

Granica baden–sarmat w zapisie geochemicznym osadów w północnej części zapadliska przedkarpackiego — implikacje stratygraficzne

Andrzej Gąsiewicz*, Grzegorz Czapowski*, Jolanta Paruch-Kulczycka*

Badenian–Sarmatian boundary in geochemical record in the Carpathian Foredeep area: stratigraphic implications. *Prz. Geol.*, 52: 413–420.

Summary. Results of distribution analysis of major, minor, and trace elements content as well as isotopic features and organic matter (TOC) concentration within clastic (mudstones and claystones with sandy interbeds) of the Middle Miocene (Badenian–Sarmatian) Machów Formation in the northern part of the Carpathian Foredeep (southern Poland) are presented in this paper. A chemostratigraphic study shows that the Machów Fm, underlain by evaporites (Krzyżanowice Fm) may be subdivided from the base to the top into three complexes: A, B, and C. Lithologically, the boundaries between the complexes are continuous but the contrasting geochemical difference occurs between A and B+C complexes. According to geochemical features, supported by palaeontological data, this chemostratigraphic boundary is assumed as the Badenian–Sarmatian one. Such approach reveals that the chemostratigraphic boundary occurs much higher (up to several metres) than the palaeontological one. The discordance in the boundary location is ascribed to palaeoecological factors.

Key words: Machów Formation, Badenian–Sarmatian, Middle Miocene, Carpathian Foredeep, chemostratigraphy

Monotonny litologicznie (iłowce-mułowce, podrzędnie piaskowce) kompleks morskich utworów środkowego miocenu w zapadlisku przedkarpackim, opisywany jako formacja z Machowa (np. Alexandrowicz i in., 1982; Czapowski, 1994; Czapowski & Gąsiewicz, 1994; Garlicki, 1994; Łuczowska, 1967), bądź jako ility krakowieckie (np. Ney i in., 1974; Pawłowska, 1994; Pawłowski i in., 1985) czy formacja z Krakowca (Łuczowska [W:] Cicha i in., 1998), przypisywany jest dwu piętom: badenowi i sarmatowi (ryc. 1). Kompleks ten jest podścielony utworami ewaporatowymi, budującymi korelowalny horyzont sejsmiczny, wykształcony na brzegach basenu w facji siarczanowej (formacja z Krzyżanowic), zaś w centrum zbiornika jako sole i siarczany (formacja z Wieliczki — Garlicki, 1994).

Granica biostratygraficzna między wymienionymi piętrami — badenem i sarmatem przypada na okres istotnych zmian w składzie zespołów makro- i mikrofaunistycznych (np. Czapowski & Studencka, 1990; Czepiec, 1996; Garecka & Jugowiec, 1999; Kowalewski, 1958; Łuczowska, 1967; Olszewska, 1999; Paruch-Kulczycka, 1999; Studencka, 1999; Szczehura, 1982, 2000). Jest to najczęściej wiązane ze zmianami chemizmu środowiska jako konsekwencji przebudowy strukturalnej basenów Paratetydy, co nie zeznacza się w litologii i teksturze omawianych osadów. Dlatego też, w pracach badaczy skupiających się na tej części zapisu geologicznego miocenu obserwuje się dowolność w przyjmowaniu położenia wspomnianej granicy stratygraficznej.

Spąg sarmatu jest lokowany w miejscu masowego pojawienia się w osadzie otwornic *Cycloforina stomata* i *Anomalinoides dividens* Łuczowska (Czepiec, 1996; Łuczowska, 1964), przy równoczesnym zaniku gatunków późnobadeńskich. Niższą część profilu formacji z Machowa (ryc. 1), zwykle marglistą, datowano na górny baden (podpiętro kosow) i opisywano jako warstwy przegrzebkowe (np. Czapowski & Gąsiewicz, 1994), warstwy pektenowe (np. Kowalewski, 1958) lub warstwy pektenowo-spirialisowe (np. Pawłowski i in., 1985), ze względu na liczną w niej faunę przegrzebków. Wyżej w profilu formacji wyróżniono (Pawłowski i in., 1985), tzw. warstwy syndesmowe, od nazwy używanej w latach 30. dla opisu

występującego tu małża z gatunku *Abra* (*Syndosmya*) *reflexa* (Eichwald), znanego z późnego badenu i wczesnego sarmatu. Natomiast najwyższą część profilu cechuje obecność licznych rurek wieloszczetów z rodzaju *Serpula* i śladów żebroplawów — tzw. warstwy z *Serpula* i *Ctenophora*, odpowiadające „warstwom bez skamieniałości” *sensu* Pawłowski i in. (1985). Są to utwory ility-mułowcowe, z grubszymi wkładkami piasków drobno- do gruboziarnistych w młodszym ogniwie. Z kolei szeroki zasięg zony nanoplanktonowej NN6 obejmujący, jak ustalono ostatnio (Cicha i in., 1998), górny baden i dolny sarmat nie pozwala posłużyć się tą gupą organizmów dla wyznaczenia granicy pięter. W konsekwencji opieranie się na litologicznych kryteriach makroskopowych, przy częstym braku taksonów wskaźnikowych, powoduje dość swobodne i subiektywne lokowanie tej granicy w profilach utworów nadewaporatowych.

Badania chemostratygraficzne (na podstawie danych chemicznych i izotopowych) wraz z analizą sedymentologiczną osadów i wynikami badań paleontologicznych, jakie przeprowadzili autorzy, pozwoliły lepiej rozpoznać charakter zmian środowiskowych panujących w basenie zapadliska u schyłku badenu i we wczesnym sarmacie. Powiązanie zmian w chemizmie osadów ze zmianami w zespołach faunistycznych pozwala lepiej zrozumieć charakter środowisk w tak mało zróżnicowanych litologicznie kompleksach skalnych i lepiej uzasadnić granicę obu jednostek. Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie wyników nowych badań w kontekście toczącej się dyskusji na temat podziału stratygraficznego kompleksu nadewaporatowego w basenie zapadliska przedkarpackiego.

