

KRYSTYNA NAWARA

Transport i sedymentacja współczesnych piasków Dunajca i jego niektórych dopływów

STRESZCZENIE: Przeprowadzono analizę składu mineralnego i granulometrycznego piasków Dunajca i niektórych jego dopływów. Stwierdzono, że w składzie mineralnym tych piasków zaznacza się wyraźnie wpływ materiału erodowanego w masywie tatrzańskim mimo domieszek materiału fliszowego na drodze tych rzek. Transport rzeczny wywiera nieznaczny wpływ na trwałość chemiczną skaleni i minerałów ciężkich wchodzących w skład piasków. Skład granulometryczny piasków, przeciętna średnica ziaren i współczynnik wysortowania są przypuszczalnie w większym stopniu zależne od rodzaju skały, z której piasek się tworzy, niż od czynników abrazyjnych i sortujących. Mimo różnych czynników komplikujących warunki tworzenia się badanych piasków wyraźny jest różny u różnych rzek styl pracy, zależny od jej spadku i związanej z nim intensywności procesów niszczących lub też selektywnego transportu.

WSTĘP

Jednym z celów pracy było zbadanie zachowania się składników mineralnych piasków w czasie transportu rzecznoego, a także przebiegu zmian wielkości ziarna i jego wysortowania. Materiał obserwacyjny dotyczący tego zagadnienia jest jeszcze niewystarczający, a odnośne prace, niezmiernie ważne dla interpretacji procesów sedymentacyjnych w osadach kopalnych, niejednokrotnie prowadzą do niezgodnych wyników. Materiał do moich badań pobrany został z następujących rzek: Czarny Dunajec, Biały Dunajec, Białka oraz Poprad w granicach Polski. Praca moja nie dotyczyła zagadnienia wpływu transportu rzecznoego na kształt i obtoczenie ziarn piasku. Zachowanie się pod tym względem ziarn piasku unoszonego przy transporcie rzecznoym jest żywo dyskutowane, zwłaszcza wobec doświadczeń Kuenena (1959) i jego wniosków o znikomym wpływie transportu rzecznoego na kształt i obtoczenie ziarn piasku. Wnioski Kuenena nie są zresztą nowe, gdyż Pettijohn (1949) stwierdza na podstawie własnych obserwacji i danych z literatury, że frakcja piaszczysta w rzekach ulega bardzo powolnemu obtoczeniu. Nawet tysiące kilometrów transportu nie wpływają wyraźnie na obróbkę, która wyma-

ga — być może — kilku cykliów sedymentacyjnych. Dokładne opracowanie cech kształtu i otoczenia w badanych przez mnie piaskach pozwoliłoby przypuszczalnie na wyróżnienie kwarców pochodzących ze skał krystalicznych i osadowych, problem ten wykraczał już jednak poza ramy zamierzonej pracy.

Drugim, równie ważnym celem mojej pracy było uzyskanie ścisłych danych o składzie mineralnym materiału niesionego przez rzeki płynące z Tatr. Spodziewać się było można, że powyższe dane rzuca światło na procesy erozji w masywie krystalicznym Tatr i jego osadowej osłonie i że te procesy dadzą się odczytać mimo dopływu materiału fliszowego.

W tej dziedzinie badań cenne są wyniki pracy M. Krysowskiej (1961), dotyczącej minerałów ciężkich sieci rzecznej Tatr Zachodnich. Autorka stwierdza, że współczesne wietrzenie skał krystalicznych niszczy przede wszystkim skały metamorficzne i stara się o ustalenie związku między składem frakcji ciężkiej a charakterem skały macierzystej. Dochodzi ponadto do wniosku, że bogaty zespół minerałów ciężkich w osadach Czarnego Dunajca pochodzi głównie z utworów fliszu podhalańskiego, za czym przemawia obecność różowego granatu i staurolitu.

Moja praca objęła szersze zagadnienie, gdyż dotyczy także innych rzek tatrzańskich a także bardziej wszechstronnych oznaczeń składu mineralnego piasków oraz ich granulometrii.

Próbki piasków do tej pracy zebrano na kamieńcach rzek w czasie prac terenowych w latach 1957—1958, które finansowało Muzeum Ziemi w Warszawie. Opracowanie kameralne wykonano w Pracowni Geologicznej Muzeum Ziemi w Warszawie, oraz w Zakładzie Petrografii Skał Osadowych w Uniwersytecie Warszawskim.

Prof. dr Marii Turnau-Morawskiej składam serdeczne podziękowanie za pomoc w analizie preparatów mikroskopowych oraz za udzielanie mi rady w czasie pracy.

OPIS TERENU

Charakterystykę poszczególnych potoków i rzek, które stanowią źródła i dopływy Dunajca podałam w pracy dotyczącej wyników analiz różnych cech otoczków niesionych przez Dunajec i niektóre jego dopływy (Nawara 1964). Podam więc tu jedynie opis występowania piasków na współczesnych kamieńcach tych rzek.

