

ROMAN RACINOWSKI

Uwagi o badaniu minerałów ciężkich w lessach Polski

Notes on loess' heavy minerals research in Poland

Słowa kluczowe: less, minerały ciężkie, Polska

Key words: loess, heavy minerals, Poland

WSTĘP

W Polsce badania minerałów ciężkich prowadzone są od początku XX wieku, początkowo dotyczyły one głównie osadów przedczwartorzędowych. Wycinkowo analizowane były tylko osady wydmowe i plażowe. Szczegółowiej zagadnieniem badań minerałów ciężkich w lessach zajmował się w latach 30. ubiegłego wieku J. Tokarski (1936) badający lessy podolskie. Zagadnienie genezy i sedymentacji lessów w literaturze polskiej rozpatrywał między innymi Malicki (1952) wykorzystujący do tego celu analizy minerałów ciężkich (Dobrzański, Malicki 1949). W tym też czasie Turnau-Morawska zainicjowała badania minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych (preglacialnych, rzecznych, glacialnych i lessów). Opublikowała też aktualną do tej pory rozprawę dotyczącą znaczenia badań minerałów ciężkich w szeroko pojętym wnioskowaniu litologicznym (Turnau-Morawska 1955). Zagadnienie to następnie omówiła Maliszewska (1969).

Duże zainteresowanie wykorzystaniem badań minerałów ciężkich we wszechstronnej charakterystyce osadów czwartorzędowych nastąpiło w latach 60. i 70. ubiegłego wieku. Na szerszą skalę zaczęto też prowadzić badania minerałów ciężkich utworów lessowych. Wkład w tę problematykę wniosło

wielu badaczy, wyniki tego rozpoznania i wypływające z nich wnioski znajdują się w szeregu specjalistycznych publikacji. Badaniami minerałów ciężkich w lessach zajmowali się między innymi: M. Turnau-Morawska, J. Morawski, J. Trembaczowski, R. Chlebowski, K. Radlicz, R. Racinowski, T. Tyrcha-Czyż, M. Kryszowska-Iwaszkiewicz, M. Wilgat (por. spis literatury). Wyniki tych analiz początkowo stanowiły ogólne wyznaczniki charakteryzujące lessy na tle innych genetycznie osadów pyłowych i gliniastych Polski.

Na przełomie wieków XX i XXI zainteresowanie badaniami minerałów ciężkich lessów w Polsce wzrosło w związku z opinią, że mogą one być wykorzystane jako pomocnicze do ustalenia źródła pochodzenia i kierunku transportu materiału osadotwórczego, charakterystyki dynamiki środowiska akumulacyjnego, stratygrafii lessów oraz ustalania „stopnia zwietrzenia” spowodowanego procesami paleopedologicznymi. Duże nagromadzenie materiału faktograficznego spowodowało wystąpienie szeregu wątpliwości i krytyczną ocenę efektywności wykorzystania analiz minerałów ciężkich do uniwersalnego rozwiązywania problematyki litogenetycznej i litostratygraficznej (np. Racinowski 1993, 2000).

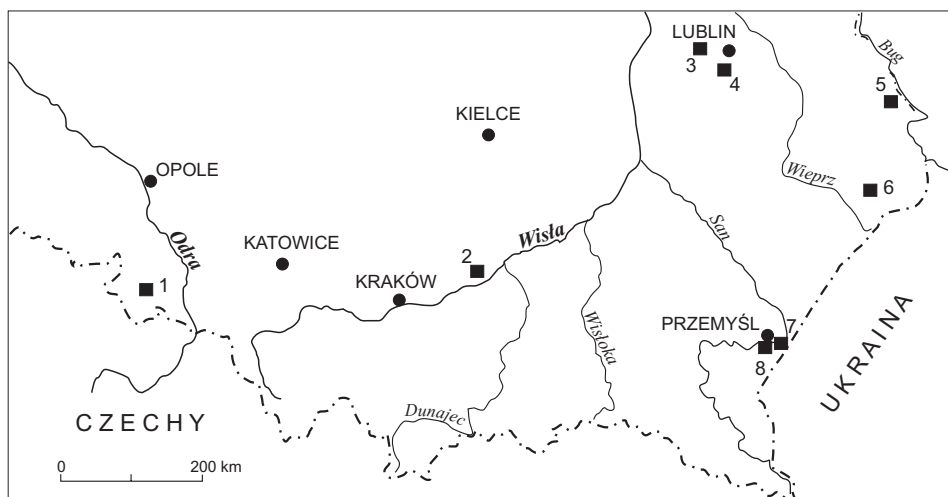
W niniejszym artykule na podstawie badań własnych i innych autorów przedstawiono niektóre zagadnienia metodyczne dotyczące badań minerałów ciężkich w lessach, sposobów ich kameralnej prezentacji i interpretacji litogenetycznej, litostratygraficznej i litohipergenicznej.

Lokalizację stanowisk, z których wykorzystane zostały wyniki, przedstawiono na ryc. 1. Szczegółowe informacje o sposobie oznaczania minerałów ciężkich znajdują się w wielu podręcznikach z zakresu mineralogii. W węższym zakresie w odniesieniu do osadów czwartorzędowych Polski prezentowane są między innymi przez Chlebowskiego i in. (2002, 2004) i Racinowskiego (1992, 1995, 2000).

UWAGI METODYCZNE

PRZYGOTOWANIE PRÓBKI DO SEPARACJI MINERAŁÓW CIĘŻKICH I SPOSÓB ROZDZIELANIA MINERAŁÓW

W Polsce zasadniczo badanie minerałów ciężkich prowadzi się na składnikach z materiału przemycanego wodą na sitach o określonej średnicy. Materiał ten zazwyczaj nie jest poddawany działaniu odczynników chemicznych (np. HCl), które powodują eliminację niektórych składników (np. kongrecji, agregatów, glaukonitu i częściowo chlorytów). Zabiegi takie jednak ułatwiają oznaczanie minerałów i przyspieszają wykonywanie analiz.



Ryc. 1. Rozmieszczenie stanowisk i rejonów badawczych, z których omawiane są wyniki analiz minerałów ciężkich: 1 – Baborów; 2 – Odonów; 3 – rejon lessów Płaskowyżu Bełżyckiego; 4 – rejon Lublina; 5 – Nieledew; 6 – Ratyczów; 7 – rejon lessów Przemyśla; 8 – Tarnawce
 Distribution of stands and research areas, on the basis of which results of heavy minerals analyses are discussed: 1 – Baborów; 2 – Odonów; 3 – area of loesses of the Bełżyce Plateau; 4 – area of Lublin; 5 – Nieledew; 6 – Ratyczów; 7 – area of loesses of Przemyśl; 8 – Tarnawce

W zależności od średnicy analizowanego materiału naważki rozdzielanych składników są zmienne, Należy jednak zwracać uwagę, aby w lejku rozdzielczym masa próbki nie była większa od 5–10 g. Jako cieczy ciężkiej, w której następuje rozdzielanie minerałów ciężkich o różnych gęstościach, używano bromoformu. Jednak ze względu na szkodliwe oddziaływanie na zdrowie coraz powszechniej stosuje się separację tych minerałów w wodnym roztworze poliwolframanu sodu.

FORMA ILOŚCIOWEGO USTALANIA SKŁADU MINERALNEGO

Początkowo analizy minerałów ciężkich wykonywane były z frakcji 0,25–0,01 mm lub 0,1–0,01 mm. Oznaczane minerały zliczane były metodą planimetrowania powierzchni lub pomiarem średnicy ziarn, a uzyskane wyniki traktowane były jako *procenty objętościowe*. Obecnie w przypadku lessów, innych utworów pyłowych oraz gliniastych badania wykonywane są na ziarnach o wielkości 0,1–0,06 mm, rzadziej z frakcji 0,06–0,01 mm. Wydzielone z danej frakcji składniki liczone są w wąskim pasie preparatu. Jako regułę przyjmuje się, że oznaczonych powinno być 200–300 składników przezroczystych (z wyłączeniem muskowitu, chlorytów, a niekiedy i glaukonitu). Wyniki takie traktowane są jako *procenty ilościowe*, które nawiązują ściśle do składu

objętościowego (Racinowski 1969). Jeżeli znane jest uziarnienie próbki, to wyniki tych analiz przeliczone mogą być na *procenty wagowe*, zarówno w odniesieniu do masy frakcji, z której zostały wydzielone, jak i masy całej próbki (Racinowski 1992).

PREZENTACJA WYNIKÓW ANALIZ MINERAŁÓW CIĘŻKICH

Najczęściej spektrum minerałów ciężkich podawane jest dwuczłonowo. Na wstępie minerały rozdziela się na „klasy” tj.: 1. *minerały nieprzezroczyste*, 2. *konkrecje i agregaty*, 3. *łyszczyki* (muskowit, chloryty) 4. *minerały przezroczyste* (bez łyszczyków). Dodatkowo wydzielana może być „klasa” glaukonitu. Bardzo często minerały nieprzezroczyste są łączone z „klasą” konkrecji i agregatów. Szczegółowym badaniom podlega tylko „klasa” minerałów przezroczystych, które dzielone są na „grupy” mineralne. Zazwyczaj są to: amfibole, biotyt, cyrkon, dysten, epidoty (łącznie z zoizytami), granaty, pirokseny, rutyl (łącznie z innymi minerałami tytanowymi), silimanit, turmaliny, inne minerały (np. andaluzyt, apatyt, monacyt, oliwiny, topaz). Do klasy minerałów przezroczystych dołączane bywają niekiedy chloryty i glaukonit.

Należy zwrócić uwagę, że w początkowym okresie badań składu minerałów ciężkich polskich lessów koncentrowano się wyłącznie na minerałach przezroczystych (np. Malinowski 1964), a także na to, że w analizach składu spektrum mineralnego nie zwracano uwagi na klasę łyszczyków, w tym również biotyty. Natomiast chloryty traktowane były jako zwietrzałe biotyty. Nie uwzględniano w składzie mineralnym muskowitu, konkrecji węglanowo-żelazistych lub nawet glaukonitu, uważając, że obecność tych składników spowodowana została zaniżoną gęstością cieczy, w której wydzielano minerały ciężkie.