Metodyka i zakres badań

Badania sedymentologiczne, geochemiczne i paleontologiczne utworów górnego badenu (kosowu) i sarmatu, opisywanych jako formacja z Machowa, przeprowadzono na czterech profilach wiertniczych (ryc. 2): Jamnica S–119 (obszar złoża siarki Jamnica) i trzech otworów z rejonu Alfredówka–Gwoździec (na południe od tarnobrzeskiego złoża siarki) — Buda Stalowska P–7, Gwoździec P–10 i Poręby Dębskie P–12. W otworach tych występuje ponad 200 m miąższości sukcesja (Gąsiewicz, 1989; Czapowski, 1994) osadów górnego badenu i sarmatu, odpowiadająca

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

Pododział (wiek w mln lat) Subseries (age in My.)	Piętra śródziemnomorskie (Cicha et al., 1998) Mediterranean stages	Piętra, podpiętra i jednostki litostratygraficzne w północnej części zapadliska przedkarpackiego (Paratytyda Środkowa) Stages, substages and lithostratigraphic units of northern part of Carpathian Foredeep (Central Paratethys)		Piętra Paratytydy Wschodniej (Studencka et al., 1998) Stages of Eastern Paratethys	
ŚRODKOWY MIOCEN MIDDLE MIOCENE	serrawal Serravallian	11,0	sarmat s. s. Sarmatian s. s. warstwy z Abra (cz. góra) + warstwy z Serpula i Ctenophora (ity krakowieckie) [silikoklasty] upper Abra Beds + Serpula-Ctenophora Beds (Krakowiec Clays) [siliciclastics]	S-119, P-7 formacja z Machowa Machów Formation	wczesny besarab Early Bessarabian
		11,5			wołyn Volhynian
					sarmat s. l. Sarmatian s. l.
		13,0 (13,6*)			kosow Kosovian warstwy z Abra (część dolna) lower Abra Beds
	baden Badenian warstwy spiralisowo-przegrzebkowe [margle] Spirialis-Scallops Beds [marls]				
	lang Langhian	14,8	wielicz Wieliczian formacja z Krzyżanowic [siarczany] Krzyżanowice Formation [sulphates]	karagan Karaganian	
		16,4	moraw Moravian formacja ze Skawiny (warstwy z Baranowa) [siliko- i organoklasty] Skawina Formation (Baranów Beds) [silico-organoclastics]	czokrak Chokrakian	
			późny tarchan Late Tarkhanian		

wiek granic według Cicha et al., 1998
age of boundaries after Cicha et al., 1998

* — według Studencka et al., 1998
after Studencka et al., 1998

S-119, P-7 — badane otwory wiertnicze
investigated boreholes

Ryc. 1. Uproszczona stratygrafia utworów środkowego miocenu w północnej części zapadliska przedkarpackiego

Fig. 1. Simplified stratigraphy of the Middle Miocene deposits from the northern part of Carpathian Foredeep

formacji z Machowa, z typowymi dla niej wydzieleniami litologicznym: warstwy spiralisowo-przegrzebkowe, warstwy z Abra syndosmiowe oraz warstwy z Serpula i Ctenophora. Utwory formacji z Machowa są podścielone ponad 20 m grubości warstwą siarczanów (formacja z Krzyżanowic), poniżej której nawiercono piaski ze żwirzem, należące do warstw z Baranowa, a opisywane jako warstwy baranowskie (Gašiewicz, 1989; Pawłowski i in., 1985; Wysocka, 1999). Utwory te są uznawane za płytko-

wodny odpowiednik utworów formacji ze Skawiny (Piwocki i in., 1996). Celem obserwacji sedymentologicznych poczynionych w obrębie utworów formacji z Machowa było określenie zmian facjalnych i ewentualnej pozycji powierzchni nieciągłości (twarde dna, kondensacje, powierzchnie braku depozycji, erozja).

Wyniki badań sedymentologicznych, magnetostratygraficznych, mikropaleontologicznych i paleobotanicznych całego kompleksu osadów formacji z Machowa na północnym, należącym do świętokrzyskiego brzegu zapadliska przedkarpackiego, przedstawiono w kilku wcześniejszych publikacjach (Czapowski, 1994; Gaździcka, 1994; Gedl, 1999; Król & Jeleńska, 1999; Paruch-Kulczycka, 1999, 2000; Sadowska, 1999).

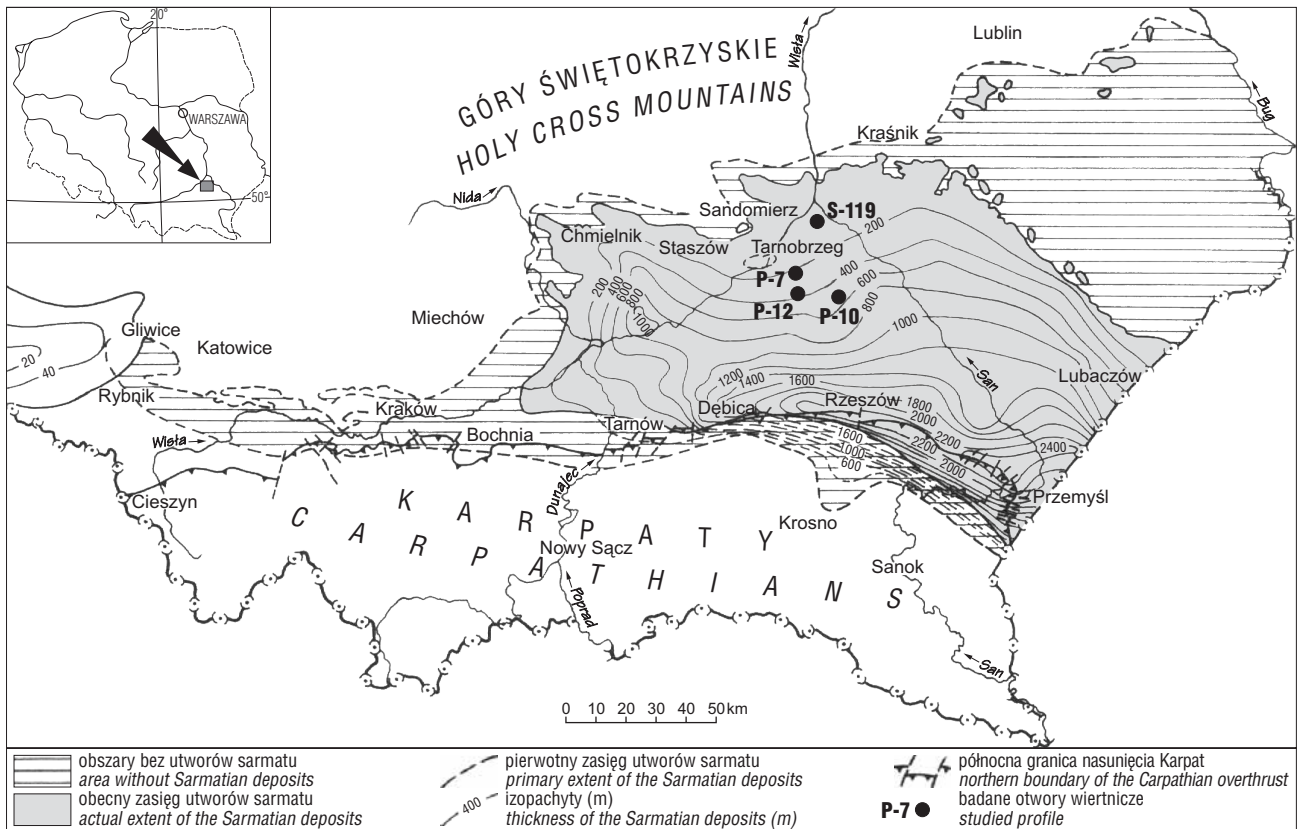
Badania geochemiczne objęły oznaczenie zawartości składników głównych, pobocznych i śladowych, zawartości całkowitego węgla organicznego (TOC) oraz zmiany wartości izotopowych tlenu i węgla w kilkuset próbkach z otworów S-119 i P-7. Analizy chemiczne metodą XRF (spektrometrem Philips PW 2400) oraz zawartości TOC (aparatem Coulomat 702 CS/LI firmy Ströhlein) wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. Oznaczenia wartości izotopów tlenu i węgla wykonano w Instytucie Geologii i Mineralogii Uniwersytetu Erlangen-Norymberga (Niemcy).