W granicach Podhala kamieńce rzek zawierają niewiele materiału piaszczystego. W potokach przecinających serie tatrzańskie piaski wypełniają zrazu jedynie zagłębienia między głazami i otoczkami, a miejscami tworzą wąskie pasma wzdłuż nurtu rzecznoego. Ilość piasku zwiększa się na tych odcinkach doliny, na których zaczyna się intensywne wietrzenie otoczków piaszczystych fliszu podhalańskiego. Wpływ materiału

fliszowego na charakter piasków wyraźnie uwidacznia się na kamieńcach Czarnego Dunajca wzdłuż ostatnich kilometrów jego drogi przed Nowym Targiem, gdzie kamieńce te usłane są niekiedy grubą warstwą piasku kwarcowego bogatego w łyszczyki. Mniej materiału piaszczystego zawierają kamieńce Białego Dunajca i Białki. Natomiast w dolinie Dunajca silnie wzrasta ilość mułku i piasku w dół rzeki, szczególnie na odcinkach poprzedzających jezioro zaporowe. Materiału dla piasków dostarczają tu głównie wietrzejące osady fliszowe. Poniżej Ilkowic żwiry znikają z kamieńców Dunajca, a wzdłuż nurtu rzeki ciągnie się piaszczysta plaża sięgająca aż do ujścia do Wisły. Odcinek Popradu, wzdłuż którego zbierano próbki piasku, reprezentuje dolny bieg rzeki. Dlatego osad bogaty jest tu w piasek zastępujący niekiedy całkowicie materiał żwirowy, a na ostatnich kilometrach otoczaki znikają całkowicie.

WYNIKI ANALIZ SKŁADU MINERALNEGO ORAZ BADAŃ GRANULOMETRYCZNYCH

Zestawiając wyniki analiz, podam charakterystykę poszczególnych rzek tatrzańskich pod względem składu mineralnego materiału piaszczystego oraz jego cech granulometrycznych. Próbki piasku zbierane były na kamieńcach rzek, w których wykonano poprzednio (Nawara 1964) pomiary cech otoczek (fig. 1). Wzdłuż dolin podhalańskich pobierano próbki co 3 km, w dolinie Dunajca co 3 km na obszarze Podhala, następnie co 6 i co 12 km. Wzdłuż doliny Popradu pobierano próbki co 6 km. Pobrane próbki piasku zostały dokładnie przemyte wodą, a po wysuszeniu przesiane na sitach i podzielone na frakcje według skali Wentwortha. Skład mineralny we frakcjach 2—1 mm oraz 1—0,5 mm został oznaczony pod lupą binokularną. Przeciętnie zbadano 300—500 ziarn w próbce. Frakcja 0,5—0,06 mm została rozdzielona w bromofornie na frakcję lekką i ciężką, a ich skład ilościowy oznaczono w preparatach w mikroskopie polaryzacyjnym. Frakcja ciężka została uprzednio przemyta rozcieńczonym HCl, co mogło spowodować zniszczenie niektórych minerałów, np. apatytu, lecz było niezbędne dla usunięcia powłok żelazistych na minerałach przezroczystych. Zawartość minerałów nieprzezroczystych podano tu łącznie bez rozdzielania na poszczególne gatunki minerałów. Być może, znalazły się wśród nich niektóre ziarna glaukonitu, trudnego niekiedy do rozpoznania w nieszlifowanych preparatach, a częściowo zmienionego pod działaniem HCl.

Czarny Dunajec

We frakcji 2—1 mm wyróżniono pod lupą okruchy skał oraz pojedyncze ziarna minerałów. Wśród okruchów skał granity są słabo reprezentowane (Kiry 4,4% tej frakcji, Siwa Woda 2,4%, Czarny Dunajec

