

ZRÓŻNICOWANIE ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH W OSADACH TORFOWISK OTALŻYNO, HUCZWA I STOCZEK

VARIABILITY OF TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS IN THE DEPOSITS OF THE OTALŻYNO, HUCZWA AND STOCZEK PEAT BOGS

IZABELA BOJAKOWSKA¹, ELŻBIETA TOLKANOWICZ¹

Abstrakt. Badaniom poddano torfy z trzech torfowisk (torfowiska wysokiego Otałżyno oraz torfowisk niskich Huczwa i Stoczek). W próbkach torfu, po ich pełnym kwasowym rozтворzeniu, określono zawartość pierwiastków śladowych (Li, Be, As, Se, Rb, Ag, Sb, Cs, Tl, Th, U, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, Ti, V i Zn) i głównych (Al, S, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P i TOC). Najniższą zawartością pierwiastków śladowych odznaczały się torfy z torfowiska Otałżyno, a najwyższą – torfy z torfowiska Stoczek. Zróżnicowanie stężenia pierwiastków jest ściśle związane ze składem chemicznym skał występujących na terenach przyległych. Zawartość pierwiastków śladowych wykazuje wysoką korelację z zawartością Al, Fe i S, niższą z P, jeszcze niższą z Ca, a najniższą z TOC.

Słowa kluczowe: torf, pierwiastki śladowe, Otałżyno, Huczwa, Stoczek.

Abstract. Studies of peat from three peat bogs (Otałżyno bog, Huczwa and Stoczek fens) were conducted. In peat samples, after the total acid digestion, the content of trace (Li, Be, As, Se, Rb, Ag, Sb, Cs, Tl, Th, U, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, Ti, V and Zn) and major (Al, S, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P and TOC) elements were determined. The lowest contents of trace elements were found in the raised peat bog Otałżyno. The peat from the Stoczek fen shows the highest contents of trace elements. Differences in the content of elements in the peat are strictly dependent on the chemistry of the rocks occurring in the area surrounding the bog. Trace elements display a significant correlation with the content of Al, Fe and S, a weaker correlation with P, even slightly weaker with Ca, and the weakest with TOC.

Key words: peat, trace elements, Otałżyno, Huczwa, Stoczek.

WSTĘP

Pod względem składu chemicznego torfy są bardzo zróżnicowane, co jest spowodowane tym, że powstają w różnych warunkach geologicznych, hydrologicznych, geomorfologicznych i fizyczno-chemicznych i z różnych zespołów roślinnych (Christanis i in., 1998; Kalaitzidis i in., 2002; Orru, Orru, 2006; Rydelek, 2011). Na ogół zawartość pierwiastków śladowych w torfach jest niższa w porównaniu z ich przeciętną zawartością w skorupie ziemskiej (Kabata-Pendias, Mukher-

jee, 2007). Stężenie pierwiastków w torfach niskich jest kilka–kilkadziesiąt razy wyższe niż w torfach wysokich, co wynika z tego, że w torfach wysokich źródłami składników mineralnych są jedynie opady atmosferyczne i pyły nawiewane do torfowiska, a do torfowisk niskich składniki mineralne są wnoszone także przez spływ powierzchniowy, przepływającą wodę i podsiąkającą wodę gruntową (Orru, Orru, 2006). Pierwiastki śladowe w torfach mogą być związane

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: izabela.bojakowska@gmail.com.

z materią organiczną, wodorotlenkami żelaza, siarczkami, krzemianami (np. minerałami ilastymi, skaleniami), fosforanami oraz węglanami. W torfach wysokich zidentyfikowano przede wszystkim kwarc, skalenie i muskowitz, które dostały się do torfowiska jako pyły atmosferyczne pochodzenia glebowego (Steinmann, Shoty, 1997). W torfach niskich poza kwarcem, skaleniami i muskowitzem stwierdzono także występowanie i tworzenie się kalcytu, minerałów Fe (goetyt, piryt, syderyt, wiwianit), miedzi (chalkopiryt, miedź rodzima, kowelin) oraz cynku (smithsonit i wurcyt; Shoty, 1988). W niektórych miejscach w torfowiskach powstały i/lub nadal powstają nagromadzenia minerałów żelaza – goethytu i wiwianitu – o znaczeniu użytkowym (Gamzikov, Marmulev, 2007). Z badań pierwiastków śladowych w torfach z kilkunastu złóż w Polsce wynika, że stężenie miedzi, cynku, kadmu, niklu i ołowiu jest zróżnicowane w zależności od rodzaju torfów (Bojakowska, Lech, 2008).

W ostatnich latach wyniki badań torfów są wykorzystywane do rekonstrukcji zmian klimatycznych i środowiskowych (Shoty i in., 2003; Ukonmaanaho i in., 2004; Coggins i in., 2006; De Vleeschouwer i in., 2007; Smieja-Król i in., 2010; Ferrat i in., 2012; Cabala i in., 2013). W pracach tych korzysta się z wyników badań nie tylko materiału biogenicznego torfów – pyłków roślin i skamieniałości (np. okrzes-

mek), lecz także ich składu chemicznego i mineralogicznego. Wielokrotnie wykazano zróżnicowanie stężenia metali ciężkich w profilu pionowym torfowisk w zależności od czasu depozycji materiału i od działalności człowieka (Shoty i in., 2003; Fitzgerald i in., 2005; Bindler, 2006; Farmer i in., 2009; Tang i in., 2012). Szczególnie interesujące są wyniki badań stężenia rtęci w rdzeniach osadów torfowisk, ponieważ – w porównaniu do innych metali – zmiana zawartości tego pierwiastka odzwierciedla nie tylko zmiany w depozycji lokalnych pyłów, lecz także zmiany globalne i wpływ działalności człowieka na geochemiczny obieg rtęci w środowisku (Martínez-Cortizas i in., 1999; Bindler, 2003; Shoty i in., 2003; Fitzgerald i in., 2005; Farmer i in., 2009; Tang i in., 2012; Zuna i in., 2012). Oprócz tego wykonuje się także oznaczenia pierwiastków ziem rzadkich w torfach; są one wykorzystywane do normalizacji zmienności pierwiastków pochodzenia antropogenicznego (rtęć, ołów i miedź) w stosunku do tła geochemicznego (Shoty i in., 2001; Krachler i in., 2003).

W pracy przedstawiono wpływ litologii obszaru, na którym utworzyło się torfowisko, na zawartość pierwiastków śladowych i zmiany ich stężenia w profilu pionowym na przykładzie trzech torfowisk, które wykształciły się na obszarze występowania glin morenowych i lessów.

ZAKRES I METODY BADAŃ

Do badań wybrano trzy torfowiska: Otałżyno (północna Polska), Stoczek (środkowa Polska) i Huczwa (południowo-wschodnia Polska; fig. 1); na ich obszarze wykonano po jednym otworze wiertniczym.

Torfowisko Otałżyno „Białe Błoto” (gmina Przdkowo), o powierzchni ok. 54 ha, znajduje się na Pojezierzu Kaszubskim, ok. 5 km na północ od Kartuz (Ostrzyżek, Dembek, 1996). Jest to torfowisko wysokie mszarne, które powstało na terenie ukształtowanym przez lądolód stadiału górnego zlodowacenia wisły (kompleks północnopolski). Torfowisko jest położone na wysoczyźnie morenowej zbudowanej głównie z glin zwałowych (Prussak, Główniak, 2002). Wzdłuż jego południowej, zachodniej i częściowo północnej granicy występują piaski i piaski pyłowate leżące na glinie zwałowej, a od północy i wschodu – gliny zwałowe. W torfowisku Otałżyno wyróżniono cztery rodzaje torfu: górną warstwę złoża tworzy torf sfagnowy (mszarny), niżej zalega torf welniankowy przechodzący w głębszych warstwach w welniankowo-sfagnowy, pod nim leżą warstwy torfu drzewnego, a jeszcze niżej – torf drzewny przejściowy (fig. 2).