Główne cechy geochemiczne utworów nadewaporatowych

Mioceński poziom nadewaporatowy północnej części zapadliska przedkarpackiego jest ogólnie monotonnym kompleksem litologicznym złożonym z utworów detrytycznych, wśród których

dominuje faza ilasta. Skały te występują głównie jako utwory szare i zielonkawe, ilasto-mułowcowe (iłomułowce przechodzące w pakiety mułowcowe) z podrzędnym udziałem przewarstwień piasków i piaskowców (lokalnie z domieszką żwiru) oraz sporadycznymi przewarstwieniami bardziej marglistymi i wapiennymi. Seria ta jest bardziej marglista (margle ilaste i wapieniste) w dolnej części profilu.

Poziom nadewaporatowy jest dobrze rozpoznany mineralogicznie w rejonach wymienionych wierceń i na sąsied-



Ryc. 2. Lokalizacja badanych otworów wiertniczych oraz obecny zasięg występowania i miąższość utworów sarmatu w zapadlisku przedkarpackim (wg Ney i in., 1974)

Fig. 2. Location of studied well profiles and actual extent and thickness of the Sarmatian deposits in the Carpathian Foredeep (after Ney et al., 1974)

nych obszarach (np. Bahranowski & Ratajczak, 1979; Kozłowski & Kozydra, 1965; Ratajczak & Szafran, 1982; Stoch i in., 1977 — zob. Jasionowski, 1999 z literaturą).

Ogólnie dość jednolity skład litologiczny tego poziomu jest odzwierciedlony także w składzie chemicznym osadów. Składnikami głównymi całego kompleksu skalnego ponad utworami ewaporatowymi są: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO i K_2O ; pobocznymi — Na_2O , TiO_2 , MnO , SO_3^{2-} , P_2O_5 , Ba i Sr , a śladowymi — pozostałe. Miarą jednolitości wykształcenia tego kompleksu są bardzo zbliżone (w odniesieniu do Al_2O_3 , K_2O , Ga , Hf i Zn) lub prawie identyczne (P_2O_5 i As) zawartości średnie w wyróżnionych poniżej częściach całej serii. Dla całego kompleksu są charakterystyczne nieliczne, ale silne ($r = > 0,70$) i bardzo silne korelacje ($r = > 0,90$) między Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , Cr , Ga , Rb i V .

W profilach udziału składników geochemicznych w poziomie nadewaporatowym w obu otworach wiertniczych zaznacza się wyraźna trójdzielność rozkładu, co sugeruje podział całego poziomu na trzy jednostki chemostratygraficzne oznaczone kolejno od dołu jako kompleksy geochemiczne A, B i C (tab. 1). Kompleksy te mają zmienną miąższość w badanych otworach wiertniczych, przy czym kompleks A ma najmniejszą, a kompleks C największą grubość (ryc. 3). Kompleksy te cechują się zmiennymi wartościami izotopowymi tlenu i węgla oraz — za wyjątkiem P_2O_5 — średnimi koncentracjami składników chemicznych. Główne cechy rozkładu geochemicznego w tych kompleksach przedstawiono w tab. 1 i omówiono poniżej.

Kompleks A. W tym kompleksie skalnym tylko wartość średnia P_2O_5 jest taka sama jak w pozostałych kompleksach, zawartości średnie pozostałych składników różnią się. Kompleks A względem wyżej występujących kompleksów cechuje się statystycznie wyraźnymi:

1) najmniejszymi średnimi wartościami ^{13}C ($-3,7\text{‰}$) i zawartościami SiO_2 , Ti_2O , Cr , Pb , Rb i Zr oraz największymi — CaO , MnO , SO_3^{2-} , Ba , Co , Ni i Sr ;

2) najmniejszymi zakresami zmian koncentracji As i Cu oraz największymi — wartościami ^{18}O ($8,2\text{‰}$), ^{13}C ($29,8\text{‰}$) i zawartościami SiO_2 , CaO , K_2O , P_2O_5 , Ba , Cr , Rb , Sr i V ;

3) bardzo silnymi korelacjami pozytywnymi między SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , Ti_2O , Cr , Ga , Rb i V oraz ich silnie negatywnymi korelacjami z CaO . Większość (63%) analizowanych składników chemicznych (w tym wartości izotopowe) tego kompleksu, wykazuje względnie największe zakresy zmian, takie same lub zbliżone do zakresów charakterystycznych dla całego poziomu nadewaporatowego. Wskazuje to na bardzo niestabilne warunki podczas sedymentacji tego kompleksu.

Kompleks B. Środkowa część poziomu nadewaporatowego odróżnia się od pozostałych głównie przez względnie wyraźne:

1) najwyższe średnie wartości ^{18}O i ^{13}C (odpowiednio $-1,60\text{‰}$ i $-0,08\text{‰}$) oraz zawartości TOC i Cu oraz najniższe Ba ;

2) najmniejsze zakresy zmian wartości ^{18}O (3‰) i koncentracji Na_2O , Ba i Rb , a największe — TOC , MgO , MnO i Ni ;

3) silnie negatywna korelacja między CaO a Ti₂O. Zdecydowana większość (70%) średnich zawartości składników chemicznych (w tym wartości ¹⁸O i ¹³C) tego kompleksu są większe od wartości średnich dla całej serii osadów ponad ewaporatami. Największe zakresy zmian w tej jednostce względem kompleksów A i C wykazują bardzo nieliczne składniki, takie jak: TOC, MgO, MnO, Hf i Ni. Wskazuje

to na względnie najbardziej wyrównane warunki depozycji podczas sedymentacji tego kompleksu osadowego.