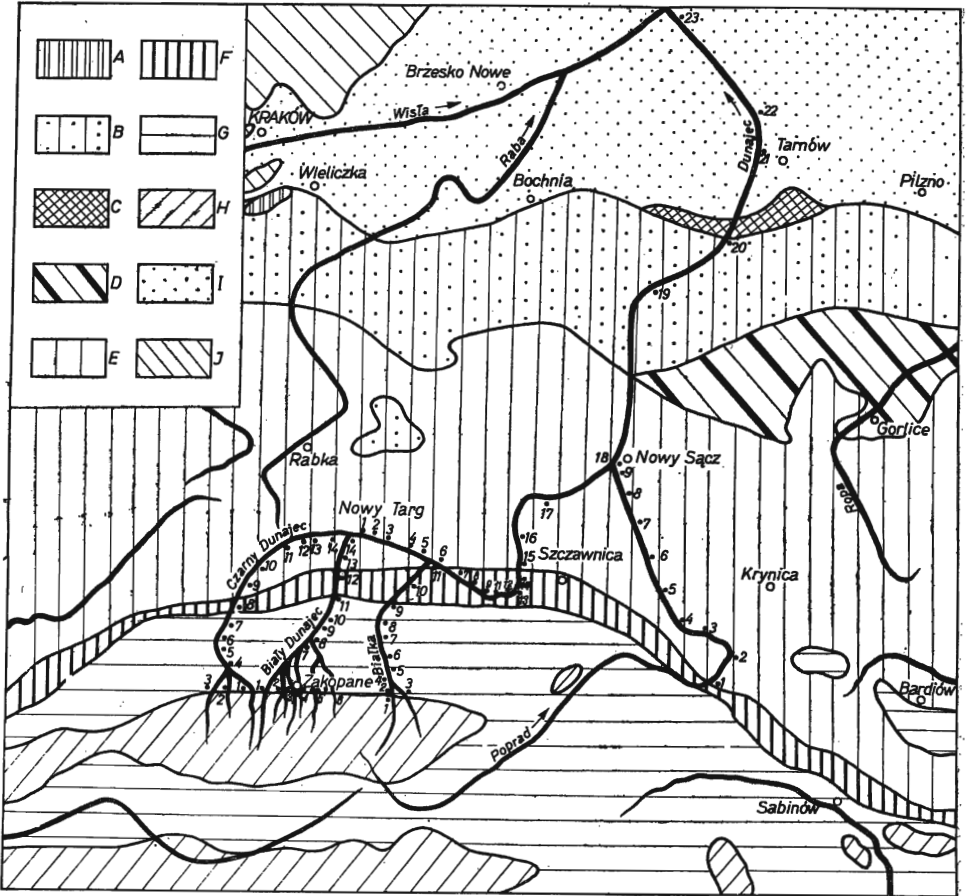


Fig. 1

Mapa geologiczna doliny Dunajca i jego dopływów

A flisz parautochtoniczny, B płaszczowina śląska, C region inceramowy, D centralna depresja karpacka, E płaszczowina magurska, F Pieniński Pas Skałkowy, G flisz podhalański, H jednostki tatrzańskie, I miocen, J podłoże miocenu. 1, 2, itd. — miejsca pobrania próbek piasku

Geological map of the Dunajec valley and its tributaries

A parautochthonous Flysch, B Silesian nappe, C Inceramus region, D central Carpathian depression, E Magura nappe, F Pieniny Klippen Belt, G Podhale Flysch, H Tatra series, I Miocene, J Miocene substratum. 1, 2, 3 — localities

10,1%, Nowy Targ 0,55%), przeważają natomiast skały metamorficzne. Fakt ten łatwo jest wytłumaczyć obfitością tych skał w Tatrach Zachodnich oraz ich szybszym w porównaniu z granitami wietrzeniem (Krysowska 1961). Jednakże udział łatwo ulegających rozdrobnieniu okruchów skał metamorficznych szybko zmniejsza się w dół rzeki (Kirys 31,2%, Nowy Targ 3,8%). Okruchy skał węglanowych (wapieni i doloMITÓW), których udział w tej frakcji wynosi 13% w Kirach, a nawet

22% w Siwej Wodzie, szybko znikają z osadu, spadając w Nowym Targu do 0,08%. Mały udział okruchów tatrzańskich piaskowców kwarcytowych w tej frakcji znajduje wyjaśnienie w ich dużej zwięzłości, dzięki której zachowują się one najdłużej w osadzie zwirowym. Udział okruchów piaskowców i łupków fliszowych jest zmienny, zależny od dopływu materiału, z tendencją do spadku w dół rzeki; zwłaszcza nietrwałe są okruchy miękkich łupków ilastych. Ten ubytek okruchów skalnych z piasku rekompensowany jest wzrostem procentu pojedynczych ziarn mineralnych, wśród których znacznie przeważa kwarc. Zawartość jego w tej frakcji wzrasta od 34,5% w Kirach do 84% w Nowym Targu. Udział innych minerałów jest zmienny i nieznaczny, a tylko wyjątkowo koncentrują się łyszczyki do 26% w Podczerwonem, zapewne wskutek rozsypywania się łupków łyszczykowych na kamieńcach.

Podobne zachowanie się materiału stwierdzić można we frakcji 1—0,5 mm z tym, że szybciej zmniejsza się tu koncentracja materiału mniej odpornego na transport, intensywniej koncentruje się kwarc a miejscami łyszczyki.

We frakcji lekkiej o wielkości ziarna 0,5—0,06 mm z okruchów skał zauważono jedynie rogowce, krzemienie i drobnoziarnistą kwarcyty, które przypuszczalnie obecne były także i w grubszych frakcjach, lecz w badaniach pod lupą trudno je było odróżnić od pojedynczych ziarn kwarcu. Wraz z tymi ziarnami stanowią one olbrzymią większość tej frakcji, wzrastającą wzdłuż drogi transportu. Zawartość skaleni (obliczano tu łącznie plagioklasy i skalenie potasowe) jest zmienna, z wyraźną jednak tendencją do zwiększania się ich udziału (0% w Kirach do 13% w Nowym Targu). Fakt ten może być związany z rozsypywaniem się skał skaleniowych na piasek, lecz także z działaniem transportu selektywnego coraz intensywniejszego w dół rzeki i sprzyjającego koncentracji minerałów tabliczkowatych. Znikomą zawartość łyszczyków w tej frakcji wyjaśnić można przechodzeniem drobnoroztartych i lekkich blaszek do zawiesiny ilastej, transportowanej poza granice badanego osadu. Skład mineralny frakcji lekkiej piasków Czarnego Dunajca o wielkości 0,5—0,06 mm podany jest w tabeli 1.