Torfowisko Huczwa (gmina Rachanie), o powierzchni ok. 87 ha, znajduje się ok. 14 km na północny wschód od Tomaszowa Lubelskiego, na obszarze Grzędy Sokalskiej, na której powierzchni występują silnie wapniste lessy powstałe w czasie stadiału górnego zlodowacenia wisły. Torfowisko zajmuje dolinę rzeki Sikławy (dopływu Huczwy). Wzdłuż doliny ciągną się lasy bukowe, pola uprawne i zagajniki. Torfowisko Huczwa jest torfowiskiem niskim typu szuwarowego o średniej głębokości 4,9 m (maksymalnie 7,5 m;

Ostrzyżek, Dembek, 1996). Górną warstwę złoża tworzy torf turzycowy, pod którym zalega torf turzycowo-trzciniowy, niżej turzycowo-mechowiskowy przechodzący w torf mechowiskowy, a w podłożu torfowiska występują gytia glonowa i wapienna (Zaremba, 1958; fig. 3).

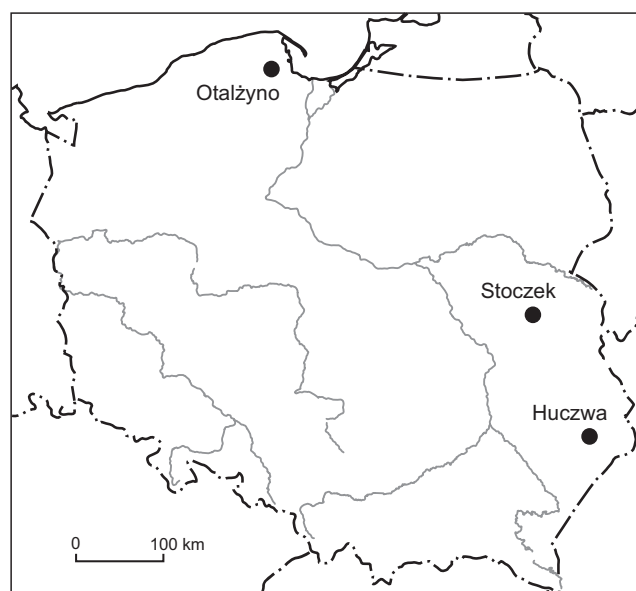


Fig. 1. Lokalizacja torfowisk Otałżyno, Stoczek i Huczwa

Locality of the Otałżyno, Stoczek and Huczwa peat bogs

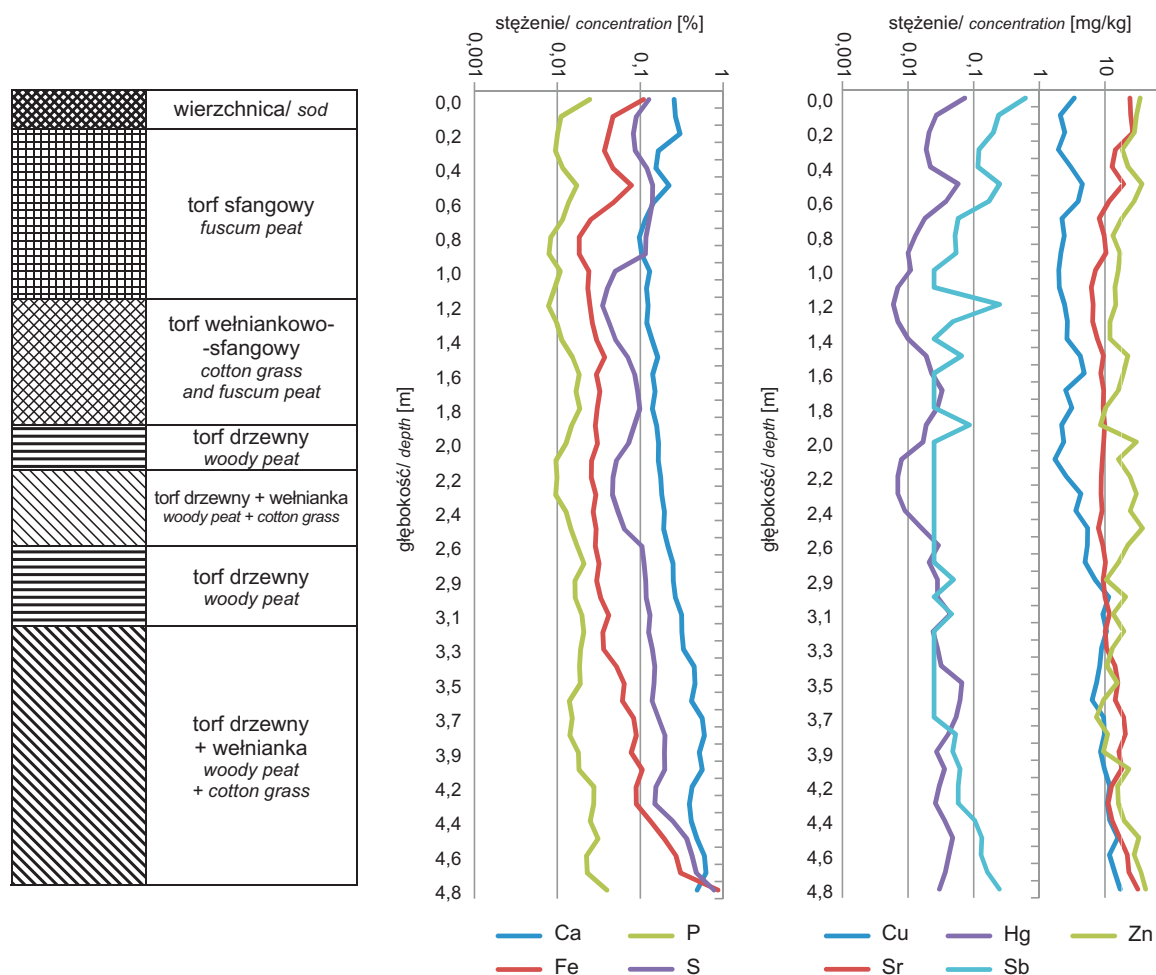


Fig. 2. Profil litostratygraficzny oraz zmienność wybranych pierwiastków w profilu pionowym torfowiska wysokiego Otałżyno

Lithostratigraphic sequence and concentration variability of selected elements in the vertical section of the Otałżyno peat bog

Torfowisko Stoczek (gmina Czemierniki), o powierzchni 641 ha, znajduje się ok. 15 km na południe od Radzyna Podlaskiego, na granicy Wysoczyzny Lubartowskiej (mezoregion Niziny Południowopodlaskiej) oraz Równiny Parczewskiej (mezoregion Polesia Zachodniego). Zajmuje ono fragment szerokiej doliny Tyśmienicy (dopływ Wieprza), w jej środkowym biegu, w granicach miejscowości Stoczek (Ostrzyżek, Dembek, 1996). Na ukształtowanie tego obszaru największy wpływ miał łądolód zlodowacenia odry (kompleks środkowopolski). Wysoczyzna morenowa, na której powstało torfowisko, jest zbudowana głównie z glin zwałowych, często pod cienkim nadkładem piasków wodnolodowcowych i lodowcowych (Łozińska-Stępień i in., 1986). Złoże Stoczek tworzy torf sfangowo-turzczykowy przechodzący ku dołowi w turzczykowo-sfangowy (fig. 4).

Próbki do badań uzyskano przez podzielenie rdzeni wiertniczych (Otałżyno – 4,9 m, Huczwa – 8,8 m, Stoczek – 3,5 m) na odcinki o długości 10 cm. Próbki torfu pobranego z największej głębokości wykorzystano do badań palino-

logicznych w celu określenia czasu początku depozycji torfów, a pozostałe próbki poddano badaniom chemicznym.

We wszystkich próbkach torfu, po ich pełnym kwasowym rozтворzeniu (65% HNO₃ + 37–38% HCl + 70% HClO₄ + 38% HF; 1 g próbki + 50 ml kwasów), oznaczono zawartość: Ag, Be, Cs, Li, Rb, Sb, Se, Th, Tl i U (metoda ICP-MS, spektrometr ELAN DRC II firmy Perkin Elmer) oraz zawartość: Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sn, Sr, Ti, V i Zn (metoda ICP-OES, spektrometr iCAP 6500 firmy Thermo Scientific). Ponadto w próbce stałej oznaczono zawartość Hg (metoda TDA AAS, aparat AMA-254 firmy Altec) oraz węgla organicznego (TOC; metoda kulometryczna, aparat Coulomat 702 CS/LI firmy Strohlein). Granice oznaczalności wynosiły: dla Hg – 0,001 mg/kg, dla Ag, Be, Cs, Rb, Sb, Tl i U – 0,05 mg/kg, dla Li – 0,3 mg/kg, dla Cd, Mo i Th – 0,5 mg/kg, dla Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sr, Ti, V i Zn – 1 mg/kg, dla Pb, Sn i Se – 2 mg/kg, dla As – 3 mg/kg, dla Na, P i S – 0,005%, a dla Al, Ca, Fe, K, Mg i TOC – 0,01%.