Kompleks C. Wartości średnie składników izotopowych tlenu i węgla oraz większości składników chemicznych tego kompleksu są większe od wartości średnich dla całego poziomu nadewaporatowego. Utwory kompleksu C wyróżniają się wyraźnie przez:

Tab. 1. Skład chemiczny utworów nadewaporatowych w otworach wiertniczych S-119 i P-7 (parametry statystyczne)

Table 1. Chemical composition of the Middle Miocene supraevaporitic deposits in studied boreholes S-119 and P-7 (statistic data)

Jednostki geochemiczne Geochemical units	* ¹⁸ O	* ¹³ C	TOC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	SO ₃ ²⁻	P ₂ O ₅ %
	%													
Kompleks C <i>Complex C</i>														
Średnia <i>Average</i>	-2,85	-1,00	0,67	54,20	13,94	5,36	5,92	2,58	2,65	1,15	0,70	0,10	0,09	0,12
Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i>	0,47	0,39	0,12	3,81	1,37	0,85	0,55	0,23	0,21	0,14	0,05	0,02	0,10	0,01
Zakres <i>Interval</i>	4,33	2,46	1,06	32,26	11,33	7,58	5,12	2,21	1,85	0,99	0,53	0,27	0,72	0,10
Minimum	-4,45	-1,91	0,22	47,56	6,27	1,58	3,66	1,02	1,67	0,81	0,38	0,04	0,01	0,07
Maksimum <i>Maximum</i>	-0,12	0,56	1,28	79,82	17,60	9,16	8,78	3,23	3,52	1,80	0,91	0,31	0,72	0,17
Liczba pom. <i>Numbers of measures</i>	248	248	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322
Poz. ufn. (95%) <i>Confidence interval</i>	0,06	0,05	0,01	0,42	0,15	0,09	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00
Kompleks B <i>Complex B</i>														
Średnia <i>Average</i>	-1,60	-0,08	0,97	49,00	13,99	5,15	7,97	2,59	2,62	1,02	0,64	0,16	0,19	0,13
Odch. stand. <i>Standard deviation</i>	0,64	0,98	0,36	5,04	1,20	0,58	3,46	0,35	0,24	0,20	0,07	0,27	0,16	0,03
Zakres <i>Interval</i>	2,97	3,90	1,74	34,72	8,63	2,87	25,21	2,86	1,70	0,78	0,45	2,15	0,80	0,19
Minimum	-3,03	-1,95	0,44	23,94	7,06	4,15	4,58	1,57	1,26	0,51	0,29	0,06	0,01	0,09
Maksimum <i>Maximum</i>	-0,06	1,95	2,18	58,66	15,69	7,02	29,79	4,43	2,96	1,29	0,74	2,22	0,80	0,29
Liczba pom. <i>Numbers of measures</i>	58	58	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Poz. ufn. (95%) <i>Confidence interval</i>	0,17	0,26	0,08	1,09	0,26	0,13	0,75	0,07	0,05	0,04	0,01	0,06	0,04	0,01
Kompleks A <i>Complex A</i>														
Średnia <i>Average</i>	-1,99	-3,69	0,61	39,53	11,45	4,04	16,73	2,13	2,20	0,76	0,48	0,24	0,35	0,12
Odch. stand. <i>Standard deviation</i>	1,96	6,05	0,28	10,06	3,25	0,99	9,86	0,59	0,71	0,28	0,14	0,27	0,24	0,05
Zakres <i>Interval</i>	8,18	29,80	1,12	43,09	12,93	4,62	40,53	2,06	2,97	1,05	0,56	1,19	0,84	0,32
Minimum	-7,58	-28,43	0,08	11,30	3,29	1,54	6,24	0,82	0,15	0,18	0,14	0,06	0,04	0,05
Maksimum <i>Maximum</i>	0,60	1,37	1,20	54,39	16,22	6,16	46,77	2,88	3,12	1,23	0,70	1,24	0,88	0,37
Liczba pom. <i>Numbers of measures</i>	48	48	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Poz. ufn. (95%) <i>Confidence interval</i>	0,57	1,76	0,07	2,43	0,79	0,24	2,39	0,14	0,17	0,07	0,03	0,07	0,06	0,01
Cała seria nadewaporatowa <i>Whole supraevaporitic series</i>														
Średnia <i>Average</i>	-2,53	-1,22	0,71	51,17	13,59	5,13	7,83	2,52	2,58	1,07	0,66	0,13	0,15	0,12
Odch. stand. <i>Standard deviation</i>	0,99	2,49	0,24	7,43	1,95	0,94	5,47	0,36	0,37	0,23	0,11	0,16	0,17	0,03
Zakres <i>Interval</i>	8,18	30,38	2,10	68,52	14,31	7,62	43,11	3,61	3,37	1,62	0,77	2,18	0,88	0,32
Minimum	-7,58	-28,43	0,08	11,30	3,29	1,54	3,66	0,82	0,15	0,18	0,14	0,04	0,01	0,05
Maksimum <i>Maximum</i>	0,60	1,95	2,18	79,82	17,60	9,16	46,77	4,43	3,52	1,80	0,91	2,22	0,88	0,37
Liczba pom. <i>Numbers of measures</i>	354	354	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475
Poz. ufn. (95%) <i>Confidence interval</i>	0,10	0,26	0,02	0,67	0,18	0,09	0,49	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00

1) średnio najniższą wartość ^{18}O ($-2,9\%$) i umiarkowaną ^{13}C (-1%) oraz średnie koncentracje względnie najniższe w odniesieniu do SO_3^{2-} , Co i Cu, a najwyższe — SiO_2 , Pb i Zr;

2) najniższymi zakresami zmian wartości ^{13}C (ok. $2,5\%$) oraz zawartości Ni i Sr, a największymi — $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$, As, Cu, Zn i Zr;

3) silnymi pozytywnymi korelacjami między Al_2O_3 , Rb i V. Podobnie jak w kompleksie B tylko nieliczne, ale inne składniki chemiczne ($\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$, As, Cu, Hf, Y, Zn i Zr) wykazują stosunkowo największe zakresy zmian zawartości. Sugeruje to zmianę warunków podczas sedymentacji tego kompleksu.

cd. Tab. 1. Skład chemiczny utworów nadewaporatowych w otworach wiertniczych S-119 i P-7 (parametry statystyczne)
Table 1. Chemical composition of the Middle Miocene supraevaporitic deposits in studied boreholes S-119 and P-7 (statistic data)