Najbardziej interesujące wyniki obserwacji dotyczą analizy frakcji ciężkiej (tab. 2 i fig. 2, 3 i 4). Jak widać z tabeli, skład tej frakcji jest bardzo urozmaicony, a wśród minerałów przezroczystych przeważa granat i amfibol. Procent granatu wzrasta dość konsekwentnie w kierunku drogi transportu, natomiast procent amfibolu się zmniejsza. Pierwszy fakt najłatwiej jest wytłumaczyć zwiększającą się domieszką materiału fliszowego, na ogół bogatego w granat (Jaskólski 1939; Tokarski 1946, 1947; Łoziński 1957, 1959). Sprawa spadku amfibolu jest bardziej zawiła. Z jednej strony należy uwzględnić fakt, że najprawdopodobniej jego jedynym źródłem są skały krystaliczne Tatr, gdyż we fliszu spotykany jest rzadko. W ciągu transportu dopływa wprawdzie materiał z roz-

Tabela (Chart) 1

Skład mineralny współczesnych piasków Czarnego Dunajca we frakcji lekkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych

Mineral composition (volume percentage) in the light — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Czarny Dunajec river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)				Okruchy skał (Rock fragments)
	kwarc (quartz)	skalenie (feldspars)	łyśczyki (micas)	węglany (carbonates)	skały krzemionkowe (siliceous rocks)
1. Kirowa Woda	58,00	—	—	30,00	12,00
2. Siwa Woda	28,00	2,00	—	62,00	8,00
3. Roztoki	51,00	7,00	—	30,00	12,00
4. Witów I	52,00	11,00	—	17,00	20,00
5. Witów II	64,45	4,40	—	8,90	22,25
6. Chochołów	69,00	1,00	—	14,00	16,00
7. Podczerwone	75,00	10,00	1,00	4,00	10,00
8. Czarny Dunajec I	67,00	10,25	—	4,25	18,50
9. Czarny Dunajec II	67,00	9,30	—	13,40	10,30
10. Długopole	71,00	11,00	2,00	8,00	8,00
11. Krauszów	72,00	9,00	—	7,00	12,00
12. Ludzimierz	63,00	12,30	—	7,20	17,50
13. Nowy Targ	77,00	13,00	—	—	10,00

sypujących się okruchów skał metamorficznych, następuje jednak „rozcieńczenie” materiałem fliszowym. Ponadto płytki i pręciki amfibolu przy większym rozdrobnieniu mogą przechodzić do daleko transportowanej zawiesiny ilastej. Wietrzenie chemiczne w czasie transportu wodnego przypuszczalnie nie odgrywa tu większej roli, gdyż amfibol zachowuje świeży wygląd na całej drodze transportu. Co do źródła zestawionych w tabeli minerałów ciężkich, to prawie wszystkie znane są bądź w masywie tatrzańskim, bądź w piaskowcach i egzotykach fliszowych. Pojawiający się w górnym biegu Czarnego Dunajca zoizyt nie był wprowadzie dotąd opisany w literaturze dotyczącej Tatr, ale — wobec stwierdzonej obecności klinozoizytu i epidotu, występowanie jego w skałach Tatr Zachodnich jest bardzo prawdopodobne.

W wynikach badań granulometrycznych osadów Czarnego Dunajca najważniejsze są dane dotyczące przeciętnej średnicy (mediany) i współczynnika wysortowania (współczynnika wyselekcjonowania według rozmiaru). Przeciętna średnica waha się od 0,6 mm w Kirach do 0,28 mm