Fig. 4. Profil litostratygraficzny oraz zmienność wybranych pierwiastków w profilu pionowym torfowiska niskiego Stoczek

Lithostratigraphic sequence and concentration variability of selected elements in the vertical section of the Stoczek fen

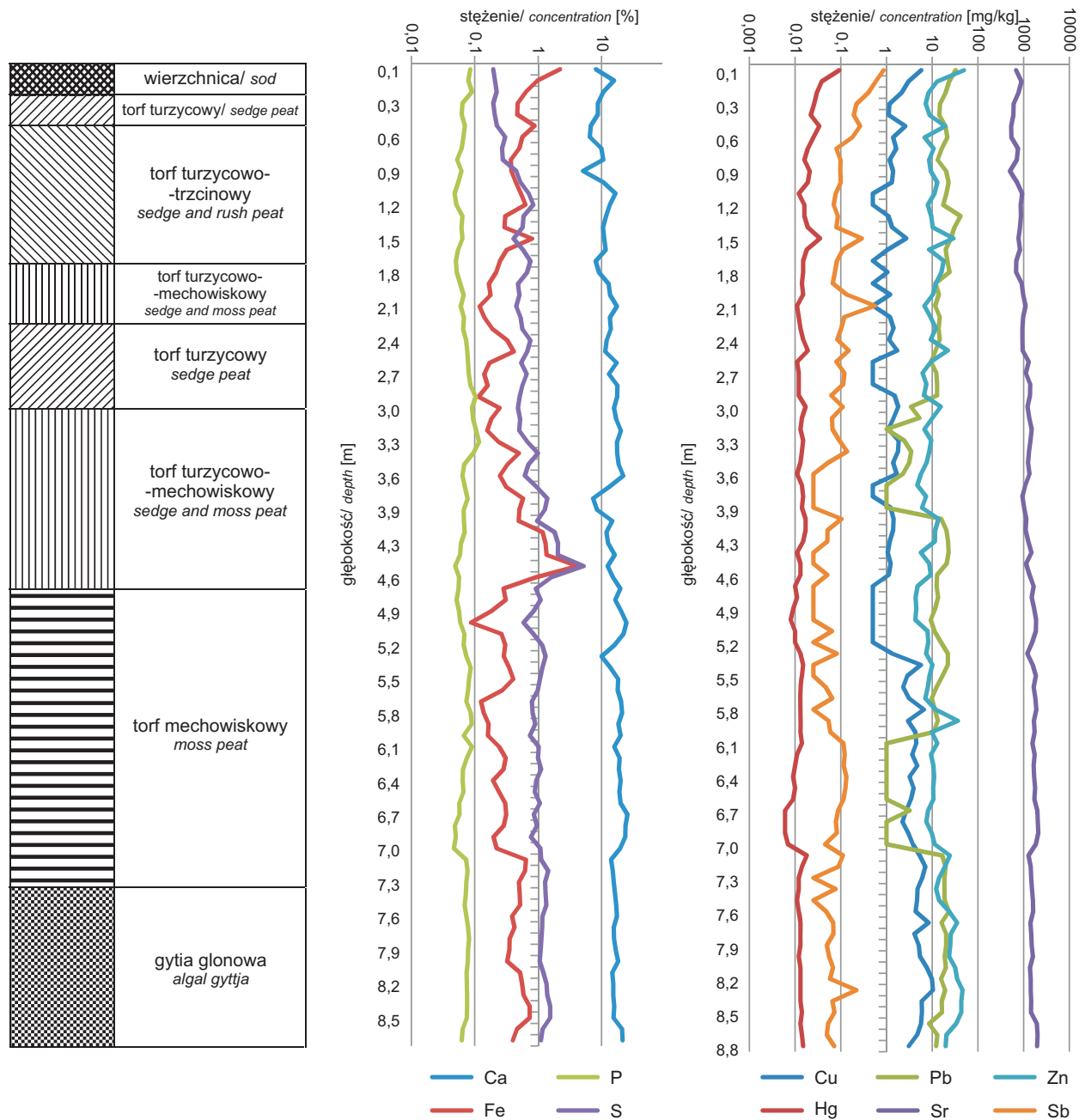
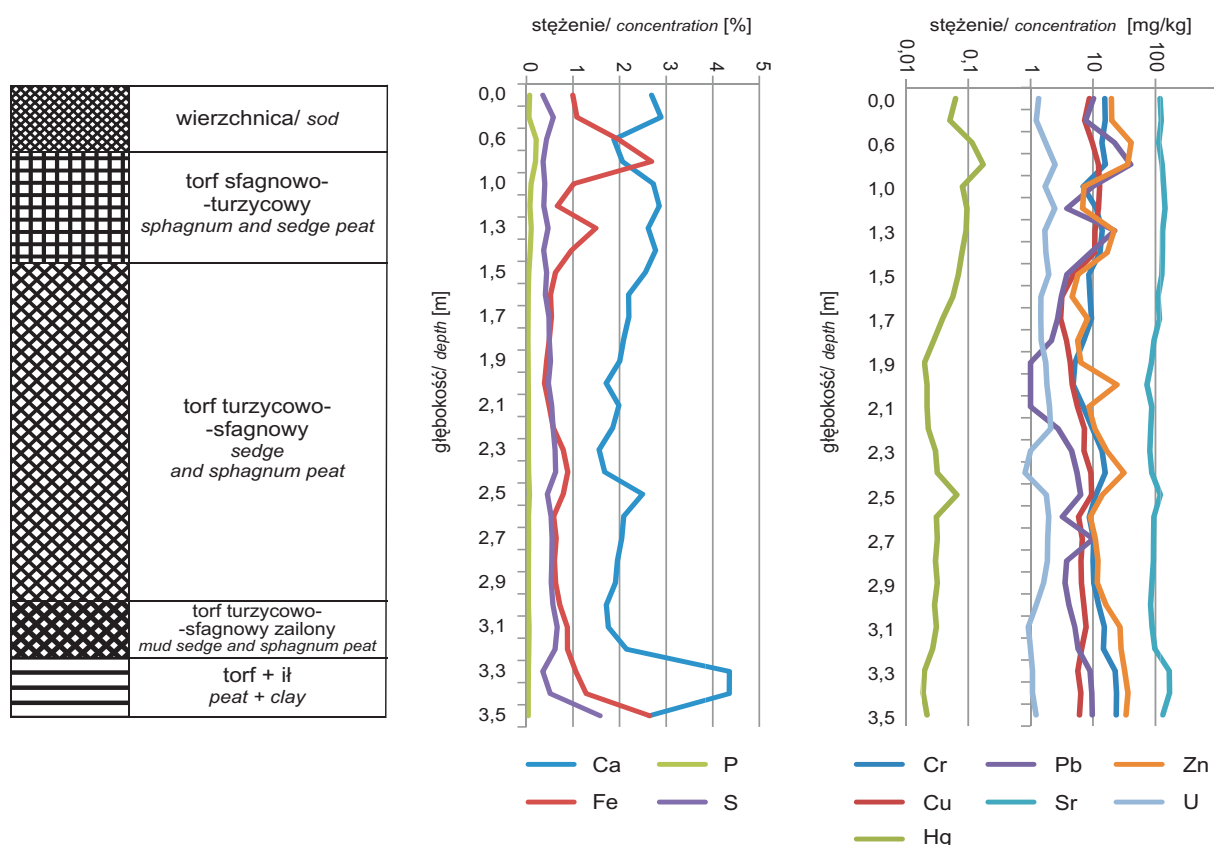


Fig. 3. Profil litostratygraficzny oraz zmienność wybranych pierwiastków w profilu pionowym torfowiska niskiego Huczwa

Lithostratigraphic sequence and concentration variability of selected elements in the vertical section of the Huczwa fen



WYNIKI BADAŃ

Średnia geometryczna zawartość pierwiastków śladowych: Ag, As, Be, Cd, Co, Cs, Sn, Li, Mo, Se i Tl w torfie z torfowiska Otałżyno była niższa niż granica oznaczalności (tab. 1). W bardzo małej ilości występowały: Hg, U, Th, Rb i Sb – ich średnia geometryczna zawartość nie dochodziła do 1 mg/kg. Wyższe było stężenie: Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V i Zn, jednak średnia geometryczna zawartość tych pierwiastków najczęściej nie przekraczała kilku miligramów na kilogram.