As	Ba	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
ppm															
Kompleks C <i>Complex C</i>															
12,37	348,66	9,65	100,73	22,39	17,86	4,90	9,99	44,93	20,22	132,56	300,13	130,57	11,30	85,78	147,72
4,68	40,79	4,16	12,30	18,84	2,25	2,36	1,58	9,03	6,03	14,21	132,48	17,85	2,14	15,25	30,66
49,00	510,00	30,50	90,00	192,00	15,00	9,50	11,00	72,00	24,00	105,00	511,00	124,00	19,00	159,00	203,00
4,00	264,00	1,50	60,00	5,00	8,00	1,50	4,00	19,00	8,00	64,00	124,00	41,00	5,00	30,00	92,00
53,00	774,00	32,00	150,00	197,00	23,00	11,00	15,00	91,00	32,00	169,00	635,00	165,00	24,00	189,00	295,00
322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322
0,51	4,47	0,46	1,35	2,07	0,25	0,26	0,17	0,99	0,66	1,56	14,52	1,96	0,23	1,67	3,36
Kompleks B <i>Complex B</i>															
13,38	327,72	16,76	95,78	38,06	17,86	3,99	9,97	58,54	17,89	134,94	498,94	136,52	9,99	94,00	111,41
4,57	63,20	9,03	11,82	23,76	1,92	2,21	2,32	22,26	6,23	13,52	348,50	15,36	2,46	21,22	29,50
32,50	393,00	40,50	84,00	104,00	13,00	9,50	14,50	138,00	25,00	91,00	1867,00	115,00	12,00	119,00	132,00
1,50	189,00	1,50	37,00	5,00	10,00	1,50	1,50	30,00	5,00	66,00	187,00	64,00	4,00	66,00	55,00
34,00	582,00	42,00	121,00	109,00	23,00	11,00	16,00	168,00	30,00	157,00	2054,00	179,00	16,00	185,00	187,00
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
0,99	13,63	1,95	2,55	5,12	0,41	0,48	0,50	4,80	1,34	2,92	75,17	3,31	0,53	4,58	6,36
Kompleks A <i>Complex A</i>															
13,03	626,35	24,46	78,74	32,78	14,96	3,94	6,80	70,15	13,74	113,06	666,56	120,63	9,09	83,40	81,87
7,03	1106,30	11,47	25,76	16,42	4,69	2,20	3,50	27,83	6,12	35,81	361,91	36,30	3,70	25,28	26,04
30,50	6292,00	50,00	128,00	92,00	20,50	8,50	16,50	116,00	28,50	152,00	2328,00	156,00	17,00	134,00	125,00
1,50	61,00	6,00	8,00	5,00	1,50	1,50	1,50	8,00	1,50	12,00	408,00	21,00	1,00	24,00	27,00
32,00	6353,00	56,00	136,00	97,00	22,00	10,00	18,00	124,00	30,00	164,00	2736,00	177,00	18,00	158,00	152,00
68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
1,70	267,78	2,78	6,24	3,98	1,14	0,53	0,85	6,74	1,48	8,67	87,60	8,79	0,89	6,12	6,30
Cała seria nadewaporatowa <i>Whole supraevaporitic series</i>															
12,65	384,67	13,04	96,69	26,68	17,45	4,60	9,53	50,98	18,87	130,19	388,17	130,21	10,75	86,91	131,79
5,07	429,74	8,59	16,69	20,49	2,87	2,34	2,37	18,45	6,48	20,01	265,53	21,54	2,61	18,42	38,61
51,50	6292,00	54,50	142,00	192,00	21,50	9,50	16,50	160,00	30,50	157,00	2612,00	158,00	23,00	165,00	268,00
1,50	61,00	1,50	8,00	5,00	1,50	1,50	1,50	8,00	1,50	12,00	124,00	21,00	1,00	24,00	27,00
53,00	6353,00	56,00	150,00	197,00	23,00	11,00	18,00	168,00	32,00	169,00	2736,00	179,00	24,00	189,00	295,00
475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475
0,46	38,75	0,77	1,50	1,85	0,26	0,21	0,21	1,66	0,58	1,80	23,94	1,94	0,24	1,66	3,48

STRATYGRAFIA STRATIGRAPHY		KOMPLEKSY GEOCHEMICZNE GEOCHEMICAL COMPLEXES	
		otwór S-119 borehole S-119	otwór P-7 borehole P-7
sarmat s. s. Sarmatian s. s.		30,0 m	25,0 m
		kompleks geochemiczny C geochemical complex C	kompleks geochemiczny C geochemical complex C
		formacja z Machowa Machów Formation	formacja z Machowa Machów Formation
		171,0 m	171,0 m
B/S g. b.		207,0 m	216,5 m
		kompleks geochemiczny B geochemical complex B	kompleks geochemiczny B geochemical complex B
Baden Badenian		237,65 m	252,7 m
		kompleks geochemiczny A geochemical complex A	kompleks geochemiczny A geochemical complex A
kosow Kosovian		S. ml. S. f. B. f.	B/S f. b.
wielicz Wieliczian		formacja z Krzyżanowic Krzyżanowice Formation	formacja z Krzyżanowic Krzyżanowice Formation
moraw Moravian		270,0 m	274,5 m
		274,5 m koniec otworu well bottom	290,0 m
			warstwy z Baranowa Baranów Beds

Porównanie kompleksów geochemicznych. Przedstawione powyżej cechy rozkładu składników chemicznych w wydzielonych kompleksach geochemicznych wykazują dość wyraźne różnice uzasadniające ich wyróżnienie. Porównania te wykazują, że kompleks A bardziej różni się od B i C niż one między sobą. Kompleksy B i C, w stosunku do cech rozkładu składników geochemicznych w całego poziomu nadewaporatowego, wykazują wzajemne podobieństwa. Przede wszystkim zwraca uwagę wyraźnie większy w nich (choć większy w kompleksie C niż w B) udział składników detrytycznych (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , Ti_2O , MnO , Ba, Ga, Nb, Rb i V) i ogólnie wysokie korelacje między nimi niż ma to miejsce w kompleksie A. Do cech wyróżniających oba kompleksy należą także znacznie węższe zakresy zmian wartości ^{18}O i



Ryc. 3. Kompleksy geochemiczne w utworach środkowego miocenu w otworach wiertniczych S-119 i P-7. Objasnienia: B/S f. b. — granica baden/sarmat wg danych biostratygraficznych; B/S g. b. — granica baden/sarmat wg danych geochemicznych; B. f. — występowanie otwornic późnego badenu; S. f. — występowanie otwornic wczesnego sarmatu; S. ml. — występowanie małży wczesnego sarmatu (objasnienia w tekście)