UKŁADY MINERALNE

Czasem wskazane jest przedstawianie składu mineralnego, który w sposób jednoznaczny podaje kolejność występowania minerałów ze względu na zmniejszanie się ich odsetka w próbce. Nadaje się do tego zmodyfikowana metoda Kukukazu Doi, pozwalająca wyodrębnić trzy podzbiory składników: minerały wiodące, wspomagające oraz uzupełniające (Racinowski, Coufal 1991; Racinowski 2002). *Minerały wiodące* są pierwszymi składnikami w układzie, których suma przekracza 50%. Takie minerały w spektrum występują zazwyczaj w udziale powyżej 20%. Opisywać je można w tekście dużymi literami. Jeżeli zawartość jednego z nich przekracza 50%, jest on *minerałem dominującym*. Pozostałe minerały w spektrum, zbliżone ilościowo do ostatniego wyrazu składnika wiodącego, określa się jako *minerały wspomagające*. W tekście podawać je można w nawiasie dużymi literami. Zawartość ich w spektrum

mineralnym wynosi zazwyczaj 5–20%. Reszta minerałów, które ze względu na swoją specyfikę mogą mieć istotne znaczenie w rozważaniach litologicznych, określana jest jako *minerały uzupełniające* i występuje najczęściej w udziale < 5%. Oznaczać je można w nawiasie małymi literami.

BŁĘDY SUBIEKTYWNE I OBIEKTYWNE

Wykorzystując wyniki analiz minerałów ciężkich do charakterystyki osadów czwartorzędowych, należy mieć na względzie, że są one obarczone znacznymi błędami o charakterze obiektywnym i subiektywnym. Dla pojedynczych próbek zakres ich zbliżony jest do teoretycznego błędu właściwego dla rozkładu normalnego, który orientacyjnie określić można według zmodyfikowanego wzoru Griffithsa $\sigma = 2\sqrt{\frac{x(100-x)}{100}}$, gdzie: x – procentowa zawartość danego minerału. Wyliczona wartość σ stanowi jednostronną granicę możliwego zróżnicowania udziału minerału w próbce.

Błędy w znacznym stopniu są niwelowane przez fakt, że w spektrum mineralnym operuje się zawartością składników, które ujęte są w szersze „klasy” i „grupy” mineralne, a nie konkretnymi rodzajami minerałów, które mogą być błędnie oznaczone. Zniwelowanie błędu następuje też, gdy operuje się nie pojedynczymi próbkami, a zbiorami wyników charakteryzujących pewne kompleksy osadów (na przykład o podobnej genezie, o podobnym wieku, podobnej dynamice środowiska, podobnych cechach pedologicznych).

Względne „zmniejszenie zakresu” błędu następuje, gdy wnioskowanie litogenetyczne, litostratygraficzne, litodynamiczne opiera się na specjalnie wyliczonych wskaźnikach mineralnych. Jednak interpretacja ich musi być stosowana krytycznie. Do częściej stosowanych wskaźników należą relacje między minerałami o różnej odporności na niszczenie. Wykorzystywane są one głównie do określenia „stopnia zwiędzenia” osadów, wyznaczania poziomów gleb kopalnych, stratyfikacji osadów lessowych. W celu określenia dynamiki środowiska sedimentacyjnego ustala się stosunek minerałów ciężkich o różnych ekwiwalentach hydraulicznych lub aerodynamicznych, np. o gęstości > 3,4 g/cm³ do minerałów o gęstości 2,8–3,4 g/cm³, lub zastępczo relacje granatów do amfiboli. Wykorzystywany jest też stosunek łyszczyków (muskowit, chloryty) do pozostałych składników czy też amfiboli i piroksenów do biotyty i chloryty, które informują o „stopniu spokoju depozycyjnego” w środowiskach prądowych (wodnym i wiatrowym).

Trudno jest stwierdzić wyraźne prawidłowości w dyferencjacji minerałów ciężkich pod względem ich ekwiwalentu aerodynamicznego. Nie sprzyja temu

bardzo mała masa minerałów ciężkich, które są transportowane w zawieszynie w strumieniu powietrznym podlegającym ruchom turbulencyjnym. Jednak w skali lokalnej występować może bardzo wyraźne zróżnicowanie składników o różnych ekwiwalentach aerodynamicznych (Maruszczak, Racinowski 1976).

Należy liczyć się z tym, że szybki postęp technik badawczych spowoduje wypracowanie nowych metod analitycznych oraz większe zobiektywizowanie badań minerałów ciężkich zarówno w zakresie ich identyfikacji, jak i wykorzystania do wnioskowania o naturze osadów czwartorzędowych.

OGÓLNE CECHY MINERAŁÓW CIĘŻKICH W MATERIALE WYJŚCIOWYM LESSÓW POLSKICH

Źródłem zasilania lessów polskich są osady plejstocieńskie zawierające minerały mało odporne na procesy niszczenia fizycznego i chemicznego oraz skały lokalnego podłoża przedczwartorzędowego, zasobne w minerały odporne na te procesy. Cechy tego materiału wyjściowego wpływają na skład minerałów ciężkich lessów.

Na obszarze prawie całej Polski w spektrum minerałów ciężkich osadów mezozoicznych i trzeciorzędowych dominują: cyrkon, turmalin, rutil, staurolit, dysten. Sporadycznie występują granaty i epidoty. Tylko w sposób śladowy obserwuje się amfibole, pirokseny, biotyt. Natomiast na przedpolu Karpat i w Zapadlisku Przedkarpackim w utworach trzeciorzędowych, obok wymienionych, w znacznej ilości znajdują się granaty, a także amfibole, pirokseny i biotyt. Na przedpolu Sudetów zaznacza się podwyższona obecność epidotów oraz obecność piroksenów i silimanitu. W wielu osadach trzeciorzędowych Polski północno-zachodniej i zachodniej stwierdza się znaczące udziały amfiboli, biotyty, piroksenów, granatów, rutilu, a także glaukonitu, kongrecji żelazisto-manganowych oraz muskowitu i chlorytów.

Charakterystycznymi przezroczystymi minerałami ciężkimi polskich osadów czwartorzędowych są granaty, amfibole, cyrkon, biotyt, epidoty, rutil. Pozostałe składniki nie mają znaczącej roli przy określaniu cech diagnostycznych osadu. W Polsce NW zaznacza się pewne podobieństwo osadów plejstocieńskich do utworów trzeciorzędowych. Na przedpolu Karpat utwory czwartorzędowe wzbogacone są głównie w granaty i chloryty pochodzące ze zwietrzelin fliszowych skał karpackich. Natomiast na przedgórzu sudeckim w osadach czwartorzędowych lokalnie występują podwyższone udziały piroksenów, staurolitu, silimanitu.

Na tej podstawie generalnie uznaje się, że lessy pod względem składu mineralnego wykazują wyraźne związki z różnowiekowymi utworami przed-

czwartorzędowymi oraz czwartorzędowymi osadami glacialnymi, fluwio- i limnoglacialnymi jak też różnogenetycznym materiałem strefy peryglacialnej czy też interglacialnymi (interstadialnymi) utworami rzecznyymi i jeziorzyskowymi.

Przyjmuje się, że niektóre minerały wykorzystywane mogą być do wnioskowania o źródle i wieku materiału wyjściowego oraz kierunku transportu (np. Borowiec i in. 1978; Buraczyński i in. 1978, 1986; Chlebowski i in. 1976, 1991, 2002; Gwóźdź, Racinowski 1968; Malinowski, Mojski, 1960; Racinowski 1976; Racinowski i in. 2004). Uważa się, że glaukonit wskazuje na doprowadzanie do osadów składników pochodzących ze zwietrzelin skał mezozoicznych (przeważnie kredowych) lub trzeciorzędowych (głównie oligoceńskich). Znaczna obecność amfiboli, biotytu, piroksenów świadczy o materiale pochodzącym z rozwiewanych plejstocenijskich osadów lodowcowych. Podwyższone udziały granatów sugerują powiązanie utworów pyłowych z utworami fluwialnymi i jeziorzyskowymi, a na przedpolu Karpat ze zwietrzeliną skał fliszowych.

MASA MINERAŁÓW CIĘŻKICH W POLSKICH LESSACH

Zawartość minerałów ciężkich w lessach jest stosunkowo niewielka, bo wynosi poniżej 0,001% w stosunku do masy całego osadu. We frakcji 0,25–0,1 mm masa minerałów ciężkich mieści się w zakresie 0,2–7,0% wagowych tej frakcji. W najczęściej analizowanej w lessach frakcji 0,1–0,06 mm udział tych składników mieści się w zakresie 0,06–3,0%, a we frakcji 0,06–0,01 mm jest w interwale 0,01–0,30%. Tymczasem w glinach zwałowych we frakcji 0,1–0,06 mm masa minerałów ciężkich znajduje się w zakresie 0,11–2,57%, a we frakcji 0,06–0,01 mm 0,30–0,51%. Dla mułków odpowiednio we frakcji 0,1–0,06 mm wynosi 0,09–4,8%, a we frakcji 0,06–0,01 mm jest jej 0,20–4,0%. Dla utworów piaszczysto-żwirowych (fluwioglacialnych, fluwialnych) rozpatrywać można tylko zawartość minerałów ciężkich we frakcji 0,1–0,06 mm, ich udział mieści się w przedziale 0,4–30,0% wagowych. Tak więc generalnie można przyjąć, że w stosunku do wyjściowego materiału czwartorzędowego w lessach następuje znaczące zmniejszenie masy minerałów ciężkich w porównaniu z innymi osadami plejstocenijskimi.

ŚREDNICE MINERAŁÓW CIĘŻKICH W POLSKICH LESSACH

Minerały ciężkie wydzielone z lessów grupują się skrajnie w przedziale średnic 0,25–0,01mm. Dla lessów lubelskich i przemyskich zazwyczaj 50%

przezroczystych minerałów ciężkich mieści się w przedziale średnic 40–60 mm. Zobrazowane jest to w tabeli 1, w której podano wielkości pierwszego kwartyła (Q1) odpowiadającego 25% udziałowi średnic danego składnika oraz wielkość trzeciego kwartyła (Q3) będącego granicą jej 75%.