W torfowisku wysokim Otałżyno nieznacznie podwyższone stężenie większości pierwiastków śladowych stwierdzono w najgłębiej zalegających warstwach torfu. Jedynie stężenie antymonu, rtęci i cynku było znacznie podwyższone także w górnych warstwach torfowiska. Największą zmienność zawartości w profilu pionowym odnotowano w przypadku strontu, cynku, rtęci i miedzi (fig. 2). Zmienność stężenia rtęci w profilu pionowym wykazuje pewne podobieństwo ze zmianą zawartości fosforu, z kolei zróżnicowanie zawartości strontu – ze zmianą zawartości wapnia. Pierwiastki promieniotwórcze (tor i uran) w stężeniu powyżej granicy oznaczalności i w podwyższonej ilości występowały w najniższych warstwach torfowiska, w torfie drzewnym. W przypadku stężenia pierwiastków głównych bardzo wysoka była korelacja ($r > 0,85$; $p = 0,05$; $n = 47$) zawartości glinu z zawartością Ba, Co, Cr, Mn, Ti, V, Li, Be, Rb, Cs i U,

zawartości żelaza z zawartością Ba, Co, Cr, Mn, Ni, Ti, V, Li, Be, Rb, Cs i U, jak również zawartości siarki z zawartością Ba, Co, Ni, Be, V i U (tab. 2). Zaobserwowano także wysoką korelację ($r > 0,7$) zawartości glinu i niklu, wapnia i miedzi, zawartości fosforu z zawartością baru i miedzi oraz zawartości siarki z zawartością Cr, Cu, Mn, Ti, Li, Rb i Cs. Zawartość węgla organicznego wykazuje słabą korelację ze stężeniem miedzi ($r = 0,37$).

Na podstawię analizy czynnikowej, której wyniki zestawiono w tabeli 3, wyodrębniono po trzy czynniki grupujące pierwiastki obecne w rozpatrywanych torfach. W przypadku materiału z torfowiska Otałżyno czynnik 1 obejmuje glin, żelazo, potas, magnez i mangan, jak również większość oznaczonych pierwiastków śladowych (Th, Ba, Co, Cr, Ni, Ti, V, Li, Be, Rb, Cs, Tl i U). Czynnikiem ten odpowiada za 30,93% zmienności. Można określić go jako czynnik litologiczny, uwarunkowany składem utworów występujących na przyległym do torfowiska obszarze, z którego były nawiewane pyły. Czynnikiem 2 obejmuje Ca, Cu oraz – ze względnie wysokimi wartościami ładunków czynnikowych – Ba, Sr, P i TOC. Jest to czynnik sedymentacyjny, związany z pH środowiska, w którym następowała akumulacja materiału organicznego. W czynniku 3 zostały zgrupowane Sb i Pb, których podwyższoną zawartość odnotowano w dolnej i górnej części profilu.

Tabela 1

Pierwiastki śladowe i główne w torfach – parametry statystyczne

Trace and main elements in peats – statistical parameters

Pierwiastek	Otałczyño ($n = 47$)					Huczwa ($n = 88$)					Stoczek ($n = 29$)				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Ag	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,78	0,21	0,07	0,07	<0,05	8,95	0,20	0,17	0,16	0,05	0,62
As	<3	<3	<3	<3	6	4	3	<3	<3	30	6	5	5	<3	16
Ba	21	14	14	5	172	39	35	30	17	257	111	99	89	35	231
Be	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	0,84	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	1,15	0,47	0,45	0,45	0,24	0,85
Cd	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,8
Co	<1	<1	<1	<1	5	1	<1	<1	<1	7	4	3	2	<1	13
Cr	2	1	1	<1	28	3	2	2	<1	39	12	11	11	5	24
Cs	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	2,01	0,15	0,08	0,07	<0,05	3,07	0,74	0,63	0,65	0,16	1,77
Cu	6	5	5	2	17	3	2	2	<1	10	7	7	7	3	13
Hg	0,028	0,023	0,027	0,006	0,073	0,015	0,014	0,013	0,006	0,093	0,050	0,041	0,032	0,019	0,175
Li	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	8,6	2,1	1,7	1,5	0,8	28,5	5,8	5,0	4,3	1,6	12,9
Mn	8	7	6	2	59	197	187	192	79	408	260	184	169	65	1521
Mo	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,7	0,8	0,5	<0,5	<0,5	9,2	0,9	0,8	0,8	<0,5	1,9
Ni	3	2	2	<1	17	2	2	1	<1	21	12	12	12	8	17
Pb	9	4	<2	<2	35	14	10	14	<2	42	8	5	5	<2	40
Rb	1,5	0,7	0,6	<0,5	37,1	2,5	1,5	1,1	0,4	45,6	18,7	14,8	13,8	3,5	56,2
Sb	0,09	0,05	0,05	<0,05	0,62	0,11	0,08	0,08	<0,05	0,86	0,32	0,27	0,25	0,13	1,47
Se	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1,14	<2	<2	<2	2,00
Sn	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,3	<2	<2	<2	<2	<2
Sr	13	12	10	6	32	1300	1227	1369	498	2080	110	108	110	73	168
Th	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	5,46	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	6,42	2,17	1,90	1,97	0,65	5,16
Ti	65	39	35	14	1103	102	64	51	18	1765	542	460	414	142	1389
Tl	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,27	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,45	0,12	0,09	0,10	<0,05	0,28
U	0,19	0,07	0,05	<0,05	2,33	0,18	0,11	0,10	<0,05	1,80	1,58	1,52	1,70	0,81	2,47
V	2	1	1	<1	36	3	2	2	1	51	17	17	16	8	31
Zn	20	18	18	7	42	14	12	10	4	50	18	15	16	5	41
Al	0,12	0,06	0,06	0,01	2,24	0,19	0,11	0,09	0,02	3,59	1,06	0,93	0,80	0,32	2,50
Ca	0,28	0,24	0,22	0,10	0,62	15,50	14,77	15,80	5,07	25,70	2,34	2,26	2,09	1,56	4,36
Fe	0,08	0,05	0,04	0,02	0,87	0,47	0,36	0,33	0,09	4,17	0,94	0,82	0,79	0,39	2,69
K	0,04	0,02	0,02	<0,01	0,78	0,05	0,03	0,03	<0,01	0,89	0,36	0,29	0,27	0,09	1,01
Mg	0,06	0,05	0,05	0,03	0,19	0,17	0,17	0,18	0,10	0,40	0,15	0,14	0,13	0,07	0,31
Na	0,023	0,022	0,021	0,012	0,095	0,034	0,031	0,028	0,021	0,199	0,139	0,116	0,106	0,038	0,366
P	0,016	0,015	0,015	0,008	0,040	0,070	0,069	0,068	0,047	0,117	0,061	0,052	0,043	0,030	0,210
S	0,144	0,113	0,118	0,035	0,778	0,930	0,789	0,870	0,196	5,221	0,530	0,504	0,510	0,351	1,581
TOC	39,98	39,52	39,30	30,10	62,90	23,88	23,44	23,85	11,10	33,70	28,25	26,47	31,10	8,89	38,80

Parametry statystyczne: a – średnia, b – średnia geometryczna, c – mediana, d – minimum, e – maksimum; n – ilość próbekStatistical parameters: a – mean, b – geometric mean, c – median, d – minimum, e – maximum; n – number of samples

Tabela 2

Współczynnik korelacji zawartości glinu, wapnia, żelaza, fosforu, siarki i węgla organicznego z zawartością pierwiastków śladowych
 Values of correlation parameters of concentrations of aluminium, calcium, iron, phosphorus, sulphur and the organic coal with trace elements