Fig. 3. Succession of geochemical complexes within the Middle Miocene deposits in studied boreholes S-119 and P-7; Explanations: B/S f. b. — Badenian/Sarmatian boundary after biostratigraphic data; B/S f. g. — Badenian/Sarmatian boundary after geochemical data; B. f. — late Badenian forams; S. f. — early Sarmatian forams; S. ml. — early Sarmatian molluscs (details in text)

^{13}C (odpowiednio 3‰ i 3,9‰ oraz 4,3‰ i 2,5‰) niż w kompleksie A. Ponadto w obu tych jednostkach średnie wartości i koncentracje składników chemicznych są odpowiednio w większości (53%) lub w zdecydowanej większości (80%) zbliżone do wartości średnich dla całej serii nadewaporatowej. Odwrotnie jest z zakresami zmian tych elementów w obu tych kompleksach, które w zdecydowanej większości (odpowiednio 83% i 77% składników) znacznie odbiegają od przedziałów zmian właściwych dla całej serii powyżej poziomu ewaporatowego.

Kompleks A, w odróżnieniu od B i C, cechuje się najniższym średnim udziałem składników detrytycznych, a wyraźnie podwyższonym — CaO, Ba i Sr, a także największymi zmianami wartości izotopowych oraz większości składników chemicznych. W kompleksie tym średnie wartości izotopowe i koncentracje wszystkich (poza P_2O_5) składników wyraźnie odbiegają (są mniejsze lub większe) od wartości typowych dla całego poziomu nadewaporatowego (tab. 1). Szczególnie jaskrawo odnosi się to do zmian wartości ^{13}C (od ok. $-28,9$ do $+2\%$), a wyraźnie do: SiO_2 , CaO, MnO, SO_3^{2-} , Ba, Co, Cr, Ni, Pb, Rb, Sr i Zr. Zakresy zmian większości analizowanych składników (63%) są zaś prawie lub takie same jak dla całego poziomu nadewaporatowego. Uwagę zwracają jednak (poza wartościami izotopowymi) znacznie większe niż w kompleksach B i C wahania zawartości SiO_2 , CaO, K_2O , P_2O_5 , Ba, Cr, Rb, Sr i V, a mniejsze Cu i Zr. Od górnego członu osadowego odróżniają go inne wzory korelacji: silne i bardzo silne korelacje (zwłaszcza między składnikami detrytycznymi) są w nim znacznie liczniejsze niż w wyżej leżących kompleksach. Ponadto utwory dolnego członu osadowego wykazują bardzo zmienne tendencje rozkładu (wzrost–spadek) oraz krótkotrwałe o znacznej amplitudzie fluktuacje wartości izotopowych i składników chemicznych, górnego zaś względnie wyrównane, często bez widocznej lub wyraźnej tendencji w rozkładzie poszczególnych elementów. Wyraźniejsze fluktuacje niektórych składników (poza lokalnymi i okresowo silniejszymi wahaniami), są związane z zawartością frakcji klastycznej i wykazują gruboskalowe trendy rozkładu obejmujące oba kompleksy geochemiczne.

Implikacje stratygraficzne — pozycja granicy baden–sarmat

Dane faunistyczne. Analiza fauny małżowej w profilu otworu Jamnica S-119 (Studencka [W:] Czapowski & Gąsiewicz, 1997) udokumentowała obecność na głęb. 239,5–240 m (ryc. 3) form indeksowych dla wczesnego sarmatu (wołyń).

Badania mikrofaunistyczne przeprowadzone w tym samym profilu (Paruch-Kulczycka 1999; Szczechura, 2000), wykazały w osadach, występujących od spągu otworu do głęb. 247 m, obecność zespołu otwornicowego wskaźnikowego dla późnobadeńskiego poziomu *Hanza-waia crassiseptata*, a od głęb. 242,5 m ku górze profilu — dla wczesnosarmackiego poziomu *Anomalinoides dividends*. Sukcesja zespołów otwornicowych w profilu Jamnica S-119 pozwala zlokalizować granicę biostratygraficzną między badenem i sarmatem w interwale głębokościowym 247–242,5 m (ryc. 3). W otworze P-7 granica ta przebiega w interwale głęb. 233,1–248,2 m (ryc. 3), w profilu otworu P-12 formy sarmackie odnotowano w próbkach powyżej głęb. 400 m, zaś próbka z głęb. 455 m zawierała tylko okazy badeńskie. Z kolei w otworze P-10 najniższa pobrana próbka z głęb. 500 m zawierała tylko zespoły sarmackie, stąd niemożliwe tu było określenie położenia granicy pięter.

Dane geochemiczne. W analizowanych osadach pionowa zmienność rozkładu badanych składników wyznacza wyraźną trójdzielność profilu poziomu nadewaporatowego, dzieląc go na trzy jednostki chemostratygraficzne.

Rozkład cech geochemicznych widoczny w dolnej części poziomu (kompleks A) wyraźnie różni się od rozkładu cech występującego w górnym członie osadowym profilu (kompleksy B i C). Obserwowane między kompleksami A i B zmiany wartości izotopowych oraz koncentracji wielu składników, w niektórych przypadkach, mają charakter zmian skokowych. Natomiast zmiany obserwowane w wyższej części kompleksu A, a dotyczące zawartości większości składników, wykazują na krótkim odcinku tendencję do coraz mniejszych wahań, przechodząc w dość wyrównany rozkład w kompleksach B i C. Te cechy rozkładu elementów geochemicznych oraz brak śladów braku depozycji, erozji i kondensacji wskazują na ciągły charakter sedymentacji.

Ze względu na znaczne podobieństwa między kompleksami B i C granica między nimi jest mniej wyraźna, co sugeruje mniejszą rangę zmiany środowiskowej, jaka nastąpiła podczas sedymentacji tej części poziomu nadewaporatowego. Porównywalnie znacznie większa zmiana środowiskowa występuje między kompleksami A i B. Zmiana ta w niniejszym opracowaniu jest interpretowana jako **granica geochemiczna między piętrami badenu i sarmatu**. Tak zdefiniowana granica między tymi piętrami jest zlokalizowana w pobliżu granicy biostratygraficznej. Zatem, konsekwentnie, kompleks geochemiczny A zaliczany jest do badenu, natomiast kompleks B do niższej, a kompleks C do wyższej części sarmatu.