Tab. 1. Granice średnic w mm, w których mieści się 50% składników mineralnych, określone na podstawie 100 próbek pobranych z lessów lubelskich i przemyskich z frakcji < 0,25 mm (Racinowski 1976)

Limits of diameters of mineral grains in mm, which contain 50% of mineral elements, determined on the basis of 100 samples collected from loesses of Lublin and Przemyśl areas, from fraction < 0.25 mm (Racinowski 1976)

Składniki mineralne (klasy i grupy)	Kwartyle średnic ziarn mineralnych w mm	
	Q1 = 25%	Q3 = 75%
Minerały nieprzezroczyste	0,30	0,60
Łyszczyki	0,40	0,70
Amfibole	0,40	0,80
Biotyt	0,40	0,60
Cyrkon	0,40	0,60
Dysten	0,40	0,60
Epidoty	0,40	0,70
Glaukonit	0,30	0,40
Granaty	0,40	0,70
Rutyl	0,30	0,60
Staurolit	0,50	0,80
Turmalin	0,40	0,70

Q1 – pierwszy kwartył wskazujący na graniczną średnicę 25% ziarn danego minerału w populacji;
Q3 – trzeci kwartył wskazujący na graniczną średnicę 75% ziarn danego minerału w populacji

Rozpatrując skrajne wartości średnich udziału danych minerałów w próbkach lessów z profilu w Nieleddwi (tab. 2), obserwuje się, że mieszczą się one w przedziale średnic 20–98 mm. Odnotować należy, że najmniejsze rozstępy między wartościami skrajnymi charakterystyczne są dla minerałów o relatywnie dużych zawartościach w spektrach minerałów ciężkich.

Z przytoczonych danych wyraźnie wynika, że materiał wydzielony frakcji od 0,1 mm (lub 0,12 mm czy też 0,16 mm) do 0,06 mm (lub 0,05 mm) jest miarodajny do oceny składu minerałów ciężkich lessów, oddając w sposób wiarygodny spektrum mineralne dla danego zespołu próbek wydzielonego z analizowanego profilu lub przekroju, i można go wykorzystywać do różnych celów porównawczych osadów lessowych.

Tab. 2. Zakres zmienności średnic minerałów ciężkich wydzielonych z frakcji 0,25–0,01 mm niektórych grup mineralnych lessów z profilu Nieledeu, określony na podstawie 24 próbek (Racinowski 1969)

Range of variability of heavy minerals diameters separated from fractions 0.25–0.01 mm of some mineral groups of loesses from the Nieledeu profile, determined on the basis of 24 samples (Racinowski 1969)

Składniki mineralne (klasy i grupy)	Średnie wielkości ziarn mineralnych w mm	
	Minimalne	Maksymalne
Minerały nieprzezroczyste	0,029	0,059
Łyszczyki	0,035	0,080
Minerały przezroczyste bez łyszczyków	0,044	0,063
Amfibole	0,035	0,067
Biotyt (łącznie z chlorytem)	0,033	0,083
Cyrkon	0,033	0,056
Dysten	0,035	0,080
Epidoty	0,035	0,063
Glaukonit	0,030	0,060
Granaty	0,041	0,068
Rutyl	0,028	0,061
Staurolit	0,040	0,098
Turmalin	0,020	0,074

ZRÓŻNICOWANIE SKŁADU MINERAŁÓW CIĘŻKICH LESSÓW W ZALEŻNOŚCI OD BADANEJ ŚREDNICY

Jak już zaznaczono powyżej, z punktu widzenia metodycznego najwłaściwsze jest prowadzenie analiz minerałów ciężkich z frakcji 0,1–0,06 mm. Nie mniej celowa jest znajomość zawartości tych składników w innych frakcjach. Jako jeden z pierwszych ocenę taką przeprowadził Morawski (1971). Stwierdził on, że w miarę zmniejszania się badanej średnicy wzrasta udział cyrkonu i rutylu, natomiast maleje zawartość amfiboli i granatów.

Bardziej szczegółowo analizę taką przeprowadził autor dla składników znajdujących się we frakcjach o średnicach 0,25–0,1 mm, 0,1–0,06 mm, 0,06–0,01 mm dla próbek lessów wierzchowinowych z Lublina (tab. 3) oraz dla lessów i mułków stokowych z Baborowa (tab. 4). W obu przypadkach stwierdza się, że niezależnie od analizowanych frakcji występują w nich analogiczne jakościowo grupy minerałów przezroczystych, jednak ich średnie zawartości zmieniają się wraz z wielkością frakcji. Zauważa się też, że niektóre składniki w sposób konsekwentny są różnicowane w obu zbiorach wyników. Dotyczy to

Tab. 3. Zróżnicowanie składu przezroczystych minerałów ciężkich w zależności od średnicy badanej frakcji lessów wierzchowinowych z Lublina (X – wartości średnie, m – minimalna i maksymalna zawartość minerałów)

Differentiation of the content of transparent heavy minerals depending on the diameter of the examined fraction of top loesses from Lublin (X – mean values, m – minimum and maximum content of minerals)

Frakcje w mm	Ilość próbek n = 10	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych												
		amfibole	biotyt (z chloritem)	cyrkon	dysten	epidoty	glaukonit	granaty	piroksen	rutyl	staurolit	turmaliny	inne	
0,25-0,1	X	11,9	29,3	11,0	3,2	10,6	0,1	20,7	1,4	3,5	2,1	5,7	0,5	
	m	6,6-21,1	6,6-67,9	0,0-30,1	0,0-3,6	4,0-21,1	0,0-1,4	6,6-36,0	0,0-5,0	0,0-10,0	0,0-7,7	0,0-11,0	0,0-3,0	
0,1-0,06	X	12,0	7,2	15,5	4,3	13,5	0,0	29,9	2,0	8,7	1,5	4,7	0,7	
	m	3,9-19,4	1,1-11,0	4,4-29,6	2,3-7,4	9,1-19,5	0	13,7-47,5	0,7-4,5	3,2-15,2	0,7-3,2	0,4-9,1	0,0-3,4	
0,06-0,01	X	15,6	7,0	23,5	4,2	15,5	0,1	16,5	1,0	10,9	0,9	2,4	2,4	
	m	8,3-29,2	1,8-15,5	12,6-39,4	0-8,3	12,4-18,4	0,0-0,6	12,6-20,6	0,0-2,4	6,3-17,4	0,0-2,5	0,5-4,7	0,0-5,8	

Tab. 4. Zróżnicowanie składu przezroczystych minerałów ciężkich w zależności od średnicy badanej frakcji lessów i mułków stokowych w profilu Baborów (X – wartości średnie, m – minimalna i maksymalna zawartość minerałów)

Differentiation of the content of transparent heavy minerals depending on the diameter of the examined fraction of loesses and slope muds in the Baborów profile (X – mean values, m – minimum and maximum content of minerals)

Frakcje w mm	Ilość próbek n = 19	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych												
		amfibole	biotyt	cyrkon	dysten	epidoty	glaukonit	granaty	piroksen	rutyl	staurolit	turmaliny	inne	
0,25-0,1	X	21,3	8,7	5,0	5,0	7,4	1,2	17,3	5,5	4,7	15,4	7,3	1,2	
	m	5,9-31,8	3,5-15,8	1,3-10,9	1,1-8,8	4,0-11,9	0,0-5,7	8,6-30,0	0,0-10,7	1,6-17,1	5,7-27,1	3,1-14,3	0,0-2,9	
0,1-0,06	X	21,2	9,4	21,5	3,0	8,9	1,8	9,9	3,1	11,5	3,9	4,6	1,2	
	m	9,8-30,4	3,9-21,4	10,7-36,8	1,3-7,3	3,0-11,9	3,0-11,9	3,4-15,9	1,4-5,9	3,8-20,7	0,4-6,6	2,6-8,2	0,0-2,3	
0,06-0,01	X	11,6	3,3	32,8	2,3	13,4	1,8	11,1	0,8	16,1	2,7	3,2	0,9	
	m	3,7-19,8	1,3-7,7	19,2-44,2	1,0-3,7	6,7-19,9	0,5-3,8	4,8-17,4	0,0-1,9	11,7-26,0	0,0-3,4	1,1-6,7	0,0-2,1	

cyrkonu, rutylu, epidotu, których udział wzrasta w miarę zmniejszania się średnicy. Natomiast w kierunku tym maleje ilość biotyту, staurolitu i turmalinu. Granaty i amfibole nie wykazują takich prawidłowości i udziały ich dla obu stanowisk przebiegają w odrębny sposób. Wydaje się, że przyczyny tego zjawiska wynikają z odrębności materiału źródłowego oraz przebiegu procesu depozycji i redepozycji w miejscu jego obecnego występowania.

Niezależnie od tendencji zróżnicowania średnich udziałów na uwagę zasługuje wielkość rozstępu między skrajnymi zawartościami w poszczególnych grupach przezroczystych minerałów ciężkich w badanych frakcjach próbek pobranych w danych profilach czy też stanowiskach badawczych. Jednoznaczna interpretacja takiego zróżnicowania jest trudna do wyjaśnienia. Sądzi się, że nakładają się tu czynniki związane ze zmianą źródła alimentacji materiału pyłowego, z lokalnym zróżnicowaniem kierunków nawiewania, zmianą dynamiki w strumieniu powietrza transportującego chmurę pyłową, a następnie przekształceniem świeżo zakumulowanego osadu w efekcie procesów redepozycyjnych (przewiewanie, spłukiwanie).

ZRÓŻNICOWANIE LITOSTRATYGRAFICZNE MINERAŁÓW CIĘŻKICH W NIEKTÓRYCH PROFILACH LESSOWYCH

Na podstawie dotychczasowych wyników badań minerałów ciężkich w polskich lessach nie można stwierdzić, aby w zróżnicowaniu zawartości poszczególnych składników na obszarze całej Polski, czy nawet w jednym regionie, następowały prawidłowości, na których podstawie można przeprowadzić wnioskowanie litostratygraficzne. Wyniki te mogą wspomagać opisy z dokumentacji badań terenowych lub też uzupełniać wnioskowanie o warunkach paleogeograficznych w pewnym kompleksie stratygraficznym (określonym w oparciu o np. datowania termoluminescencyjne, badania paleomagnetyzmu itp.). Tytułem przykładu przytoczono wyniki składu minerałów ciężkich dla niektórych profili lessowych. Ponieważ są to badania sprzed wielu lat, a autor nie jest kompetentny w sprawie przyjęcia ujednoczonej dla zestawianych kompleksów litologicznych pozycji wiekowej, przyjęto oznaczenia stosowane przez opisujących je badaczy.