Pierwiastek	Otalżyno (n = 47)						Huczwa (n = 88)						Stoczek (n = 29)					
	Al	Ca	Fe	P	S	TOC	Al	Ca	Fe	P	S	TOC	Al	Ca	Fe	P	S	TOC
As	0,98	0,19	0,89	0,52	0,72	-0,20	0,22	-0,41	0,89	-0,19	0,61	0,25	0,55	-0,15	0,81	0,43	0,54	-0,43
Ba	0,91	0,61	0,98	0,76	0,97	-0,01	0,87	-0,07	0,29	0,15	-0,27	-0,43	0,96	0,59	0,77	0,32	0,31	-0,93
Cd	0,13	0,32	0,26	0,15	0,38	0,09	0,91	-0,18	0,37	0,12	-0,13	-0,31	0,11	-0,08	0,57	0,59	-0,15	-0,07
Co	0,88	0,47	0,96	0,64	0,94	-0,10	0,84	-0,41	0,40	0,04	-0,27	-0,07	0,47	-0,17	0,17	-0,02	0,27	-0,35
Cr	0,98	0,31	0,95	0,57	0,82	-0,19	0,98	-0,33	0,39	0,16	-0,23	-0,23	0,99	0,59	0,65	0,11	0,38	-0,94
Cu	0,51	0,83	0,64	0,82	0,78	0,37	0,06	0,19	0,07	0,26	0,20	-0,23	0,10	0,09	0,46	0,67	-0,21	-0,16
Hg	0,15	0,60	0,24	0,51	0,37	0,16	0,93	-0,49	0,42	0,17	-0,28	-0,03	-0,05	0,02	0,56	0,89	-0,38	-0,02
Mn	0,92	0,35	0,95	0,58	0,88	-0,20	0,33	0,47	0,20	0,01	-0,03	-0,67	0,19	-0,21	0,51	0,78	-0,07	-0,20
Mo	0,53	0,58	0,71	0,73	0,82	0,13	-0,09	0,33	-0,04	-0,12	0,12	-0,29	-0,25	-0,71	-0,34	-0,23	0,09	0,38
Ni	0,77	0,54	0,89	0,62	0,92	-0,02	0,91	-0,30	0,35	0,17	-0,26	-0,22	0,33	0,16	0,39	0,34	-0,06	-0,27
Pb	0,26	0,32	0,40	0,47	0,44	-0,03	0,32	-0,52	0,35	-0,11	0,05	0,35	0,34	0,13	0,82	0,85	-0,12	-0,33
Sr	0,58	0,66	0,66	0,48	0,69	-0,13	-0,38	0,90	-0,21	0,10	0,29	-0,67	0,59	0,91	0,46	0,26	-0,11	-0,67
Ti	1,00	0,31	0,95	0,60	0,82	-0,18	1,00	-0,33	0,38	0,10	-0,27	-0,24	0,99	0,59	0,59	-0,02	0,46	-0,93
V	0,99	0,41	0,98	0,66	0,89	-0,13	1,00	-0,34	0,38	0,11	-0,27	-0,22	0,94	0,62	0,79	0,30	0,35	-0,90
Zn	0,42	0,08	0,49	0,31	0,43	-0,09	0,37	-0,08	0,21	0,20	0,11	-0,15	0,77	0,25	0,73	0,44	0,26	-0,72
Li	0,98	0,25	0,93	0,55	0,78	-0,22	1,00	-0,28	0,38	0,10	-0,24	-0,29	0,98	0,63	0,68	0,15	0,34	-0,96
Be	0,96	0,41	0,97	0,60	0,90	-0,16	0,98	-0,28	0,40	0,11	-0,21	-0,26	0,95	0,50	0,68	0,16	0,43	-0,86
Rb	0,99	0,26	0,94	0,57	0,79	-0,19	1,00	-0,34	0,38	0,08	-0,27	-0,23	0,96	0,59	0,47	-0,15	0,47	-0,89
Ag	0,25	-0,10	0,21	0,10	0,11	-0,09	0,01	-0,02	-0,01	0,04	0,01	0,02	0,58	0,51	0,53	0,22	0,23	-0,57
Sb	0,29	0,07	0,34	0,26	0,28	-0,18	0,73	-0,27	0,25	0,13	-0,36	-0,17	0,16	-0,02	0,70	0,81	-0,20	-0,13
Cs	0,99	0,24	0,92	0,55	0,77	-0,20	1,00	-0,34	0,38	0,09	-0,26	-0,22	0,90	0,42	0,43	-0,18	0,51	-0,80
Tl	0,98	0,19	0,89	0,52	0,72	-0,20	0,98	-0,30	0,39	0,05	-0,23	-0,24	0,95	0,39	0,64	0,13	0,41	-0,85
U	0,91	0,60	0,98	0,68	0,97	-0,07	0,48	-0,01	0,19	0,00	-0,15	-0,28	-0,56	-0,15	0,00	0,38	-0,33	0,47

Pogrubienie – istotne współczynniki korelacji
 Bold – significant correlation coefficients

Tabela 3

Wyniki analizy czynnikowej
Results of factor analysis

Pierwiastek	Otalżyno			Huczwa			Stoczek		
	czynnik 1	czynnik 2	czynnik 3	czynnik 1	czynnik 2	czynnik 3	czynnik 1	czynnik 2	czynnik 3
Ag	0,309	-0,166	0,047	0,006	0,046	0,102	0,592	0,265	-0,162
As	0,977	0,070	0,102	0,179	-0,256	0,837	0,487	0,567	0,532
Ba	0,775	0,590	0,176	0,876	0,187	-0,062	0,932	0,318	-0,023
Be	0,881	0,361	0,222	0,984	0,043	0,066	0,936	0,197	0,120
Cd	0,019	0,463	0,160	0,915	0,153	0,078	0,014	0,767	0,040
Co	0,786	0,485	0,223	0,847	-0,152	0,129	0,474	0,036	0,737
Cr	0,935	0,209	0,228	0,976	0,033	0,095	0,978	0,153	0,025
Cs	0,977	0,129	0,125	0,995	-0,016	0,048	0,917	-0,155	0,269
Cu	0,314	0,883	-0,069	0,068	0,509	0,295	0,067	0,736	-0,144
Hg	-0,110	0,574	0,373	0,938	-0,159	0,114	-0,128	0,926	-0,252
Li	0,957	0,143	0,186	0,993	0,045	0,045	0,965	0,175	-0,050
Mo	0,362	0,715	0,224	-0,083	0,559	0,102	-0,243	-0,180	0,825
Ni	0,644	0,587	0,266	0,915	0,067	0,067	0,301	0,477	0,012
Pb	0,048	0,357	0,769	0,311	-0,396	0,408	0,256	0,917	-0,038
Rb	0,974	0,155	0,132	0,991	-0,013	0,042	0,977	-0,137	0,086
Sb	0,120	0,035	0,887	0,757	-0,069	-0,038	0,065	0,895	0,021
Sr	0,361	0,491	0,609	-0,364	0,892	-0,066	0,588	0,261	-0,729
Th	0,861	0,346	0,043	0,913	-0,038	0,014	0,985	0,071	-0,015
Ti	0,960	0,203	0,149	0,996	-0,006	0,039	0,994	0,008	0,057
Tl	0,977	0,070	0,102	0,980	0,019	0,076	0,933	0,151	0,280
U	0,789	0,565	0,179	0,494	0,340	0,095	-0,597	0,393	-0,416
V	0,921	0,326	0,192	0,997	-0,018	0,047	0,913	0,356	-0,112
Zn	0,316	0,099	0,688	0,367	0,292	0,335	0,730	0,428	0,308
Al	0,950	0,246	0,165	0,997	-0,013	0,043	0,994	0,087	0,022
Ca	0,119	0,908	0,025	-0,318	0,845	-0,247	0,639	-0,075	-0,723
Fe	0,856	0,444	0,251	0,340	-0,039	0,870	0,571	0,712	0,048
K	0,976	0,143	0,118	0,993	-0,002	0,038	0,989	-0,016	0,110
Mg	0,922	-0,252	0,139	0,668	0,598	0,053	0,963	-0,200	0,058
Mn	0,848	0,327	0,270	0,352	0,634	0,041	0,143	0,639	0,421
Na	0,953	-0,140	-0,003	0,968	0,058	0,008	0,991	-0,034	0,094
P	0,412	0,689	0,155	0,121	0,140	-0,225	-0,025	0,935	-0,022
S	0,679	0,673	0,222	-0,308	0,208	0,851	0,437	-0,206	0,377
TOC	-0,261	0,446	-0,328	-0,241	-0,845	0,198	-0,947	-0,102	0,135
War. wyj.	30,932	9,321	3,616	34,406	4,226	2,864	33,600	7,792	3,666
Udział	0,619	0,186	0,072	0,688	0,085	0,057	0,659	0,153	0,072

