (Th/U, Th/K₂O, V/Cr, P₂O₅/Al₂O₃, Rb/K).

Stwierdzono, że zawartość pierwiastków U, Th, V, Cr, Rb, K wykazała bardzo podobne wartości dla iłowców z otworów wiertniczych : Borowo, Syczyn 7, Kulik, natomiast w próbce z otworu Kopina 1 obserwowano wyraźnie niższe ich wartości.

Analiza wartości wskaźników geochemicznych dla wszystkich próbek wykazała, że wskaźniki takie jak: U, Th, Th/U, P₂O₅/Al₂O₃, V/Cr, Rb/K mogą być stosowane do identyfikacji środowisk sedymentacyjnych i korelacji geochemicznych sekwencji skalnych LZW.

**GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE FRESHWATER FAUNAL HORIZONS
OF THE LUBLIN FORMATION FROM THE LUBLIN COAL BASIN**

Key words

LCB, Lublin formation, freshwater faunal, geochemical ratios

Abstract

The most important part of the coal-bearing Carboniferous series is the Lublin formation (Lublin beds) (Westphalian A and B), where the main multi-seam coal deposits occur. Westphalian B is represented by a limnic series with irregularly formed horizons of freshwater faunal.

The paper presents the characteristics of horizons containing the remains of freshwater faunal from the boreholes: Borowo, Syczyn 7, Kulik, Kopina 1 (LCB).

These horizons build claystones with layers or clay siderite concretions.

For the analyzed horizons the content of the following elements: U, Th, V, Cr, Rb, K (ICP-MS) and oxides: Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, MnO, TiO₂, Cr₂O₃ (XRF) were determined. The most commonly ratios used in the identification of palaeoenvironment sedimentary were calculated (Th/U, Th/K₂O, V/Cr, P₂O₅/Al₂O₃, Rb/K).

It was found that the content of elements U, Th, V, Cr, Rb K showed very similar values for claystones from borehole: Borowo, Syczyn 7, Kulik, while the sample from borehole Kopina 1 clearly lower value was observed.

The research for all samples showed that those ratios such as: U, Th, Th/U, P₂O₅/Al₂O₃, V/Cr, Rb/K may be used to identify sedimentary environment and to geochemical correlations of the sedimentary rock sequences in the LCB.