W przypadku profilu **Odonów** (tab. 5) opracowanego przez Jersaka (za Racinowski, Śnieszko 1997) obserwuje się, że w lessach najmłodszych relatywnie najwyższe są udziały amfiboli i rutylu w stosunku do cyrkonu i granatu. W stropowych poziomach lessów starszych górnych zaznaczają się wahania zawartości udziałów amfiboli, cyrkonu, granatów, turmalinu. Stosunkowo mało jest rutyli. Obserwuje się, że ku spągowi tego poziomu zmniejszają się udziały

Tab. 5. Uproszczony średni skład przezroczystych minerałów ciężkich (frakcja 0,2–0,06 mm) w kompleksach litostratygraficznych lessu z profilu Odonów (dane archiwalne J. Jersaka – za R. Racinowski, Z. Śniezko 1997)
 A simplified mean content of transparent heavy minerals (fraction 0.2–0.06 mm) in lithostratigraphic loess complexes from the Odonów profile (archival data by J. Jersak – after R. Racinowski, Z. Śniezko 1997)

Kompleksy litostratygraficzne	Ilość próbek	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych										
		amfibole	apatyt	cyrkon	dysten	epidoty	granaty	pirokseny	rutyl	staurolit	turmalin	inne
a	2	37	+	26	–	3	14	–	16	3	1	–
b	1	16	–	40	–	4	31	–	5	2	2	–
c	3	17	+	41	–	4	23	–	15	–	–	–
d	4	11	–	53	2	3	20	+	5	2	3	1
e	8	20	–	34	2	5	25	+	8	2	3	1
f	1	26	–	11	–	8	24	–	7	–	24	–
g	3	6	+	36	4	8	33	+	7	+	6	+
h	8	9	+	37	1	10	29	+	8	1	5	+
i	1	6	–	45	1	10	32	–	4	–	2	–

Objaśnienia kompleksów wg J. Jersaka: a – less młodszy IIb; b – gleba typu komorniki; c – less młodszy IIa; d – kompleks glebowy nietulisko; e – less starszy górny Ib; f – gleba typu nieledew; g – less starszy górny Ia; h – kompleks glebowy typu tomaszów; i – less starszy dolny

Tab. 6. Uproszczony średni skład przezroczystych minerałów ciężkich we frakcji 0,1–0,05 mm w kompleksach litostratygraficznych profilu Ratyczów 1 wg K. Radlicza (za J. Buraczyńskim i in. 1978)
 A simplified mean content of transparent heavy minerals (fraction 0.1–0.05 mm) in lithostratigraphic complexes of the Ratyczów 1 profile acc. to K. Radlich (after J. Buraczyński et al. 1978)

Kompleksy litostratygraficzne	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych													
	amfibole	biotyt	cyrkon	dysten	epidoty	glaukonit	granaty	monacyt	piroksen	rutyl	staurolit	silimanit	turmalin	inne
VII	5,0	2,8	11,9	2,0	6,5	1,3	41,3	0,9	1,7	12,0	1,5	1,8	9,6	1,7
VI	5,7	1,9	14,8	2,3	4,3	0,5	34,6	1,8	0,3	14,2	2,2	1,1	14,3	2,0
V	4,8	2,4	15,1	2,6	6,1	1,2	37,7	2,8	1,3	13,3	3,3	0,2	8,2	1,0
IV	6,2	1,7	12,9	2,4	10,0	3,1	26,0	3,5	2,6	14,3	3,2	1,6	11,2	1,3
III	9,3	0,4	11,8	1,8	8,5	3,8	30,4	4,9	2,4	13,0	1,2	1,1	8,4	3,0
II	6,4	0,4	8,7	2,3	7,4	4,0	30,4	4,6	2,8	15,2	1,5	0,1	11,4	4,8
I	9,3	0,6	9,6	2,1	8,4	5,7	24,5	5,1	3,6	16,3	1,6	0,8	7,9	4,5

Objaśnienia kompleksów wg J. Buraczyńskiego i in. 1978 (uproszczone): I – less starszy ze słabo wykształconą glebą (złodowacenie południowopolskie); II–III – lessy starsze przedzielone glebą kopalną; IV – less starszy (złodowacenie środkowopolskie); V – less młodszy (najniższy) z glebą paudorff (komorniki); VI – less młodszy środkowy; VII – less młodszy górny

amfiboli i rutyli. Przeciwną tendencję wykazują granaty i epidoty. Natomiast zawartość cyrkonu wykazuje skokowe zmiany w poszczególnych kompleksach litostratygraficznych. W prezentowanym profilu zwiększa się ku górze ilość amfiboli, co wskazywać może, iż wyjściowy był materiał pochodzący z rozwiewanych świeżych osadów lodowcowych i wodnolodowcowych. Natomiast na podstawie wzrostu udziału cyrkonu i epidotu w lessach spągowych wnioskować można, że materiałem źródłowym były rozwiewane plejstocieńskie osady aluwialne i limniczne.

W profilu **Ratyczów** (tab. 6) występują podobne pod względem jakościowym przezroczyste minerały ciężkie. Duże są różnice ilościowe. Zasadniczo duże są udziały granatów, których udział wzrasta ku stropowi. Stosunkowo mało jest amfiboli, przy czym relatywnie więcej jest go w dolnej części profilu. Stosunkowo dużo jest turmalinu, a mniej cyrkonu i rutyli. Wyznaczenie prawdopodobnych miejsc, z których nawiewany był materiał pyłowy, omówione zostało przez K. Radlicza (Buraczyński i in. 1978). Dodatkowo można jednak przyjąć, że dużą zawartość granatów wiązać można z lokalnym materiałem pochodzącym z osadów lodowcowych redeponowanych (rozmywanych) do środowiska wód płynących lub stojących.

Z kolei w profilu **Nieledew** (tab. 7) według badań M. Wilgat (Maruszczak, Wilgat 1978) charakterystyczne jest podwyższanie udziałów amfiboli i granatów od spągu ku stropowi lessów. W przeciwną stronę wzrasta zawartość cyrkonu i rutyli. Wyraźne wzbogacenie górnej części profilu w amfibole wskazuje, że źródłem materiału lessu były rozwiewane osady bezpośredniej akumulacji lodowcowej lub wodnolodowcowej. Natomiast w dolnej części profilu wśród minerałów ciężkich przeważają składniki bardziej odporne na niszczenie, pochodzące prawdopodobnie z redeponowanych skał przedczwartorzędowych i zwietrzeli osadów lodowcowych w środowisku jeziorzyskowo-rozlewiskowym.

W profilu lessów w Tarnawcach na Pogórzu Przemyskim (tab. 8) w ustalonym przez M. Wilgat (Łanczont, Wilgat 1994) składzie przezroczystych minerałów ciężkich zaznacza się przewaga trzech składników: cyrkonu, granatów, rutyli. Wskazuje to w sposób wyraźny na związek lessów z redeponowaną zwietrzeliną fliszowych skał karpackich, które w formie aluwii i deluwii wywiewane były z dna doliny Sanu.

Tab. 7. Uproszczony średni skład przezroczystych minerałów ciężkich (frakcja 0,06–0,01 mm) w kompleksach litostratygraficznych lessu z profilu Nieledeu (wg Maruszczak, Wilgat 1978)
 A simplified mean content of transparent heavy minerals (fraction 0.06–0.01 mm) in lithostratigraphic loess complexes from the Nieledeu profile (acc. to Maruszczak, Wilgat 1978)

Kompleksy litostratygraficzne	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych												
	amfibole	biotyt	cyrkon	dysten	epidoty	glaukonit	granaty	monacyt	rutyl	staurolit	turmalin	inne	
1	19,7	4,5	14,6	0,3	22,5	0,9	12,6	0,8	14,4	0,2	3,2	6,3	
2	21,8	2,7	16,1	1,8	25,9	0,5	11,0	0,4	11,0	0,4	3,1	5,3	
3	11,6	3,5	22,8	1,4	24,0	1,3	8,8	1,2	17,1	0,4	1,6	6,3	
4	20,7	2,3	16,3	0,8	24,8	0,3	8,3	0,2	15,5	0,7	4,5	5,6	
5	7,2	1,3	26,8	0,7	22,7	1,1	11,8	0,9	18,8	0,7	3,1	4,9	
6	9,1	2,4	23,8	1,1	28,4	0,2	7,9	1,3	16,1	1,0	2,5	6,2	
7	8,8	1,3	23,3	1,0	25,3	1,1	6,6	0,4	20,0	0,7	5,8	7,0	
8	9,1	1,3	23,3	0,6	19,7	1,2	8,1	0,1	25,0	0,5	4,6	6,5	

Objaśnienia kompleksów (wg wydzielen Maruszczaka 1991): 1 – less młodszy węglanowy, LMg+s+d+n); 2 – sedymenty glebowe wśród lessów młodszych (sg); 3 – gleba interglacialna GJ/A+A₃+B); 4 – lessy starsze węglanowe górne i środkowe (LSg+s); 5 – gleby interstadialne wśród lessów starszych (Gi/A+AC); 6 – lessy starsze dolne i najniższe z oznakami pedogenezy (LSd+n); 7 – gleba interglacialna oddzielająca lessy starsze od najstarszych (GJ/A+A₃+B); 8 – less najstarszy (LN)

Tab. 8. Uproszczony średni skład przezroczystych minerałów ciężkich (frakcja 0,2–0,06 mm) w profilu Tamawce koło Przemysła (wg Lanczont, Wilgat 1994)

A simplified mean content of transparent heavy minerals (fraction 0.2–0.06 mm) in the Tamawka near Przemysł profile (acc. to Lanczont, Wilgat 1994)