Pogrubienie – ładunki czynnikowe powyżej 0,700

Bold – factor loadings above 0,700

W torfach z torfowiska Huczwa stężenie pierwiastków śladowych było większe niż w złożu Otalżyno. Średnia geometryczna zawartość berylu, kadmu, kobaltu i talu nie przekraczała granicy oznaczalności (tab. 1), a w przypadku pierwiastków: As, Cr, Cs, Cu, Ni, Rb, Sb, Sn, Th, U i V była ona bardzo niska (poniżej 10 mg/kg). W nieco większej ilości

występowały baru, ołowiu i cynku, których średnie stężenie wynosiło od 10 do kilkudziesięciu miligramów na kilogram; jeszcze wyższa była zawartość manganu i strontu (średnia geometryczna odpowiednio 187 i 1227 mg/kg). W torfowisku Huczwa nieznacznie podwyższone stężenie większości pierwiastków śladowych (Ba, Be, Cs, Cr, Co, Hg, Li, Ni, Pb,

Rb, Sb, Ti oraz V) stwierdzono w górnych warstwach torfu (fig. 3). Tylko zawartość Cu, Mo, Sr i Zn była podwyższona także w dolnych warstwach torfu. Zmienność zawartości Ba, Be, Cs, Cr, Co, Hg, Li, Ni, Pb, Rb, Sb, Ti i V w profilu pionowym wykazuje pewne podobieństwo ze zmianą zawartości glinu, zmienność zawartości miedzi, molibdenu i cynku ze zmianą stężenia siarki, a zmienność zawartości strontu ze zmianą zawartości wapnia. Pierwiastki promieniotwórcze (Th i U) w stężeniu powyżej granicy oznaczalności i w stężeniu podwyższonym stwierdzono w górnej części torfowiska (torfy turzycowo-mechowiskowe), charakteryzującej się wyższą zawartością glinu. Bardzo wysoką korelację ($r > 0,9$; $p = 0,05$; $n = 88$) z zawartością pierwiastków śladowych wykazuje Al (Cd, Cr, Hg, Ni, Be i Tl) i w przypadku jednego z tych pierwiastków Ca (Sr), a wysoką korelację ($r > 0,7$) – Al (Ba, Co; tab. 2). Zawartość żelaza wykazuje istotną dodatnią korelację z stężeniem większości pierwiastków śladowych (m.in. Co, Cr, Hg, Ni, Cs), podczas gdy zawartość Ca, S i węgla organicznego wykazuje jedynie słabą ujemną korelację z zawartością m.in. Cr, Ni, Ti, V, Li i Cs. W wyniku analizy czynnikowej w czynniku 1 wraz z glinem, żelazem, potasem, magnezem i manganem została zgrupowana większość pierwiastków śladowych (Th, Ba, Co, Cr, Ni, Ti, V, Li, Be, Rb, Cs, Tl i U). Czynniki ten odpowiada za 34,41% zmienności. Podobnie jak w przypadku torfowiska Otalżyno, można określić jako go jako czynnik litologiczny, uwarunkowany składem utworów występujących na przyległym do torfowiska niskiego Huczwa obszarze, z którego były nawiewane pyły i z którego składniki były wnoszone przez napływające wody gruntowe oraz spływ powierzchniowy. Czynniki 2 obejmuje wapń i stront z wartościami dodatnimi, a także węgiel z ładunkiem ujemnym. Jest to czynnik sedymentacyjny, związany z pH środowiska sedymentacji. Czynniki 3 obejmuje Fe, S i As i też jest czynnikiem sedymentacyjnym, jednak związanym z warunkami redoks. Wszystkie trzy czynniki mają charakter geogeniczny.

DYSKUSJA

Pośród rozpatrywanych torfowisk najniższą zawartość pierwiastków śladowych stwierdzono w ombrogenicznych torfach ze złoża Otalżyno. W torfach tych średnia geometryczna zawartość blisko połowy zbadanych pierwiastków śladowych (Ag, As, Be, Cd, Co, Cs, Sn, Li, Mo, Se i Tl) nie przekraczała granicy oznaczalności, zawartość rtęci, uranu, toru, rubidu i antymonu nie osiągała 1 mg/kg, a zawartość pozostałych pierwiastków śladowych najczęściej nie była wyższa niż kilka miligramów na kilogram. W torfie ze złoża Huczwa (torfowisko niskie) duża część pierwiastków śladowych występowała w wyższym stężeniu niż w torfowisku Otalżyno (stężenie baru, ołowiu i cynku wynosiło od 10 do kilkudziesięciu miligramów na kilogram), ale średnia geometryczna zawartość siedmiu pierwiastków (Be, Cd, Co, Se, Sn, Th i Tl) była niższa niż granica oznaczalności, a zawartość blisko połowy pierwiastków nie przekraczała 10 mg/kg;

Pośród pierwiastków śladowych w torfach z torfowiska niskiego Stoczek jedynie kadm, selen i cyna występowały w ilości mniejszej niż granica oznaczalności. Średnią geometryczną zawartość niższą od 1 mg/kg stwierdzono w przypadku Be, Cd, Cs, Hg, Sb i Tl, nieco wyższa była zawartość: As, Co, Cu, Li, Pb, Th i U, a jeszcze wyższa (kilkanaście–kilkadziesiąt miligramów na kilogram): chromu, wanadu, rubidu i cynku. Średnie geometryczne stężenie Ba (99 mg/kg), Mn (184 mg/kg), Sr (108 mg/kg) i Ti (460 mg/kg) było jeszcze wyższe. W złożu Stoczek zawartość pierwiastków śladowych była względnie wyższa niż w dwóch pozostałych złożach. W profilu pionowym torfowiska stężenie części z nich (Ba, Be, Cs, Co, Li, Rb, Ti, Tl) było podwyższone w dolnych warstwach, innych (Hg, Cu, Pb, Sb) tylko w górnej części profilu, a V i Zn – zarówno w dolnej, jak i w górnej części złoża (fig. 4). Z zawartością pierwiastków śladowych silną korelację ($r > 0,9$; $p = 0,05$; $n = 29$) wykazuje zawartość glinu (Ba, Cr, Ti, V, Li, Be i Rb) i wapnia (Sr), a wysoką korelację ($r > 0,7$) – zawartość glinu (Zn), żelaza (Ba, Pb, V i Zn) i fosforu (Hg, Pb i Sb; tab. 2). Zawartość siarki wykazuje słabą korelację ($r > 0,3$) z zawartością chromu, tytanu i toru, a zawartość węgla organicznego – wysoką ujemną korelację ($r < -0,9$) z wieloma pierwiastkami, m.in. z chromem i z tytanem. W wyniku analizy czynnikowej w czynniku 1 wraz z Al, Fe, K, Mg i Na została zgrupowana większość badanych pierwiastków śladowych (Ba, Be, Cr, Cs, Li, Rb, Ti, V i Zn). Czynniki ten odpowiada za 33,60% zmienności. Można go określić jako czynnik litologiczny, uwarunkowany składem utworów występujących na przyległym do torfowiska obszarze, z którego były nawiewane pyły i z którego pochodziły także składniki wnoszone przez napływające wody. Czynniki 2 obejmuje Fe i P oraz Cd, Cu, Hg, Pb i Sb, jest on czynnikiem sedymentacyjnym, związanym z warunkami redoks środowiska sedymentacji. W czynniku 3 zostały zgrupowane Ca i Sr o ładunkach ujemnych oraz Co i Mo z ładunkami dodatnimi.

Jedynie stront był obecny w znacznej ilości. W torfie ze złoża Stoczek (torfowisko niskie) zawartość oznaczanych pierwiastków była najwyższa. W porównaniu z torfem ze złoża Huczwa wyższa była średnia zawartość pierwiastków śladowych, a w stężeniu poniżej granicy oznaczalności występowały jedynie kadm, selen i cyna. Zaobserwowano, że w torfie ze złoża Otalżyno i Huczwa średnia zawartość wielu pierwiastków śladowych (Co, Cr, Ni, Cs, Li, Rb, U, Th, Ti i V) jest bardzo niska i zbliżona, podczas gdy w torfie ze złoża Stoczek jest ona znacznie wyższa. Nie stwierdzono zróźnicowania w zawartości Cu i Zn w badanych torfowiskach.