Tabela (Chart) 2

Skład mineralny współczesnych piasków Czarnego Dunajca we frakcji ciężkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych
 Mineral composition (volume percentage) in the heavy — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Czarny Dunajec river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)													
	granat (garnet)	amfibol (amphibole)	cyrkon (zirkon)	rutyl (rutile)	turmalin (tourmaline)	minerały nieprzezroczyste (opaque minerals)	epidot (epidote)	staurolit (staurolite)	biotyt (biotite)	muskowit (muscovite)	zojzyt (zoisite)	węglany (carbonates)	chloryt (chlorite)	syliemanit (sillimanite)
1. Kirowa Woda	5,7	45,6	—	—	—	19,0	—	—	7,4	2,2	13,1	7,0	—	—
2. Siwa Woda	15,5	39,6	—	—	5,1	29,0	—	—	5,5	—	4,0	1,3	—	—
3. Roztoki	7,1	31,5	2,1	0,5	—	23,5	—	—	13,5	17,1	—	—	4,4	—
4. Witów I	2,9	29,1	2,2	—	7,6	13,8	—	—	10,2	11,7	—	1,6	—	10,9
5. Witów II	10,1	36,6	1,2	—	—	24,7	1,0	—	12,4	5,4	—	5,5	—	3,1
6. Chochołów	16,6	31,2	0,7	0,7	—	14,2	7,5	2,3	11,0	9,4	1,7	3,3	—	1,4
7. Podczerwone	14,4	27,1	5,6	2,4	2,3	28,8	0,8	—	16,3	2,3	—	—	—	—
8. Czarny Duna- jec I	13,8	32,4	1,8	1,8	0,6	24,4	5,6	—	11,8	—	—	—	7,8	—
9. Czarny Duna- jec II	23,6	38,8	6,3	1,7	0,8	15,9	1,2	—	4,4	1,4	—	—	4,3	1,6
10. Długopole	9,2	59,2	1,0	—	—	6,8	—	—	18,2	5,6	—	—	—	—
11. Krauszów	17,0	37,8	2,9	2,9	2,5	16,6	0,7	—	4,1	7,4	—	—	1,8	6,3
12. Ludzimierz	20,1	18,3	8,9	0,7	0,7	27,8	7,9	2,8	7,1	4,2	—	—	1,5	—
13. Nowy Targ	26,0	28,2	2,2	2,0	3,2	12,9	3,3	0,8	8,6	4,8	—	—	8,0	—

w miejscowości Czarny Dunajec, lecz wzrasta ponownie do 0,65 mm w Nowym Targu. Wzrost ten jest spowodowany koncentracją ziarn kwarcu, najtrwałszego składnika piasku i najdłużej zachowującego wielkość zbliżoną do elementów pierwotnego źródła materiału. Inne natomiast składniki, ulegające po drodze rozdrobnieniu, jak okruchy łupków, łuszczki — zostają w końcowym etapie drogi rozdrobnione i przechodzą do

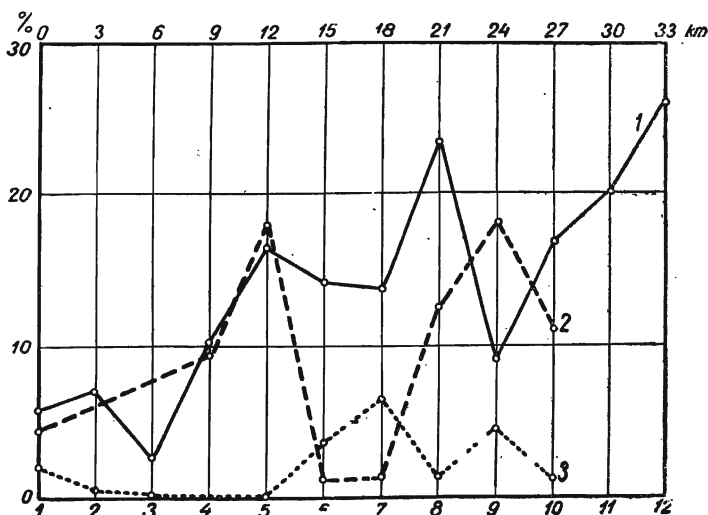


Fig. 2

Zawartość granatów we współczesnych piaskach rzek podhalańskich we frakcji 0,5—0,06 mm

Garnet content in recent sands in the Podhale rivers within the 0.5—0.06 mm. fraction

1 Czarny Dunajec, 2 Biały Dunajec, 3 Białka

dalej transportowanej frakcji ilastej. Na wzrost przeciętnej średnicy ziaren w dół rzeki zwraca uwagę F. J. Pettijohn (1949, 1957). Co do współczynnika wysortowania, to maleje on konsekwentnie z wartości $So = 2$ w Kirach do $So = 1,50$ przy ujściu, wysortowanie zatem poprawia się wzdłuż drogi transportu.

Biały Dunajec

We frakcji 2—1 mm, w odróżnieniu od piasków Czarnego Dunajca, przeważają znacznie wśród okruchów skał okruchy granitów, których ilość wzrasta do 45% koło Boru na Czerwonym, a potem tylko nieznacznie spada. Znacznie jest mniej okruchów łupków krystalicznych, a procent ich szybko spada w dół rzeki. Te fakty są zrozumiałe wobec dużego udziału materiału erodowanego w granitowych Tatrach Wysokich. Ma-

Tabela (Chart) 3

Skład mineralny współczesnych piasków Białego Dunajca we frakcji lekkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych

Mineral composition (volume percentage) in the light — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Biały Dunajec river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)				Okruchy skał (Rock fragments)
	kwarc (quartz)	skalenie (feldspars)	łyżczyki (micas)	węglany (carbonates)	skały krzemionkowe (siliceous rocks)
1. Mała Łąka	34,75	4,25	—	46,00	15,00
2. Strażyska	63,00	3,00	—	29,00	5,00
3. Biały	32,00	2,10	—	57,50	8,40
4. Bystra	58,00	13,20	2,10	7,20	19,50
5. Sucha Woda	53,00	9,30	7,20	25,30	6,20
6. Zakopianka	38,50	5,20	1,00	48,00	7,30
7. Poroniec	64,00	14,30	—	4,20	17,50
8. Biały Dunajec II	60,00	4,15	—	23,35	12,50
9. Szaflary	62,00	8,00	—	23,00	7,00
10. Bór Na Czerwonem	80,00	6,00	—	12,00	2,03
11. Nowy Targ	68,00	10,00	—	11,00	11,00

sywne granity Tatr nie ulegają na ogół łatwo zupełnemu rozdrobnieniu, dlatego mniejsza jest w tej rzece niż w Czarnym Dunajcu ilość pojedynczych ziarn kwarcu. Zachowanie się innych okruchów skał i minerałów w tej frakcji jest podobne jak w Czarnym Dunajcu. We frakcji 1—0,5 mm ilość okruchów granitów początkowo jest jeszcze wyższa niż we frakcji poprzedniej, później jednak szybko spada wskutek rozcieńczenia piaskiem kwarcowym powstałym z rozkruszenia piaskowców fliuszowych; te ostatnie w postaci nierozdrobionych okruchów początkowo stanowią prawie połowę materiału piaszczystego, a bliżej ujścia przechodzą w piasek.

Interesujące jest występowanie okruchów granitów i łupków krystalicznych w Potoku Strażyskim wzdłuż całej długości jego doliny. Pochodzenie tych okruchów nie jest jeszcze wyjaśnione.

Analiza minerałów lekkich we frakcji 0,5—0,06 mm nie wykazuje zasadniczych różnic w stosunku do Czarnego Dunajca. Zmiany stosunków ilościowych minerałów są tu mniej konsekwentne, ale również zaznacza się tu wzrost procentu kwarcu i zmniejszanie się procentu węglanów w kierunku ujścia (tab. 3). Procent skalenia zmienia się skończo-

Tabela (Chart) 4

Skład mineralny współczesnych piasków Białego Dunajca we frakcji ciężkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych
 Mineral composition (volume percentage) in the heavy — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Biały Dunajec river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)												
	granat (garnet)	amfibol (amphibole)	cyrkon (zircon)	rutyl (rutile)	turmalin (tourmaline)	minerały nieprzezroczyste (opaque minerals)	epidot (epidote)	staurolit (staurolite)	biotyt (biotite)	muskowit (muscovite)	chloryt (chlorite)	dysten (kyanite)	węglany (carbonates)
1. Mała Łąka	1,7	4,7	1,8	3,0	1,4	85,8	—	—	—	3,6	—	—	—
2. Strążyska	3,2	32,3	—	—	—	42,2	16,7	—	—	—	—	—	5,7
3. Biały	5,5	15,5	2,0	—	—	66,0	—	—	11,0	—	—	—	—
4. Bystra	4,6	22,5	—	—	—	15,3	20,5	—	8,8	24,7	3,6	—	—
5. Sucha Woda	—	22,0	5,5	—	—	24,5	20,5	—	—	15,0	12,5	—	—
6. Filipki	3,4	23,6	1,1	—	1,1	18,0	34,6	—	—	13,0	5,2	—	—
7. Zakopianka	9,6	19,3	—	—	1,7	53,5	10,8	—	—	5,1	—	—	—
8. Poroniec	2,4	11,0	1,2	—	—	45,2	35,0	—	3,0	2,2	—	—	—
9. Poronin	18,0	23,5	—	1,7	—	33,5	15,3	—	—	8,0	—	—	—
10. Biały Dunajec I	1,2	10,0	—	—	—	43,6	23,2	1,6	7,6	7,2	—	5,6	—
11. Biały Dunajec II	1,4	27,5	—	—	—	42,6	13,1	—	1,8	—	13,6	—	—
12. Szafłary	12,8	18,8	1,2	1,4	1,1	51,4	8,5	—	1,3	—	—	3,5	—
13. Bór Na Czerwonem	18,3	23,6	1,7	4,1	2,0	26,1	15,8	—	2,0	1,8	4,6	—	—
14. Nowy Targ	11,1	20,5	—	—	—	37,5	18,5	—	—	7,3	5,0	—	—

zaznacza się jednak pewna tendencja do jego wzrostu. Natomiast wyraźne różnice w porównaniu z piaskiem Czarnego Dunajca zaznaczają się we frakcji ciężkiej (tab. 4 i fig. 2, 3 i 4). Ilość granatu, aczkolwiek zwiększająca się w dół rzeki wskutek dopływu z materiału fliszowego, jest jednak wyraźnie mniejsza niż w osadach Czarnego Dunajca. Natomiast znacznie większy w Białym Dunajcu jest udział epidotu, którego źródłem jest granit tatrzański (Turrau-Morawska 1948). Mniejszy natomiast jest



Fig. 3

Zawartość amfiboli we współczesnych piaskach rzek podhalańskich we frakcji 0,5—0,06 mm

Amphibole content in recent sands in the Podhale rivers within the 0.5—0.06 mm. fraction

1 Czarny Dunajec, 2 Biały Dunajec, 3 Białka

udział amfibolu, nie wykazujący konsekwentnych zmian wzdłuż drogi rzeki. Skład frakcji ciężkiej i stan zachowania minerałów świadczą, że materiał pochodzący z masywu tatrzańskiego nie ulega wyraźnym zmianom, czyli jest trwały wobec czynników transportu rzeczno-ego. Brak sylimanitu i zoizytu może się wiązać z odmiennym źródłem materiału w trzonie tatrzańskim, a pojawianie się dystenu na dalszych odcinkach drogi jest wynikiem domieszania się materiału fliszowego.