W badanych profilach otworów (Jamnica S-119 i Buda Stalowska P-7 — ryc. 3) granica geochemiczna pięter baden-sarmat występuje kilkanaście metrów powyżej granicy biostratygraficznej, wyznaczonej w oparciu o wyniki analiz paleontologicznych. Jej pozycja stratygraficzna jest bliska początkowi wyróżnianego II. cyklu sedymentacyjnego w otworze Jamnica S-119 (Czapowski, 1994). W przyjętym podziale chemostratygraficznym wymienionych otworów wiertniczych wyróżniony kompleks A obejmuje warstwy spiralisowo-przegrzebkowe i najniższą część warstw z Abra, zaś kompleksy B i C odpowiadają wyższej części warstw z Abra oraz warstwom z Serpula i Ctenophora.

Rozbieżność w interpretacji pozycji granicy geochemicznej i biostratygraficznej badenu i sarmatu jest istotna i może wynikać z różnych przyczyn, w tym z odmiennej rozdzielczości stosowanych metod badawczych. Uwidacznia się przy tym waga badań chemostratygraficznych w stratygrafii, w szczególności w przypadku osadów niemych faunistycznie.

Podsumowanie

Dotychczas mioceńskie utwory nadewaporatowe w zapadlisku przedkarpackim dzielono na podstawie kryteriów paleontologicznych i litologicznych. Paleontologiczna granica między piętrami badenu i sarmatu została wyznaczona na podstawie istotnych zmian w składzie zespołów faunistycznych prowadzącą do zubożenia, a nawet całkowitego zaniku fauny. Zubożenie składu taksonomicznego i zanik form stenohalicznych wiązane są ze zmianą warunków paleośrodowiskowych (Czepiec, 1996; Garecka & Jugowiec, 1999; Kowalewski, 1958; Łuczowska, 1967; Paruch-Kulczycka, 1999; Studencka, 1999; Szczechura, 1982, 2000) jako następstwa przebudowy zbiornika mioceńskiego (Krysiak, 2000; Oszczypko, 1997, 1999; Pawłowski i in., 1985) lub zaburzeniami cyrkulacji wód w zbiorniku morskim wskutek zmian klimatycznych (Gonera, 2001).

Wyniki badań geochemicznych (chemicznych i izotopowych) utworów nadewaporatowych (baden-sarmat) pozwoliły wydzielić trzy jednostki chemostratygraficzne, określone jako kompleksy geochemiczne A, B i C. Nie udaje się wyróżnić granic litologicznych pomiędzy poszczególnymi kompleksami.

Pod względem geochemicznym najniżej leżący kompleks A wyraźnie odróżnia się od wyżej leżących kompleksów B i C wykazujących z kolei pewne podobieństwa między sobą. Różnice w rozkładzie cech izotopowych (tlen i węgiel) i składu chemicznego oraz dane paleontologiczne i sedymentologiczne pozwalają zaliczyć kompleks A do badenu zaś kompleksy B i C do sarmatu.

Granica pięter badenu i sarmatu ustalona chemostratygraficznie nie jest tożsama z granicą biostratygraficzną i występuje kilkanaście metrów powyżej granicy biostratygraficznej. Ten brak zgodności położenia tych granic jest prawdopodobnie wynikiem wpływu czynników ekologicznych eliminujących zespół badeński wcześniej niż nastąpiła wyraźna zmiana w zapisie geochemicznym.

Autorzy serdecznie dziękują Recenzentce, dr Barbarze Studenckiej z Muzeum Ziemi PAN, za podjęty trud wnikliwej oceny pracy, szczegółowe korekty oraz cenne uwagi i sugestie.

Badania wykonano w ramach działalności statutowej PIG ze środków finansowych Komitetu Badań Naukowych (projekt nr 6.20.1436.00.0).

Literatura

- ALEXANDROWICZ S. W., GARLICKI A. & RUTKOWSKI J. 1982 — Podstawowe jednostki litostratygraficzne mioцену zapadliska przedkarpackiego. Kwart. Geol., 26: 470–471.
 CICHÁ I., RÖGL F., RUPP CH. & CTYROKA I. 1998 — Oligocene–Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh. senckenberg. Naturforsch. Ges., 549: 1–325. Frankfurt.
 CZAPOWSKI G. 1994 — Sedimentation of Middle Miocene marine complex from the area near Tarnobrzeg north–central part of the Carpathian Foredeep). Geol. Quart., 38: 577–592.
 CZAPOWSKI G. & GAŚIEWICZ A. 1994 — Preface. Geol. Quart., 38: 337–340.
 CZAPOWSKI G. & GAŚIEWICZ A. 1997 — Analiza wykształcenia utworów pod- i nadewaporatowych mioцену w północnej brzeżnej części zapa-