W wyniku badań potwierdzono, że w torfowiskach wysokich, w których przypadku źródła składników mineralnych stanowią wyłącznie wody opadowe i nawiewane pyły, zawartość oznaczanych pierwiastków śladowych jest najniższa. Zróźnicowanie zawartości pierwiastków w torfie ze złoża

Huczwa i Stoczek, będących torfowiskami niskimi, wskazuje jednak, że skład chemiczny torfu w bardzo dużym stopniu zależy od chemizmu skał z najbliższego sąsiedztwa torfowiska. Torf ze złoża Huczwa, które rozwinęło się na obszarze występowania lessów (składających się głównie z kwarcu i węglanów wapnia), jest znacznie uboższy w pierwiastki śladowe niż torf ze złoża Stoczek, wykształconego na obszarze występowania glin morenowych (oprócz kwarcu i węglanów wapnia składających się z minerałów ilastych oraz wielu minerałów akcesorycznych).

Stwierdzono dużą zmienność zawartości pierwiastków w profilach badanych torfowisk. W torfowisku Otałżyno stężenie pierwiastków śladowych było podwyższone w najgłębszych warstwach (zbudowanych z torfu drzewnego). W złożu Huczwa większość pierwiastków śladowych (Ba, Be, Cs, Cr, Co, Hg, Li, Ni, Pb, Rb, Sb, Ti i V) występuje w podwyższonym stężeniu w górnych warstwach torfowiska, a jedynie zawartość Cu, Mo, Sr i Zn jest wyższa także w dolnych warstwach torfowiska. W torfowisku Stoczek stężenie pierwiastków śladowych: Ba, Be, Cs, Co, Li, Rb, Ti i Tl jest podwyższone w dolnych warstwach torfowiska, Hg, Cu, Pb i Sb w górnych warstwach, a Zn i V – zarówno w dolnych, jak i w górnych warstwach. Ta zmienność wynika z jednej strony z depozycji odmiennego materiału roślinnego, a z drugiej strony ze zróżnicowania intensywności wietrzenia, związanego ze zmianami klimatycznymi. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że zawartość pierwiastków w torfie zależy od jego rodzaju (Bojakowska, Lech, 2008). W torfowisku Otałżyno zawartość pierwiastków śladowych w torfie drzewnym jest wyższa niż w torfie mszarnym, z kolei w torfowisku Huczwa jest ona wyższa w torfie turzycowym niż w torfie mechowiskowym. Podobne zróżnicowanie zawartości rtęci i innych pierwiastków

w zależności od rodzaju torfu zaobserwowano w przypadku materiału pobranego z innych torfowisk w Polsce (Bojakowska, Sokołowska, 2001; Bojakowska, Lech, 2008).

Zawartość poszczególnych pierwiastków śladowych w torfach z torfowiska Stoczek była zbliżona do zawartości stwierdzonej w torfach występujących w rejonie Moskwy i Tweru oraz we wschodniej Macedonii (Christanis i in., 1998; Savvin i in., 2013). Torfy z torfowisk Huczwa i Otałżyno, o znacznie niższej zawartości pierwiastków śladowych, były pod tym względem zbliżone do torfów syberyjskich (Mezhibor i in., 2011).

Z analizy czynnikowej wynika, że w przypadku trzech rozpatrywanych torfowisk w czynniku 1 wraz z Al, Fe, K i Mg została zgrupowana większość oznaczanych pierwiastków śladowych (Ba, Be, Co, Cr, Ti, V, Li, Rb, Cs, Tl, Th i U; tab. 3). Czynniki ten, we wszystkich trzech przypadkach odpowiadający za ponad 30% zmienności, można określić jako litologiczny, uwarunkowany składem utworów występujących na przyległym do torfowiska obszarze, z którego były nawiewane pyły i z którego – w przypadku torfowisk niskich Huczwa i Stoczek – pochodziły też składniki wnoszone przez napływające wody. Czynniki 2 obejmuje Ca i Sr w przypadku torfowiska niskiego Huczwa, w przypadku torfowiska wysokiego Otałżyno – Ca, Cu oraz ze stosunkowo wysokimi ładunkami czynnikowymi także Ba, Sr, P i TOC. W przypadku torfowiska niskiego Stoczek czynniki, który łączy Ca i Sr, jest czynnikiem 3. Jest to czynnik sedymentacyjny związany z warunkami, w jakich akumulował materiał organiczny i mineralny (wytrącanie się węglanu wapnia). W torfowisku Stoczek czynniki 2, obejmujący Fe wraz z metalami ciężkimi (Pb, Hg i Cu), najprawdopodobniej jest związany z wytrącaniem się związków żelaza. W torfowisku Huczwa żelazo zgrupowane jest wraz z As i S w czynniku 3.

WNIOSKI

1. Najniższą zawartość analizowanych pierwiastków śladowych stwierdzono w torfach ze złoża Otałżyno. Torfy ze złoża Huczwa wyróżniają się najwyższą zawartością strontu, zaś torfy ze złoża Stoczek – najwyższym stężeniem badanych pierwiastków śladowych z wyjątkiem strontu.

2. Na stężenie pierwiastków w torfie zasadniczy wpływ ma typ torfowiska. Z badań wynika, że torfy z torfowiska wysokiego (Otałżyno) odznaczają się niższą zawartością analizowanych pierwiastków niż torfy z torfowisk niskich (Huczwa i Stoczek).

3. Zróżnicowanie zawartości pierwiastków w torfach w bardzo dużym stopniu zależy od chemizmu skał występujących na obszarze powstania torfowiska. Torfy ze złoża Huczwa, które wykształciło się na obszarze występowania lessów, są dużo uboższe w pierwiastki śladowe niż torfy ze złoża Stoczek, powstałego na obszarze występowania glin

morenowych. Stężenie Ni, Co, Li, Cs, Cr, V, U i Th w torfowisku Huczwa jest bardzo zbliżone do stężenia tych pierwiastków w torfowisku wysokim Otałżyno i znacznie niższe od ich stężenia w torfach ze złoża Stoczek.

4. Zawartość pierwiastków w torfie zależy od jego rodzaju. W torfowisku Otałżyno zawartość pierwiastków śladowych była wyższa w torfie drzewnym niż w torfie mszarnym, a w torfowisku Huczwa była wyższa w torfie turzycowym niż w torfie mechowiskowym.

5. Pod względem zawartości w rozpatrywanych torfach pierwiastki śladowe wykazują istotną korelację z Al, Fe i S, niższą korelację z P, jeszcze niższą (i rzadziej występującą) z Ca, a najniższą z TOC.

W pracy wykorzystano wyniki badań uzyskane podczas realizacji tematu 61.3204.1102.00.0, sfinansowanego ze środków przeznaczonych na działalność statutową PIG-PIB.