Z badań granulometrycznych wynika, że przeciętna średnica piasków Białego Dunajca jest większa niż w Czarnym Dunajcu i wzrasta w kierunku transportu od 0,88 mm w Kuźnicach do 1,2 mm w Nowym Targu. Większy wymiar przeciętnej średnicy tłumaczą bardziej gruboziarnistym materiałem źródła (granity obok skał metamorficznych), a wzrost podobnie jak w Czarnym Dunajcu. Wartość współczynnika wysortowania ulega pewnym wahaniom z tendencją do zmniejszania się,

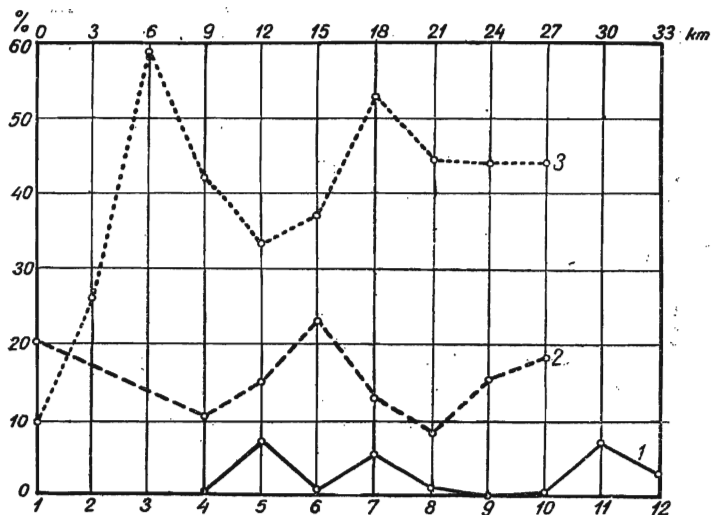


Fig. 4

Zawartość epidotów we współczesnych piaskach rzek podhalańskich we frakcji 0,5—0,06 mm

Epidote content in recent sands in the Podhale rivers within the 0.5—0.06 mm. fraction

1 Czarny Dunajec, 2 Biały Dunajec, 3 Białka

czyli do lepszego wysortowania osadu, zaznaczającego się jednak dopiero w dolnym biegu rzeki. Różne pod tym względem zachowanie się osadów Czarnego i Białego Dunajca jest zgodne z charakterystyką kategorii badanych rzek (Nawara 1964). Czarny Dunajec należy do typu rzek o słabym prądzie, sprzyjającym dobrej selekcji materiału wzdłuż jego drogi. Biały Dunajec natomiast należy do typu mieszanego, a transport selektywny jest wyraźny dopiero w dolnym biegu rzeki.

Białka

Podobnie jak w Białym Dunajcu, duży procent materiału piaszczystego stanowią okruchy granitów, których ilość wzrasta w dół rzeki we frakcji 2—1 mm, a zmniejsza się we frakcji 1—0,5 mm. Ten wzrost we frak-

cji grubszej jest wynikiem kruszenia większych otoczków, zgodnie ze stylem pracy Białki, rzeki o dużym spadku i przewadze działalności kruszącej nad transportem selektywnym; we frakcji drobniejszej materiał tatrzański jest rozcieńczony podobną wielkością ziarna piasku kwarcowego z fliszu. Na ogół jednak w piaskach Białki większy udział wśród okruchów skał stanowią piaskowce fliszu podhalańskiego, co jest zrozumiałe, gdyż Białka za Łysą Polaną wpływa na obszar tego fliszu.

Tabela (Chart) 5

Skład mineralny współczesnych piasków Białki we frakcji lekkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych
Mineral composition (volume percentage) in the light — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Białka river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)				Okruchy skał (Rock fragments)
	kwarc (quartz)	skalenie (feldspars)	łyżczyki (micas)	węglany (carbonates)	skały krzemionkowe (siliceous rocks)
1. Łysa Polana	68,00	16,50	3,10	8,30	5,10
2. Polana Hurkotne	73,00	10,40	2,10	6,20	8,30
3. Jaworowy Potok	81,00	9,60	1,00	1,00	7,40
4. Czarna Góra	75,00	7,10	2,30	2,30	13,30
5. Białka I	70,00	15,40	2,00	—	13,40
6. Białka II	74,00	11,00	1,00	1,00	13,00
7. Kramnica	69,00	9,00	1,00	1,00	20,00
8. Nowa Biała	75,00	8,30	2,10	2,10	12,50
9. Dębno	75,00	12,30	2,40	—	10,30

Udział okruchów piaskowców fliszowych wzrasta do 51% w Nowej Białej, a zmniejsza się dopiero na ostatnich kilometrach drogi. Charakterystyczne jest zachowanie okruchów łupków ilastych. Okruchy te doprowadzone przez Potok Jaworowy do koryta Białki stanowią w punkcie połączenia Białki z Jaworowym przeszło 50% frakcji 2—1 mm. Szybko jednak ulegają one rozkruszeniu i, być może, przechodzą do najdrobniejszej daleko transportowanej zawiesiny tak, że w Dębnie stanowią tylko 1% osadu. Kwarc przeważa na ogół w piaskach Białki, ustępując niekiedy nierozdrobnionym okruchom skał. Zachowanie się innych składników piasków jest podobne jak w rzekach poprzednio opisanych.