Symbole kompleksów wg H. Maruszczaka	Ilość próbek	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych										
		amfibole	apatyt	cyrkon	dysten	epidoty	granaty	pirokseny	rutyl	staurolit	turmalin	inne
LMg2	1	0,6	0,0	18,7	0,3	0,5	57,7	0,0	16,5	1,5	1,2	3,0
Gi/LMs	1	0,5	0,5	22,4	0,0	0,8	58,0	0,0	14,0	1,3	1,3	1,2
Gi/LMd	1	0,0	0,0	40,6	0,2	2,0	32,3	0,0	21,7	0,7	0,7	1,8
LMn	1	1,2	0,0	46,8	0,3	3,5	11,3	0,0	29,8	2,6	2,6	1,9
GJ1/LSg	2	0,6	0,4	44,1	0,3	3,8	12,1	0,0	31,9	3,4	3,1	0,3
sg/LSg2	1	1,1	0,3	47,0	0,3	5,4	8,3	0,0	32,0	2,7	1,3	1,6
LSg2+3	3	2,3	2,2	29,7	0,4	5,9	34,2	0,0	19,3	2,3	1,7	2,0
LSg4	1	4,0	0,0	26,1	0,0	8,8	35,3	0,0	19,9	2,0	1,4	2,5
LSd+s	3	0,9	3,0	27,	0,3	3,5	41,2	0,1	18,5	2,1	1,0	2,4

Objaśnienia kompleksów litostratygraficznych: LMg2 – less młodszy górny; Gi/LMs – gleba interstadialna; Gi/LMd – less młodszy środkowy; LMn – less młodszy najniższy; GJ1/LSg1 – gleba interglacialna, eemcka; sg/LSg2 – sediment glebowy, less starszy górny średni; LSg2+3 – less starszy górny średni i wczesny; LSg4 – less starszy górny najwcześniejszy; LSd+s – less starszy dolny i środkowy. Nazewnictwo jednostek lessowych i glebowych wg Maruszczaka (1991)

ZMIENNOŚĆ SKŁADU MINERALNEGO
W RÓŻNYCH POZIOMACH GLEBOWYCH

Badania minerałów ciężkich we współczesnych nalessowych poziomach glebowych Płaskowyżu Nałęczowskiego, wykonane przez J. Morawskiego (Uziak i in. 1971), przedstawiono w formie uśrednionej w tabeli 9. Wyniki te nie pozwalają na stwierdzenie większych odrębności między poziomami glebowymi A i B. Zaznaczają się jednak odrębności między nimi a utworami podłoża (poziom C i D). W poziomach wyjściowych jest więcej amfiboli, a mniej cyrkonu, granatów oraz rutyli. Jednak rozstęp między skrajnymi wartościami wszystkich grup przezroczystych minerałów ciężkich we wszystkich poziomach glebowych jest podobny. Dlatego też na podstawie analizy pojedynczych próbek wnioskowanie jest obarczone bardzo dużym błędem.

W oparciu o przytoczony przykład sądzić można, że współczesne procesy glebowo-hipergeniczne nie wpłynęły w istotny sposób na zmianę składu mineralnego i nie spowodowały eliminacji przezroczystych minerałów ciężkich mało odpornych na wietrzenie.

Obraz zróżnicowania minerałów ciężkich w glebach kopalnych podano przykładowo dla kilku stanowisk badawczych.

W stanowisku **Odonów II**, w którym skład minerałów ciężkich podany został dla frakcji 0,2–0,06 mm przez J. Jersaka (Racinowski, Śnieszko 1997) – tab. 5 – nie można zaobserwować zróżnicowania między odmiennymi genetycznie i wiekowo poziomami gleb kopalnych. Dodatkowe informacje o składzie minerałów ciężkich w glebie kopalnej typu tomaszów dla frakcji 0,16–0,06 mm i 0,06–0,01 mm podano w tabeli 10 (za Racinowski i Śnieszko 1997). Stwierdza się, że pod względem jakościowym występują podobne składniki. Jednak we frakcji grubszej jest nieco więcej amfiboli, epidotów, granatów i turmalinów. Natomiast we frakcji drobniejszej zaznacza się wzrost ilości cyrkonów i rutyli. W obu analizowanych frakcjach są zbliżone udziały epidotów. Uważa się, że materiałem źródłowym minerałów ciężkich były redeponowane osady lodowcowe, przemieszane ze znajdującymi się na wtórnym złożu zwietrzelinami lokalnych skał przedczwartorzędowych. Były to prawdopodobnie rozwiewane osady wysychających jeziorzysk. Należy zwrócić uwagę, że i w tym profilu nie ma wyraźnego zróżnicowania między różnymi genetycznie i wiekowo poziomami glebowymi, w których występuje materiał o różnej odporności na niszczenie.

W profilu lessów z **Nieledwi** J. E. Mojski (1965) wyróżnił szereg poziomów litostratygraficznych, dla których skład mineralny podany został przez R. Racinowskiego (1969). Uśrednione spektrum mineralne tego profilu zestawiono

Tab. 9. Średni skład przezroczystych minerałów ciężkich we współczesnych glebach rozwiniętych na lessach Płaskowyżu Natęczowskiego wg J. Morawskiego (za Uziak i in. 1971). W nawiasach podano wartości skrajne
 Mean content of transparent heavy minerals in contemporary soils developed on the Natęczów Plateau loesses acc. to J. Morawski (after Uziak et al. 1971). Extreme values given in brackets

Poziom glebowy próbek	Ilość próbek	Przezroczyste minerały ciężkie w orientach ilościowych										
		amfibole	biotyt	cyrkon	dysten	epidoty	granaty	pirokseny	rutyl	staurolit	turmalin	inne
A	6	16,8 (0,9-35,9)	1,3 (0,0-3,5)	15,5 (9,0-25,4)	3,2 (1,8-5,5)	10,0 (5,9-7,6)	31,4 (23,7-36,1)	0,2 (0,0-1,0)	13,8 (9,0-18,8)	3,5 (1,4-5,4)	3,1 (1,0-5,4)	1,2 (0,0-2,2)
B	2	17,9 (3,0-28,2)	1,7 (0,0-4,8)	16,8 (11,6-25,4)	3,3 (0,0-6,5)	9,1 (5,1-11,8)	26,0 (15,2-33,7)	1,0 (0,0-6,3)	12,0 (5,3-17,1)	4,8 (2,0-8,2)	4,5 (2,0-7,6)	2,9 (0,0-3,9)
C	2	32,1 (25,6-38,6)	11,0 (3,4-18,5)	8,8 (6,2-11,4)	3,3 (2,3-4,4)	7,0 (4,5-9,5)	21,3 (16,2-26,4)	1,6 (0,9-2,3)	6,5 (5,3-7,7)	3,3 (1,5-5,2)	3,0 (0,0-6,1)	2,1 (1,7-2,3)
D	2	12,7 (1,5-23,4)	2,8 (0,6-9,9)	20,7 (7,9-37,5)	2,7 (1,1-5,0)	5,8 (3,0-9,2)	28,0 (19,0-54,4)	1,3 (0,0-2,5)	12,3 (6,8-21,3)	2,3 (1,4-3,8)	6,6 (3,4-11,4)	4,8 (0,0-15,2)

A – poziom próchniczny; B – poziom wmywania (iluwialny); C – poziom skały macierzystej; D – poziom skały podścielającej

Tab. 10. Skład przezroczystych minerałów ciężkich w poziomach gleb kopalnych typu tomaszów z profilu Odonów II we frakcji 0,16–0,06 mm i 0,06–0,01 mm (oznaczenia symboli warstw i poziomów glebowych zgodnie z opisem J. Jersaka). Za R.Racinowski, Z. Śnieszko (1997)
The content of transparent heavy minerals in the levels of fossil soils, tomaszów type from the Odonów II profile, fraction 0.16–0.06 mm and 0.06–0.01 mm (denotations of the symbols of layers and soil levels acc. to J. Jersak's description). After R. Racinowski, Z. Śnieszko (1997)

Symbol warstwy	Poziom glebowy	Ilość próbek	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych											
			amfibole	apatyt	cyrkon	dysten	epidoty	granaty	pirokseny	rutyl	staurolit	turmalin	inne	
frakcja 0,16–0,06 mm														
10	Ag	6	9,8	0,1	11,6	4,9	14,6	26,0	2,3	12,6	3,8	7,0	7,3	
9	C	2	8,3	0,3	11,0	4,2	12,8	22,7	3,8	10,7	3,3	12,7	10,2	
8	A1	2	5,2	0,8	9,7	5,2	13,8	22,0	1,7	16,5	11,4	10,5	3,2	
7	A3	2	5,9	0,4	13,1	5,2	18,0	25,1	1,8	12,4	4,5	8,4	5,2	
4/6	Btg	7	8,9	0,7	10,0	6,9	19,4	22,6	2,0	12,3	3,0	6,9	7,3	
frakcja 0,06–0,01 mm														
10	Ag	6	3,0	0,2	36,3	3,4	11,8	13,5	0,4	24,3	3,0	2,7	1,4	
9	C	2	1,5	0,2	45,4	1,8	10,0	12,2	–	22,8	2,0	3,3	0,8	
8	A1	2	1,9	0,2	43,7	2,6	9,8	13,0	0,5	22,0	2,3	3,0	1,0	
7	A3	2	3,3	0,1	39,3	3,9	5,3	14,1	0,6	25,4	2,6	3,8	1,6	
4/6	Btg	7	4,4	0,4	39,3	4,1	9,0	1,7	0,3	24,9	1,7	3,1	1,1	

Ag – poziom próchniczny oglejony; A₁ – poziom próchniczny akumulacyjny; A₃ – poziom przemycania (*lessives*); Btg – poziom wmywania gleby płowej oglejony; C – poziom skały macierzystej

Tab. 11. Skład przezroczystych minerałów ciężkich (frakcja 0,1–0,06 mm) w kompleksach litostratygraficznych lessu z profilu Nieledeu (za R. Racinowskim, 1969 – zmodyfikowane)
 The content of transparent heavy minerals (fraction 0.1–0.06 mm) in lithostratigraphic loess complexes from the Nieledeu profile (after R. Racinowski 1969 – modified)