LITERATURA

- BINDLER R., 2003 — Estimating the natural background atmospheric deposition rate of mercury utilizing ombrotrophic bogs in southern Sweden. *Environ. Sci. Technol.*, **37**: 40–46.
- BINDLER R., 2006 — Mired in the past – looking to the future: geochemistry of peat and the analysis of past environmental changes. *Global Planet. Change*, **53**: 209–221.
- BOJAKOWSKA I., LECH D., 2008 — Zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych w torfach występujących na obszarze Polski. *Zesz. Nauk. P. Śl., Górnictwo*, **285**: 31–41.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G., 2001 — Rtęć w kopalniach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **394**: 5–54.
- CABALA J., SMIEJA-KRÓL B., JABLONSKA M., CHROST L., 2013 — Mineral components in a peat deposit: looking for signs of early mining and smelting activities in Silesia-Cracow region (Southern Poland). *Environ. Earth Sci.*, **69**: 2559–2568.
- CHRISTANIS K., GEORGAKOPOULOS A., FERNÁNDEZ-TURIEL J.L., BOUZINOS A., 1998 — Geological factors influencing the concentration of trace elements in the Philippi peatland, eastern Macedonia, Greece. *Int. J. Coal Geol.*, **36**, 3/4: 295–313.
- COGGINS A.M., JENNINGS S.G., EBINGHAUS R., 2006 — Accumulation rates of the heavy metals lead, mercury and cadmium in ombrotrophic peatlands in the west of Ireland. *Atm. Env.*, **40**: 260–278.
- DE VLEESCHOUWER F., GERARD L., GOORMAGHTIGH C., MATTIELLI N., LE ROUX G., FAGEL N., 2007 — Atmospheric lead and heavy metal pollution records from a Belgian peat bog spanning the last two millennia: human impact on regional to global scale. *Sci. Total Env.*, **377**, 2/3: 282–295.
- FARMER J.G., ANDERSON P., CLOY J.M., GRAHAM M.C., MACKENZIE A.B., COOK G.T., 2009 — Historical accumulation rates of mercury in four Scottish ombrotrophic peat bogs over the past 2000 years. *Sci. Total Env.*, **407**, 21: 5578–5588.
- FERRAT M., WEISS D.J., SPIRO B., LARGE D., 2012 — The inorganic geochemistry of a peat deposit on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau and insights into changing atmospheric circulation in central Asia during the Holocene. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **91**: 7–31.
- FITZGERALD W., ENGSTROM D.R., LAMBORG C.H., TSENG C.-M., BALCOM P.H., HAMMERSCHMIDT C.R., 2005 — Modern and historic atmospheric mercury fluxes in northern Alaska: global sources and Arctic depletion. *Env. Sci. Technol.*, **39**: 557–568.
- GAMZIKOV G.P., MARMULEV A.N., 2007 — Agrochemical assessment of bog phosphates in western Siberia. *Eurasian Soil Sci.*, **40**, 9: 986–992.
- KABATA-PENDIAS A., MUKHERJEE A.B., 2007 — Trace elements from soil to human. Springer, Berlin–Heidelberg.
- KALAITZIDIS S., CHRISTANIS K., GEORGAKOPOULOS A., FERNÁNDEZ-TURIEL J.L., PAPAZISIMOU S., 2002 — Influence of geological conditions during peat accumulation on trace element affinities and their behavior during peat combustion. *Energy & Fuels*, **16**: 1476–1482.
- KRACHLER M., MOHL C., EMONS H., SHOTYK W., 2003 — Two thousand years of atmospheric rare earth element (REE) deposition as revealed by an ombrotrophic peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland. *J. Environ. Monit.*, **5**, 1: 111–121.
- LOZIŃSKA-STĘPIEŃ H., RYTEL A., SALIŃSKI P., 1986 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Leszkowice (677). Wyd. Geol., Warszawa.
- MARTÍNEZ-CORTIZAS A., PONTEVEDRA-POMBAL X., GARCÍA-RODEJA E., NÓVOA-MUÑOZ J., SHOTYK W., 1999 — Mercury in a Spanish peat bog: archive of climate change and atmospheric metal deposition. *Science*, **284**: 939–942.
- MEZHIBOR A., ARBUZOV S., RIKHVANOV L., GAUTHIER-LAFAYE F., 2011 — History of the pollution in Tomsk Region (Siberia, Russia) according to the study of high-moor peat formations. *Int. J. Geosci.*, **2**, 4: 493–501.
- ORRU H., ORRU M., 2006 — Sources and distribution of trace elements in Estonian peat. *Global Planet. Change*, **53**, 4: 249–258.
- OSTRZYŻEK S., DEMBEK W., 1996 — Zlokalizowanie i charakterystyka złóż torfowych w Polsce spełniających kryteria potencjalnej bazy zasobowej z ustaleniem i uwzględnieniem wymogów związanych z ochroną i kształtowaniem środowiska. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PRUSSAK W., GŁOWNIAK J., 2002 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Kartuzy (25) z objaśnieniami. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- RYDELEK P., 2011 — Geneza i skład części mineralnych wybranych złóż torfów niskich Wysoczyzny Lubartowskiej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, **11**, 2: 135–149.
- SAVVIN S.B., AKHMET'eva N.P., MIKHAILOVA A.V., ERMO-LAEVA V.N., PODKOLZIN I.V., 2013 — Rare earth elements in the peats of Moscow and Tver oblasts. *Doklady Earth Sci.*, **448**, 1: 64–66.
- SHOTYK W., 1988 — Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters. *Earth-Sci. Rev.*, **25**, 2: 95–176.
- SHOTYK W., WEISS D., KRAMERS J.D., FREI R., CHEBURKIN A.K., GLOOR M., REESE S., 2001 — Geochemistry of the peat bog at Etang de la Gruère, Jura Mountains, Switzerland, and its record of atmospheric Pb and lithogenic trace metals (Sc, Ti, Y, Zr, and REE) since 12,370 ¹⁴C yr BP. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **65**, 14: 2337–2360.
- SHOTYK W., GOODSITE M.E., ROOS-BARRACLOUGH F., FREI R., HEINEMEIER J., ASMUND G., LOHSE C., HANSEN T.S., 2003 — Anthropogenic contributions to atmospheric Hg, Pb and As accumulation recorded by peat cores from southern Greenland and Denmark dated using the ¹⁴C “bomb pulse curve”. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **67**, 21: 3991–4011.
- SMIEJA-KRÓL B., FIAŁKIEWICZ-KOZIEŁ B., SIKORSKI J., PALOWSKI B., 2010 — Heavy metal behaviour in peat – a mineralogical perspective. *Sci. Total Env.*, **408**, 23: 5924–5931.
- STEINMANN P., SHOTYK W., 1997 — Geochemistry, mineralogy, and geochemical mass balance on major elements in two peat bog profiles (Jura Mountains, Switzerland). *Chem. Geol.*, **138**: 25–53.
- TANG S., HUANG Z., LIU J., YANG Z., LIN Q., 2012 — Atmospheric mercury deposition recorded in an ombrotrophic peat core from Xiaoxing'an Mountain, Northeast China. *Env. Res.*, **118**: 145–148.
- UKONMAANAHO L., NIEMINEN T.M., RAUSCH N., SHOTYK W., 2004 — Heavy metals and arsenic profiles in ombrogenous peat cores from four differently loaded areas in Finland. *Water, Air, Soil Poll.*, **158**: 277–294.

ZAREMBA A., 1958 — Dokumentacja geologiczna złóż torfu „Dolina rzeki Huczwa” (na odcinku Justynówka–Łaszczów) (podkategoria badań C₂). Arch. IMUZ, Falenty.

ZUNA M., ETTLER V., ŠEBEK O., MIHALJEVIČ M., 2012 — Mercury accumulation in peatbogs at Czech sites with contrasting pollution histories. *Sci. Total Env.*, **424**: 322–330.

SUMMARY

The contents of major and trace elements in three peat bogs (Fig. 1) were studied. The Otałzyno peat bog, located north of Kartuzy (northern Poland), is a raised sphagnum bog. The peatland site Huczwa, located north-east of Tomaszów Lubelski, is a rush fen, whereas the Stoczek peat bog, occupying a section of the Tyśmienica valley within the limits of the village of Stoczek, is a sedge and moss peat bog. The test samples were prepared by cutting cores into 10-centimetre sections (Otałzyno – 4.9 m, Huczwa – 8.8 m and Stoczek – 3.5 m). In the peat samples, after the total acid digestion, the content of Ag, Be, Cs, Li, Rb, Sb, Se, Th, Tl and U was determined by ICP-MS, whereas the content of Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sn, Sr, Ti, V and Zn by ICP-OES, Hg was determined using the TDA AAS method, and the organic carbon (TOC) by coulometry.

The lowest concentrations of trace elements were found in the raised peat bog Otałzyno. The peat from the Huczwa (fen) deposit displays higher contents of trace elements than those in the Otałzyno bog. The peat from the Stoczek deposit (fen) has the highest contents of the determined elements (Table 1). It was found that differences in the content of elements in the peat are strictly dependent on the chemistry of the rocks occurring in the area surrounding the bog. The pe-

ats from the Huczwa fen, which formed in the area of loess occurrence (dominated by quartz and calcium carbonates) are much more deficient in trace elements than the peat from the Stoczek deposit (also fen type), formed in the area of occurrence of tills (in addition to calcium carbonate, quartz and clay minerals as well as accessory minerals are present in its composition). In the peat, trace elements display a significant correlation with the content of Al, Fe and S, a slightly weaker correlation with the content of P, weaker with the content of Ca, and almost no correlation with the organic carbon content (Table 2). The factor analysis revealed the presence of factor 1 grouping Al, Fe, K and Mg with most of the determined trace elements (Ba, Be, Co, Cr, Ti, V, Li, Rb, Cs, Tl, Th and U) in all the peat bogs (Table 3). This factor can be defined as lithological. Other factors distinguished are different for individual peat bogs. In the Huczwa fen and in the Otałzyno raised bog, calcium and strontium occur in factor 2, whereas in the Stoczek fen, Ca and Sr are grouped in factor 3. This factor is associated with a sedimentary conditions in which organic material and calcium carbonate were accumulated. In the Stoczek bog, factor 2 grouping Fe with Cu, Hg and Pb, is associated with the precipitation of iron compounds, while in the Huczwa bog iron with As and S are grouped in factor 3.