- dliska przedkarpackiego celem określenia uwarunkowań występowania epigenetycznych złóż siarki rodzimej. CAG Państw. Inst. Geol.
- CZAPOWSKI G. & STUDENCKA B. 1990 — Studium sedymentologiczno-paleontologiczne osadów barierowych dolnego sarmatu w rejonie Chmielnika (południowe obrzeżenie Gór Świętokrzyskich). Pr. Geol., 38: 117–127.
- CZEPIEC I. 1996 — Biostratygrafia i warunki depozycji osadów północnej strefy brzeżnej sarmatu Polski. Z. Nauk. AGH, Geologia, t. 22: 309–338.
- GARECKA M. & JUGOWIEC M. 1999 — Wyniki badań biostratygraficznych miocenu zapadliska przedkarpackiego na podstawie nanoplanktonu wapiennego. Pr. Państw. Inst. Geol., 168: 29–42.
- GARLICKI A. 1994 — Formalne jednostki litostratygraficzne miocenu — formacja z Wieliczki (fm). Pr. Geol., 42: 26–28.
- GAŹDZIĆKA E. 1994 — Nannoplankton stratigraphy of the Miocene deposits in Tarnobrzeg area (northeastern part of the Carpathian Foredeep). Geol. Quart., 38: 553–570.
- GAŚIEWICZ A. 1989 — Wyniki prac poszukiwawczych złóż siarki rodzimej Alfredówka–Gwoździec. Pr. Geol., 37: 207–209.
- GEDL P. 1999 — Palaeoenvironmental and sedimentological interpretations of the palynofacial analysis of the Miocene deposits from the Jamnica S–119 borehole (Carpathian Foredeep, Poland). Geol. Quart., 43: 479–492.
- GONERA M. 2001 — Otwornice i paleośrodowisko formacji badenianu (miocen środkowy) na obszarze Górnego Śląska. Studia Naturae, 48: 1–211.
- JASIONOWSKI M. 1999 — Historia diagenetyczna trzeciorzędu przedkarpackiego — podsumowanie dotychczasowych badań. Pr. Państw. Inst. Geol., 168: 119–124.
- KOWALEWSKI K. 1958 — Stratygrafia trzeciorzędu Polski Południowej ze specjalnym uwzględnieniem południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Kwart. Geol., 2: 3–43.
- KRÓL E. & JELEŃSKA M. 1999 — The local magnetostratigraphic scale for the supra-evaporitic Miocene deposits in the northern part of Carpathian Foredeep and its stratigraphic implications (drill-core Jamnica S–119). Geol. Quart., 43: 509–518.
- KRYŚIAK Z. 2000 — Tectonic evolution of the Carpathian Foredeep and its influence on Miocene sedimentation. Geol. Quart., 44: 137–156.
- ŁUCZKOWSKA E. 1964 — Stratygrafia mikropaleontologiczna miocenu w rejonie Tarnobrzeg–Chmielnik. Pr. Geol. PAN, Oddz. w Krakowie, 20: 1–72.
- ŁUCZKOWSKA E. 1967 — Paleokologia i stratygrafia mikropaleontologiczna miocenu okolic Grzybowa koło Staszowa. Acta Geol. Pol., 17: 219–249.
- NEY R., BURZEWSKI W., BACHLEDA T., GÓRECKI W., JAKÓBCZAK K. & ŚLUPCZYŃSKI K. 1974 — Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facjalnego utworów miocenu zapadliska przedkarpackiego. Pr. Geol. PAN, 82: 1–65.
- OLSZEWSKA B. 1999 — Biostratygrafia neogenu zapadliska przedkarpackiego w świetle nowych danych mikropaleontologicznych. Pr. Państw. Inst. Geol., 168: 9–28.
- OSZCZYPKO N. 1997 — The Early–Middle Miocene Carpathian peripheral foreland basin (Western Carpathians Poland). Pr. Geol., 45: 1054–1063.
- OSZCZYPKO N. 1999 — Przebieg miocenijskiej subsydencji w polskiej części zapadliska przedkarpackiego. Pr. Państw. Inst. Geol., 168: 209–230.
- PARUCH-KULCZYCKA J. 1999 — Genus *Silicoplaentina* (Class Amoebina) from the Miocene Machów Formation (Krakowiec Clays) of the northern Carpathian Foredeep. Geol. Quart., 43: 499–508.
- PARUCH-KULCZYCKA J. 2000 — Zespół otwornic najmłodszej serii ilów krakowieckich z rejonu Tarnobrzega. XVII Konf. Paleont., 21–23.IX.2000, Kraków, 55–56.
- PAWŁOWSKA K. 1994 — Miocene and its basement in sulphur-bearing areas of marginal part of the Carpathian Foredeep — a summary. Geol. Quart., 38: 365–376.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K. & KUBICA B. 1985 — Budowa geologiczna tarnobrzeżskiego złoża siarki rodzimej. Pr. Inst. Geol., 114: 1–109.
- PIWOCKI M., OLSZEWSKA B. & CZAPOWSKI G. 1996 — Korelacja biostratygraficzna neogenu Polski z krajami sąsiednimi. Budowa Geol. Polski, t. III, cz. 3a: 517–529. Warszawa.
- SADOWSKA A. 1999 — Sarmatian palynoflora from Jamnica near Tarnobrzeg (Carpathian Foredeep) — environmental and climatic implications. Geol. Quart., 43: 493–498.
- STUDENCKA B. 1999 — Remarks on Miocene bivalve zonation in the Polish part of the Carpathian Foredeep. Geol. Quart., 43: 467–477.
- STUDENCKA B., GONTSHAROVA I. & POPOV S. V. 1998 — The bivalve faunas as a basis for reconstruction of the Middle Miocene history of the Paratethys. Acta Geol. Pol., 48: 285–342.
- SZCZĘCHURA J. 1982 — Middle Miocene Foraminiferal Biochronology and Ecology of SE Poland. Acta Paleont. Pol., 27: 3–44.
- SZCZĘCHURA J. 2000 — Palaeoenvironments of the Middle Miocene evaporite-bearing deposits from the Działoszyce Trough (Carpathian Foredeep, Poland) based on microfauunal studies. Geol. Quart., 44: 119–135.
- WYSOCKA A. 1999 — Depositional and tectonic controls on Early Badenian clastic sedimentation in the Sandomierz–Tarnobrzeg area (Baranów Beds, northern Carpathian Foredeep). Geol. Quart., 43: 383–394.

UWAGA! ZASADY PRENUMERATY:

Prenumeratę krajową przyjmują jednostki kolportażowe RUCH, właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora. Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę przyjmuje RUCH S.A., ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, konto PBK SA, IV Oddział Warszawa, nr 68124010531111000004430494. Dostawa odbywa się pocztą zwykłą w ramach opłaconej prenumeraty, z wyjątkiem zlecenia dostawy pocztą lotniczą, której koszt w pełni pokrywa zamawiający. Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, są realizowane od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym. Informacje o warunkach prenumeraty i sposobie zamawiania udziela RUCH S.A., tel. 53-28-812; 53-28-813.

Wpłaty na prenumeratę są przyjmowane wyłącznie na okresy kwartalne, a terminy przyjmowania wpłat — na teren kraju i za granicę — są następujące: do 20.11 — na I kwartał następnego roku, do 20.02 — na II kwartał danego roku, do 20.05 — na III kwartał, do 20.08 — na IV kwartał. Cena prenumeraty kwartalnej wynosi **33 zł**, a za granicę jest o 100% wyższa.

Dostawa zamówionej prasy następuje:

przez jednostki kolportażowe RUCH — w sposób uzgodniony z zamawiającym,

ponadto istnieje możliwość indywidualnej i zbiorowej prenumeraty *Przeglądu Geologicznego*

— bezpośrednio w Państwowym Instytucie Geologicznym,

Prenumeratę można zamawiać, wnosząc opłatę z góry, przy czym przez cały czas prenumeraty

będzie obowiązywała cena z dnia jej rozpoczęcia.

Zgłoszenia na prenumeratę przyjmuje w Państwowym Instytucie Geologicznym **Sekcja Dystrybucji Wydawnictw PIG**, gmach A, pokój 1 (parter), tel. 849-53-51 wew. 403 lub 229. Prenumeratę można też zgłaszać listownie na ten adres: Państwowy Instytut Geologiczny, **Sekcja Dystrybucji Wydawnictw PIG**, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa.

Podstawą przyjęcia prenumeraty będzie nadesłanie na nasz adres zamówienia oraz kopii dowodu wpłaty, dokonanej na konto Państwowego Instytutu Geologicznego w BPHPBK S.A, Oddz. w Warszawie ul. Jasna 1, nr 79 1060 0076 0000 4010 2000 2100.