Kompleksy litostratygraficzne	Ilość próbek	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych												
		amfibole	biotyt	cyrkon	dysten	epidoty	glaukonit	granaty	pirokseny	rutyl	staurolit	turmalin	inne	
IVA	1	13,0	2,3	26,2	3,1	10,7	0,0	18,8	0,5	19,6	1,5	0,5	3,8	
IVC	6	17,0	2,2	27,1	2,4	6,4	1,4	12,3	0,0	22,9	0,9	3,3	4,1	
IIIA	2	7,8	2,8	31,7	1,7	9,2	0,0	10,8	0,0	26,4	2,4	3,5	3,7	
IIIB	3	9,9	3,5	35,1	1,9	5,9	0,5	11,7	0,7	23,1	0,2	3,0	4,5	
IIIC	2	7,4	2,0	30,5	1,4	4,4	0,4	20,2	0,4	25,8	0,0	3,1	4,4	
IIA	4	5,3	2,5	37,6	2,3	7,7	0,7	5,6	0,4	27,7	2,3	2,5	5,4	
IIB	3	7,9	2,8	33,3	2,3	6,5	0,7	11,0	0,5	26,4	1,6	3,0	4,0	
IIC	2	13,6	2,3	35,4	1,3	7,1	0,4	13,6	0,0	21,9	0,0	2,7	1,7	

Objaśnienia kompleksów litostratygraficznych wg wydzieleni Mojskiego (1965): IVA – współczesny poziom glebowy A (holocen); IVC – less, poziom glebowy C (stadiał główny zlodowacenia Wisły); IIIA – less, poziom A gleby kopalnej (paudorf); IIIB – less, poziom B gleby kopalnej (paudorf); IIIC – less, poziom C gleby kopalnej (faza przed paudorf); IIA – less, poziom A gleby kopalnej (brørup); IIB – less, poziom B gleby kopalnej (brørup); IIC – less, poziom C gleby kopalnej (stadiał szczeciński)

w tabeli 11. Położenie stratygraficzne poszczególnych kompleksów lessowych przez późniejszych badaczy zostało zaktualizowane (np. Maruszczak, Wilgat 1978). Jednak generalnie uznać można, że w całej badanej sekwencji lessu źródło materiału mineralnego było podobne i było ono najprawdopodobniej związane z mułkami jeziorzyskowymi, powstałymi w efekcie redepozycji zwietrzeliiny lokalnych skał przedczwartorzędowych oraz redeponowanych osadów akumulacji glacialnej. Nie można też w sposób jednoznaczny zaobserwować, aby różne genetycznie poziomy glebowe wykazywały odrębności związane z różnym stopniem natężenia procesu wietrzenia przezroczystych minerałów ciężkich.

MINERAŁY CIĘŻKIE LESSÓW NA TLE INNYCH CZWARTORZĘDOWYCH OSADÓW PYŁOWYCH I GLINIASTYCH

OGÓLNY SKŁAD MINERAŁÓW CIĘŻKICH

Uśrednione wyniki składu przezroczystych minerałów ciężkich w glinach zwałowych, mułkach i lessach przedstawiono w tabeli 12. W skład *glin zwałowych* wchodziły minerały pochodzące z rozkruszonych skandynawskich skał krystalicznych i osadowych oraz lokalnego podłoża. Znajdują się tu minerały o różnej odporności na niszczenie. Przyjąć można, że minerały mniej odporne pochodzą głównie z rozdrobnienia skał krystalicznych, natomiast odporne na niszczenie domieszane zostały z przedczwartorzędowego lokalnego podłoża (trzeciorzędowego i mezozoicznego). Głównymi przezroczystymi minerałami ciężkimi są granaty, amfibole, cyrkon, biotyt, epidoty, rutyle. Pozostałe składniki nie mają znaczącej roli przy określaniu cech osadu. Wszystkie minerały wykazują duże zróżnicowanie swojej zawartości w poszczególnych próbkach. Obrazuje to współczynnik zmienności, który dla glin zwałowych wynosi średnio $V = (S/X) = 0,40$ (0,64–0,24), gdzie X *średnia arytmetyczna*, S – *odchylenie standardowe*.

Mułki (osady wodnej genezy) mają pod względem jakościowym i ilościowym spektra przezroczystych minerałów ciężkich zbliżone do glin zwałowych. Głównymi minerałami w kolejności ich zawartości są granaty, amfibole, cyrkon, biotyt, epidoty, rutyle. Są to minerały pochodzące z materiału skandynawskiego jak i z lokalnego podłoża. Między poszczególnymi próbkami tych osadów występuje większe zróżnicowanie niż w przypadku glin zwałowych. Znajduje to wyraz we współczynniku zmienności, który wynosi $V = (S/X) = 0,8$ (1,3–0,4).

Lessy w odróżnieniu od zaprezentowanych powyżej osadów zawierają zdecydowanie mniej minerałów nieodpornych na niszczenie. Głównymi

Tab. 12. Skład przezroczystych minerałów ciężkich we frakcji 0,1–0,06 mm w osadach plejstoceńskich: gliny zwalowe (G), mułki (M), lessy (L). Według R. Racinowskiego 2003 (X – wartości średnie, S – odchylenie standardowe)

The content of transparent heavy minerals (fraction 0.1–0.06 mm) in Pleistocene deposits: boulder clays (G), muds (M), loesses (L). Acc. to R. Racinowski 2003 (X – mean values, S – standard deviation)

Rodzaj osadu	Ilość próbek	Cechy statystyczne	Przezroczyste minerały ciężkie w procentach ilościowych														
			amfibole	apatyty	biotyt	cyrkon	dysten	epidoty	glaukonit	granat	monacyt	piroksen	rutyl	staurolit	sulimanit	turmaliny	inne
G	450	X	14,4	0,8	17,1	13,1	2,3	7,4	2,3	25,5	0,0	2,4	8,6	2,2	0,1	3,3	0,5
		S	4,73	0,92	7,68	4,92	1,36	4,73	2,47	6,18	0,00	1,49	3,50	2,20	0,30	2,08	0,91
M	212	X	18,5	0,7	11,6	13,2	2,5	9,7	2,5	22,1	0,0	3,8	7,8	3,2	0,0	4,2	0,2
		S	11,0	0,81	14,8	10,6	1,77	7,00	4,06	9,38	0,19	4,53	6,85	3,38	0,18	2,90	0,29
L	420	X	8,3	0,8	2,5	23,3	2,4	8,7	0,9	26,6	0,6	1,7	16,4	1,8	0,3	4,8	0,9
		S	4,95	1,05	2,09	11,4	1,95	6,27	1,34	12,8	1,52	1,58	5,25	1,89	0,91	3,45	1,38

składnikami są granaty, cyrkon, rutyl, wspomagany przez amfibole i epidoty. W poszczególnych szeregach znajduje się materiał o średnim lub słabym zróżnicowaniu ich zawartości. Wielkość współczynnika zmienności $V = (S/X) = 0,43$ (0,72–0,32).

Porównanie testem Kołmogorowa-Smirnowa średnich rozkładów przezroczystych minerałów ciężkich wskazuje na podobieństwo spektrum mineralnego glin zwałowych z mułkami, które słabo różnią się od rozkładu charakteryzującego lessy (Racinowski 2003).

MINERAŁY WIODĄCE

W spektrum mineralnym czwartorzędowych polskich osadów pyłowych i gliniastych wiodące są granaty (G), cyrkon (C), amfibole (A), rutyl (R), biotyt (B) i czasami epidoty (E).

Dla *glin zwałowych* średni układ minerałów wiodących jest następujący: $G > B > A$. Przeszło 50% próbek ma dwa początkowe składniki wiodące $G > A$ lub $G > B$, rzadziej $G > (B,A)$. Układy takie są charakterystyczne dla całego badanego polskiego materiału, niezależnie od usytuowania regionalnego i wieku glin.

W *mułkach* zazwyczaj następstwo minerałów wiodących jest następujące: $G > A > C > B$. Jednak w zależności od usytuowania regionalnego zaznacza się zmienne następstwo dwóch pierwszych minerałów wiodących. Na obszarze Niżu Polskiego zasadniczo charakterystyczny jest układ $A > G$ lub $G > B$. Natomiast na obszarze wyżynnym kraju i jego południowym zapleczu najczęściej występują układy $G > C$, $G > R$, $C > G$. Zaprezentowane prawidłowości w sposób wyraźny wskazują na bliski związek mułków niżowych z osadami akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej. Natomiast wzbogacenie w rutyl i cyrkon mułków występujących na południu kraju sugeruje poważną domieszkę materiału pochodzącego z lokalnych skał przedczwartorzędowych. Wzrost udziału granatu w mułkach znajdujących się na przedpolu Karpat sugeruje domieszanie do materiału lodowcowego składników pochodzących z redeponowanej przez wody płynące zwietrzliny skał fliszu karpackiego.

W *lessach* układ minerałów wiodących jest inny: $G > C > R$, jako minerały wspomagające są $E > A$. Układ ten odbiega w sposób znaczący od zaprezentowanego dla glin zwałowych i mułków. Bardziej szczegółowa analiza układu minerałów wiodących pozwala zaobserwować pewne prawidłowości regionalne. Na wyżynach środkowopolskich dominuje zasadniczo spektrum dwóch pierwszych wyrazów układu jako $G > C$, $C > G$, $C > R$. Jednak lessy młodsze, a nawet starsze górne (zlodowacenia Wisły i Warty) tego obszaru jako kolejny minerał wiodący (lub nawet drugi) mają amfibole. Na przedpolu

Sudetów obok zasygnalizowanego układu licznie występują spektra mineralne, w których jest układ $C > A$ i $C > E$. Natomiast na przedgórzu Karpat charakterystyczne są układy z tylko jednym minerałem dominującym G lub układ $G > C$

ILOŚCIOWA ZMIENNOŚĆ ZAWARTOŚCI MINERAŁÓW WIODĄCYCH

AMFIBOLE. W *glinach zwałowych* niezależnie od regionu i wieku większość utworów charakteryzuje 10–20% zawartość amfiboli. W *mulkach* są dwie grupy osadu. W pierwszej znajduje się materiał o zawartości amfibolu 0–10%. Charakterystyczny jest on dla strefy wyżynnej Polski i jej południowego zaplecza. W drugiej grupie udział tego minerału wynosi 20–35%. Jest to podzbiór typowy dla niżowej części kraju. W *lessach* maksimum próbek ma zawartość amfiboli w granicach 0–15%. Zazwyczaj lessy młodsze cechują się podwyższonymi udziałami tego minerału. Sytuacja taka zdaje się właściwa dla wszystkich polskich lessów wyżynnych.

BIOTYT. W *glinach zwałowych* około 50% próbek materiału zawiera 15–25% biotyту, a trzy czwarte cechuje się 10–30% udziałami tego składnika. Nie można dopatrzeć się zróżnicowania zawartości biotyту w zależności od wieku glin lub regionu ich występowania. *Mulki* w większości zawierają $< 15\%$ biotyту. Natomiast w strefie wyżynnej i na jej południowym zapleczu zazwyczaj udział biotyту jest $< 5\%$, a na Niżu Polskim nawet 10–15%. *Lessy* posiadają bardzo małą zawartość biotyту, gdyż przeszło 90% materiału ma go mniej niż 5%.

EPIDOTY. W *glinach zwałowych* w około 75% próbek zawartość epidotu jest $< 10\%$ (głównie 5–10%). Tylko 10% materiału zawiera $> 15\%$ epidotu. *Mulki* cechują się bardzo zmienną zawartością epidotu. Obok osadów, w których jest go $> 15\%$, w znaczącej ilości próbek jest go mniej niż 5%. W *lessach* około 90% próbek zawiera poniżej $< 10\%$ epidotu. Zazwyczaj lessy starsze zawierają mniej epidotu niż lessy młodsze. Lessy przedsudeckie wykazują podwyższoną zawartość tego minerału.

GRANATY. W przeszło 60% próbek *glin zwałowych* zawartość granatu wynosi 20–30%, a cały materiał cechuje się jego udziałami 15–35%. Zasadniczo trudno dopatrzeć się zróżnicowania zawartości granatu w zależności od wieku i regionu, w którym występują gliny zwałowe. W *mulkach* zawartość granatu waha się od 10% do 30%, z dominantą w przedziale 20–30%. Nie stwierdzono, aby zróżnicowanie udziału granatu związane było z wiekiem mułków lub miejscem ich występowania. W *lessach* jest bardzo duży rozrzut zawartości granatu. Stwierdzane są tu próbki 5% z udziałami tego minerału zarówno poniżej 5%, jak i powyżej 65%. Przeważają jednak lessy o zawartości granatu

20–25%. Brak jest wyraźnego związku między zawartością tego składnika a wiekiem lessów. Stwierdza się, że lessy podkarpackie mają podwyższoną zawartość granatu w stosunku do lessów wyżynnych.

CYRKON. Cyrkon w *glinach zwałowych* występuje w ilości 5–20%, przy czym najwięcej próbek ma 10–15% tego składnika. Na podstawie zawartości cyrkonu w badanym materiale nie obserwuje się odrębności regionalnych i wiekowych glin zwałowych. W *mułkach* dominują próbki z zawartością cyrkonu 5–20%. Zwraca uwagę fakt, że około 20% tego materiału ma zawartość cyrkonu < 5%. Jednak w pojedynczych próbkach udział tego minerału przekraczać może 35%. Niska zawartość cyrkonu wiąże się z mułkami glacialnymi (typu kemowego). Natomiast w dużej ilości występuje w osadach znajdujących się w sąsiedztwie wychodni starszego podłoża. W *lessach* cały materiał zasobny jest w cyrkon. Przy tym przeważają próbki z jego zawartością 20–40%, niekiedy dochodząc nawet do 60%. Tylko sporadycznie występuje mniejsza od 10% zawartość cyrkonu (około 15% próbek).

RUTYL. W *glinach zwałowych* około 60% osadu zawiera 5–10% rutylu. Jest to minerał o charakterze wspomagającym, nierzutującym na cechy litologiczne osadów. W *mułkach* rutyl występuje w ilości < 10%, jednak lokalnie w sąsiedztwie wychodni osadów przedczwartorzędowych udział jego może wynosić 20–30%. W *lessach* zawartość rutylu jest nieco większa niż w opisywanych powyżej osadach. Na obecnym etapie rozpoznania trudno dopatrzeć się związku zróżnicowanej zawartości tego minerału z wiekiem osadu i regionem, w którym występują lessy.

UWAGI KOŃCOWE

W przypadku wykonywania badań składu minerałów ciężkich lessów najczęściej wykorzystywana jest frakcja 0,1–0,06 mm. Jako cieczy ciężkiej używa się bromoformu lub wodnego roztworu poliwolframanu sodu. Zazwyczaj minerały ciężkie rozdzielane są z próbek przemytych tylko w wodzie. Niekiedy pomocne jest poddanie próbek działaniu HCl (na zimno lub gorąco). Ułatwia to określanie składu przezroczystych minerałów ciężkich. Jednak w efekcie takiej procedury następuje eliminacja składników węglanowych, wodorotlenków żelaza oraz częściowo glaukonitu i chlorytów.

Zazwyczaj wyniki badań składu minerałów ciężkich podawane są w formie dwuczłonowej. Wyodrębnia się mianowicie minerały nieprzezroczyste, konkretne i agregaty, łyszczyki (muskowit i chloryty), minerały przezroczyste (bez łyszczyków). Te ostatnie są bardziej szczegółowo oznaczane. Spektra mineralne

podawane są w postaci procentów ilości ziarn. Rezultaty te są bardzo zbliżone do wyników podanych w formie wagowej lub objętościowej (Racinowski 1969).

Skład minerałów ciężkich lessów jest w znacznym stopniu zbliżony pod względem jakościowym i ilościowym do innych gliniastych osadów plejstoceńskich oraz lokalnych utworów przedczwartorzędowych. Te pierwsze zasilają lessy w składniki o relatywnie małej odporności (amfibole, biotyt, granaty, piroksen), z tych drugich doprowadzane są minerały odporne na niszczenie (cyrkon, dysten, rutyl, turmaliny) oraz łyszczyki (chloryt, muskowit) i glaukonit. Taka sytuacja ułatwia wnioskowanie o źródle i miejscu pochodzenia materiału, z którego formowane były lessy. Trudniejsze do określenia są zjawiska zachodzące w trakcie transportu oraz oddziaływania procesów synsedymencyjnych i postsedymencyjnych.

Niezależnie od badanej średnicy minerałów ciężkich dla danych zespołów profili i stanowisk badawczych istnieją trudne do opisu tendencje ilościowych zmian zawartości poszczególnych przezroczystych minerałów ciężkich w zależności od ich wieku. Uzyskiwane wyniki są niejednoznaczne i co najwyżej odnosić je można do pojedynczych profili lub stanowisk badawczych. Podobnie w sposób niejednoznaczny wykorzystywać je można do wydzielenia i porównywania między sobą paleosoli. Nie mogą też w sposób jednoznaczny być wykorzystywane do analiz porównawczych dla regionów o dużych powierzchniach zbudowanych z różnych wiekowo i odmiennych petrograficznie skał przedczwartorzędowego podłoża.

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej stwierdzić trzeba, że wyniki badań minerałów ciężkich nie mogą stanowić głównego kryterium pozwalającego na jednoznaczne określenie genezy osadów czwartorzędowych. Są one jednak ważną przesłanką podbudowującą wnioskowanie oparte na terenowych badaniach makroskopowych cech strukturalno-teksturalnych osadu oraz laboratoryjnych wynikach analiz uziarnienia, składu petrograficzno-mineralnego czy też badaniach geochemicznych. Być może, pomocna w określaniu procesów sedymencyjnych i postsedymencyjnych może okazać się analiza litostatystyczna klas minerałów ciężkich. Dla spokojnej sedymencji charakterystyczna jest dominacja w spektrum mineralnym *łyszczyków*, na procesy wtórnego przewiewania wskazywać może podwyższony udział *minerałów przezroczystych*, a zwiększona ilość *minerałów nieprzezroczystych* i *konkrecji* zdaje się wskazywać na silne oddziaływanie procesów hipergenicznych i redepozycji zboczowej pierwotnego osadu (Dolecki, Racinowski 2007).

LITERATURA

- Borowiec J., Maruszczak H., Racinowski R., 1978: Regularities of the chemical and mineral composition differentiation as an index of autochthonism of Polish loess. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 305, Warszawa, 69–82.
- Buraczyński J., Rzechowski J., Wojtanowicz J., 1978: Studium sedimentologiczne i stratygraficzne lessów w Ratyczowie na Grzędzie Sokolskiej. *Biuletyn Inst. Geol.*, 300, Warszawa, 235–302.
- Buraczyński J., Rzechowski J., Wojtanowicz J., 1986: The condition of sedimentation of older and younger loesses in the Wożuczyn profile (SE Poland). *Annales UMCS*, sec. B, 149–164.
- Chlebowski R., Lindner L., 1976: Próba zastosowania minerałów ciężkich w problematyce badawczej lessów na przykładzie lessów młodszych zachodniej części regionu świętokrzyskiego. *Biuletyn Inst. Geol.*, 297, Warszawa, 293–305.
- Chlebowski R., Lindner L., 1991: Źródła materiału i warunki akumulacji lessów młodszych Wyżyny Małopolskiej. *Biuletyn Geol. Uniw. Warszawskiego*, 32, Warszawa, 15–50.
- Chlebowski R., Ciszek D., Jary Z., 2001: Charakterystyka lessów z Tłumaczowa. Osady plejstoceny przedpola Sudetów. XI Seminarium „Korelacja stratygraficzna lessów i utworów lodowcowych Polski i Ukrainy”, Wrocław–Jarnołówek, 41–48.
- Chlebowski R., Goźik P. F., Lindner L., 2002: Graficzna prezentacja składu minerałów ciężkich lessów na wybranych przykładach z obszaru Polski i Ukrainy. *Przegląd Geologiczny*, 50, 6, Warszawa, 526–531.
- Chlebowski R., Lindner L., 2004: Aspekty mineralogiczne w metodyce badań lessów na przykładzie lessów polskich i ukraińskich. [W:] red. A. Kostrzewski „Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. 4, Poznań, 17–36.
- Dobrzański B., Malicki A., 1949: Rzekome loessy i rzekome gleby loesowe okolic Leżajska. *Annales UMCS*, sec. B, 3, Lublin, 415–424.
- Dolecki L., Racinowski R., 2007: Wyniki badań minerałów ciężkich w reperowym profilu lessów mezoplejstoceny w Kolonii Zadębcze na tle dotychczasowych wyników badań. *Annales UMCS*, sec. B, 72, Lublin, 148–164.
- Grabowska B. 1961: Analiza minerałów ciężkich na tle stratygrafii lessów okolic Ćmielowa. *Biuletyn Geol. Uniw. Warszawskiego*, 1, Warszawa, 50–67.
- Gwódź R., Racinowski R., 1968: Analiza porównawcza minerałów ciężkich z drobnopiękistych utworów czwartorzędowych i górnokredowych Wyżyny Lubelskiej. *Kwartalnik Geologiczny*, 12, 2, Warszawa, 387–402.
- Jahn A., 1951: Less jego pochodzenie i związek z klimatem epoki lodowej, *Acta Geol. Polonica*, v.1, Warszawa, 257–310.
- Jahn A., Turnau-Morawska M., 1952: Preglacja i najstarsze utwory plejstoceny Wyżyny Lubelskiej. *Biuletyn Inst. Geol.*, 65, Warszawa, 268–311.
- Jary Z., Krzyszkowski D., 1994: Stratygraphy, properties and origin of loess in Trzebnica brickyard, Southwestern Poland. *Acta Univ. Wratislaviensis* 1702, Wrocław, 63–83.
- Jersak J., Racinowski R., 1984: Baborów. Odslonięcie w cegielni. Złodowacenie środkowopolskie na Wyżynach Południowopolskich i terenach przyległych. Przewodnik konferencji. Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 135–140.
- Konecka-Betley K., Majsterkiewicz T., 1973: Geneza gleb wytworzonych z pokrywowych utworów pyłowych Polski środkowej. *Rocz. Gleboznawcze*, 24, 2, Warszawa, 133–158.

- K r y s o w s k a-I w a s z k i e w i c z M., Ł a n c z o n t M., 1992: Zróżnicowanie składu minerałów ciężkich w osadach plejstoceńskich w Prałkowicach koło Przemyśla (Karpaty Przemyskie). *Przeł. Geol.*, 9, Warszawa, 551–555.
- Ł a n c z o n t M., W i l g a t M., 1994: Zróżnicowanie lessów karpaccich w okolicy Przemyśla w świetle badań minerałów ciężkich. *Annales UMCS, sec. B*, 26, Lublin, 81–99.
- M a l i c k i A., 1951: Geneza i rozmieszczenie lessów w środkowej i wschodniej Polsce. *Annales UMCS, sec. B*, 4, Lublin, 195–223.
- M a l i n o w s k i J., 1964: Budowa geologiczna i własności geotechniczne lessów Roztocza i Kotliny Zamojskiej między Szczepreszynem a Turowinem *Prace Inst. Geol.*, 41, Warszawa, 122.
- M a l i n o w s k i J., M o j s k i J. E., 1960: Przekrój lessu w Sąsiadce koło Szczepreszyna na Roztoczu. *Biul. Inst. Geol.*, 150, Warszawa, 217–238.
- M a l i s z e w s k a A., 1969: Rola minerałów ciężkich w geologii i paleogeografii. *Przeł. Geologiczny*, 11, Warszawa, 556–558.
- M a r u s z c z a k H., 1991: Zróżnicowanie stratygraficzne lessów polskich (Stratigraphical differentiation of Polish loesses). *Podst. profile lessów w Polsce*, UMCS, Lublin, A. 19–35.
- M a r u s z c z a k H., M o r a w s k i J., 1976: Zróżnicowanie składu minerałów ciężkich w podstawowych jednostkach litologiczno-stratygraficznych lessów polskich. *Biuletyn Inst. Geol.*, 297, Warszawa, 63–76.
- M a r u s z c z a k H., R a c i n o w s k i R., 1968: Peculiarities of loess accumulation in central Europe in the light of results of analyses of the heavy minerals. *Geogr. Polonica*, 14, Warszawa, 35–46.
- M a r u s z c z a k H., R a c i n o w s k i R., 1976: Dynamika akumulacji eolicznej lessu młodszego w okolicy Lublina w świetle badań uziarnienia i składu minerałów ciężkich. *Biul. Inst. Geol.*, 297, Warszawa, 221–226.
- M a r u s z c z a k H., W i l g a t M., 1978: Zróżnicowanie stratygraficzne i paralelizacja profili lessowych Nielewki i Odonowa w świetle badań minerałów ciężkich. *Folia Soc. Scient. Lublinensis, Geogr.*, 2,20, Lublin, 89–95.
- M o j s k i J. E., 1965: Stratygrafia lessów w dorzeczu dolnej Huczwy na Wyżynie Lubelskiej. *Inst., Geol. Biuletyn* 187, Warszawa, 145–199.
- M o r a w s k i J., 1971: Charakterystyka minerałów ciężkich z lessu okolic Ciecierzyna. *Folia Soc. Scient. Lublinensis, sc. D*, 11, Lublin, 133–138.
- M o r a w s k i J., 1978: Charakterystyka minerałów ciężkich lessów Płaskowyżu Nałęczowskiego. *Annales UMCS, sec. B*, 30–31, Lublin, 81–95.
- M o r a w s k i J., P o m i a n J., U z i a k S., 1971: Rozmieszczenie ważniejszych minerałów ciężkich wytworzonych glebach wytworzonych z utworów pyłowych. *Folia Soc. Scient. Lublinensis, sc. D*, 11, Lublin, 129–132.
- M o r a w s k i J., T r e m b a c z o w s k i J., 1971: Charakterystyka mineralogiczna lessów profilu „Kwaskowa Góra” w Kazimierzu nad Wisłą. *Annales UMCS, sec. B*, 26, Lublin, 1–25.
- R a c i n o w s k i R., 1969: Le profil du loess a Nielewki sur le Plateau de Lublin a la lumiere de l'analyse de mineraux lourds. *Biuletyn Peryglacjalny*, 20, Łódź, 179–205.
- R a c i n o w s k i R., 1976: Uwagi o składzie minerałów ciężkich lessów lubelskich i przemyskich *Biuletyn Inst. Geol.*, 297, Warszawa, 227–247.
- R a c i n o w s k i R., 1992: Uwagi o wykorzystaniu wyników analiz minerałów ciężkich w problematyce badań osadów czwartorzędowych Polski. [W:] red. E. Myciel-ska-Dowgiałło, A. Muszyńska-Pękalska: „Badania sedymentologiczne osadów

- czwartorzędowych” Letnia Szkoła Sedymentologiczna, Murzynowo, wrzesień 1992. Warszawa, 181–221.
- Racino wski R., 1993: A retrospective look at significance of heavy minerals studies for Poland’s Quaternary problems. *Annales UMCS, sec. B*, 48, Lublin, 239–251.
- Racino wski R., 1995: Analiza minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski. [W:] red. E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski „Badania osadów czwartorzędowych” Uniw. Warszawski. Warszawa, 151–166.
- Racino wski R., 2000: Niektóre problemy interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych. *Przegląd Geologiczny*, 48, 4, Warszawa, 354–359.
- Racino wski R., 2002: Badania minerałów ciężkich osadów pyłowych Naddniestrza halickiego. *Studia Geologia Polonica*, 119, Kraków, 219–236.
- Racino wski R., 2003: Litostatystyczna analiza składu przezroczystych minerałów ciężkich w drobnziarnistych osadach plejstocenijskich Polski. XI Seminarium Naukowe z cyklu: Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry. Szczecin, 89–98.
- Racino wski R., Coufal R., 1991: Znaczenie ustalania elementów wiodących w zbiorach niektórych cech litologicznych rumowiska brzegu morskiego. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej*, 451, Szczecin 5–20.
- Racino wski R., Łanczont M., Bogucki A., 2004: Porównanie składu minerałów ciężkich lessów wschodniej Polski i zachodniej Ukrainy. *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, t. IV. Ser. Geogr. 68. Wyd. Naukowe UAM. Poznań, 397–412.
- Racino wski R., Śnieszko Z., 1997: Statystyczna analiza składu minerałów ciężkich lessów z profilu w Odonowie II. *Geologia 14*, *Prace Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach 1644*. Katowice, 120–138.
- Tokarski J., 1936: Physiographie der podolischen Loesses und des Problem seiner Stratigraphie. *Mem. Acad. Sci. Letter. S.A*, 4, Kraków, 1–61.
- Tyrcha-Czyż T., 1972: Stratygrafia i geneza utworów pyłowych Wysoczyzny Głubczyckiej na podstawie badań petrograficznych. Instytut Geograficzny Uniw. Wrocławskiego. Maszynopis pracy doktorskiej. Wrocław.
- Turnau-Morawska M., 1955: Znaczenie analiz minerałów ciężkich w rozwiązywaniu zagadnień geologicznych. *Acta Geologica Polonica* 5,3, Warszawa, 363–388.
- Uziak S., Morawski J., Pomian J., Melke J., Klimowicz Z., 1971: Utwory i gleby pyłowe Równiny Bełżeckiej. *Roczniki Gleboznawcze* 22, 1, Warszawa 3–18.

SUMMARY

Research on loess’ heavy minerals had been carried out in Poland since the 30’s of the 20th century. The research was intensified in the 2nd half of the 20th century as helpful in answer to the problem relating to loess’ genesis and age. Since the size of heavy minerals in loess is grouped in the range of 20–100 μm , therefore their determination was proceeded on grains fraction 0.25–0.01 mm or 0.06–0.01 mm. These days determination is carried out on the material with diameter 0.10–0.06 mm. Heavy minerals dominating in the Polish loess are: garnets, zircon, rutile, the supporting ones are: amphiboles, biotite, epidotes, and tourmalines. Qualitatively similar heavy minerals appear in each loess fraction. However, their percentage fractions are variable in neighbouring profiles and cross-sections. Mineral content allows to draw preliminary conclusions on the source material of

loess silts and on transport characteristics, as well as on the course of deposition process. In the case of the Polish loess stored material originates from blown away pre-Quaternary rock-mantle (rich in zircon, rutile, and partly in garnets), Pleistocene lacustrine-flooding muds and glacial tills (rich in amphibole, biotite, epidotes, and garnets). Comparing the spectrum of heavy minerals in the Polish loess one can state that in particular regions neighbouring profiles do not show significant similarity with regard to quantitative content of heavy minerals. Therefore, it is not possible in a universal manner to apply those results to unique lithostratigraphic inference. On the basis of research made on contemporarily developed loess soil levels, as well as appearing there levels of fossil soils, it is not possible to differentiate without any doubt the content of minerals with various resistance to destruction as a result of pedological processes.