W wynikach analizy minerałów lekkich we frakcji 0,5—0,06 mm zwraca uwagę duży procent skaleni dochodzący do 16,5%. Zawartość skaleni w tej frakcji utrzymuje się w piaskach Białki na dość stałym

Tabela (Chart) 6

Skład mineralny współczesnych piasków Białki we frakcji ciężkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych
 Mineral composition (volume percentage) in the heavy — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Białka river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)										
	granat (garnet)	amfibol (amphibole)	cyrkon (zirkon)	rutył (rutile)	turmalin (tourmaline)	minerały nieprzezroczyste (opaque minerals)	epidot (epidote)	biotyt (biotite)	muskowit (muscovite)	chlorit (chlorite)	syłimanit (sillimanite)
1. Łysa Polana	2,0	32,6	—	—	—	4,5	10,0	18,7	19,5	12,7	—
2. Polana Hurkotne	0,7	11,6	4,1	3,3	0,6	47,8	26,2	—	2,7	3,0	—
3. Potok Jaworowy	2,7	12,3	0,5	—	1,4	32,5	30,0	1,7	1,8	17,1	—
4. Połączenie Białki z Jaworowym	—	12,9	—	—	—	13,4	58,9	2,1	9,6	—	3,1
5. Jurgów	—	13,3	1,5	—	—	17,0	42,3	2,5	13,6	9,8	—
6. Czarna Góra	—	15,1	—	—	1,5	36,4	33,2	—	8,0	2,5	—
7. Białka I	3,9	5,3	1,1	1,4	1,7	40,0	37,1	3,0	2,3	2,1	2,9
8. Białka II	6,8	2,3	1,1	1,0	1,7	33,2	52,8	—	2,2	—	—
9. Kramnica	1,6	17,3	—	—	—	17,7	44,9	2,7	4,1	11,7	—
10. Nowa Biała	4,5	11,0	—	—	—	26,3	44,1	6,9	1,9	5,3	—
11. Dębno	1,1	—	1,8	—	—	25,2	44,6	—	17,6	9,7	—

poziomie (tab. 5), nie wykazując wzrostu w dół rzeki jak w Czarnym i Białym Dunajcu. Można te różnice wyjaśnić odmiennym stylem pracy rzek. Słaby prąd i selekcja ziarna według kształtu w dolnym biegu Czarnego i Białego Dunajca sprzyjają koncentracji minerałów tabliczkowych; działalność ta nie zaznacza się w rzece o większym spadku. Większy niż w osadach poprzednio opisanych rzek procent skaleni i lyszczyków w Białce tłumaczy się charakterem źródła materiału w krystalniku Tatr. Ta sama uwaga odnosi się do nikłej zawartości węglanów w piaskach Białki.

W wynikach analizy minerałów ciężkich zwracają uwagę następujące fakty (tab. 6 i fig. 2, 3 i 4): niewielka ilość granatu, mniejsza niż w innych rzekach ilość amfibolu z pewną tendencją do spadku, duża ilość epidotu, którego zawartość dochodzi prawie do 60% frakcji ciężkiej, oraz większa niż w innych rzekach zawartość minerałów blaszkowatych (biotyt, chloryt, muskowit). Te fakty związane są z charakterem petrograficznym Tatr Wysokich a także ze stylem pracy Białki, który tłumaczy koncentrację minerałów blaszkowatych. W rzekach o słabym prądzie i dużej działalności selektywnej minerały blaszkowate mogą przechodzić częściowo do dalej transportowanej zawiesiny ilastej. W Białce mieszają się one z resztą osadu.

Przeciętna średnica piasków Białki jest większa niż w innych rzekach (1,4 mm w górnym biegu), co jest zrozumiałe wobec dużego udziału materiału granitowego. Ulega ona jednak dużym wahaniom, a w końcu zmniejszeniu do 0,6 mm, przypuszczalnie wskutek miażdżenia piasku między grubszymi otoczkami. Wysortowanie piasków jest początkowo dobre ($So = 1,22$), przy dużym udziale równoziarnistej zwietrzliny granitowej, a następnie ulega pogorszeniu ($So = 1,4$ w Dębnie).

Dunajec

Analiza frakcji 2—1 mm i 1—0,5 mm wykazuje, że materiał jest tu na ogół lepiej wyselekcjonowany pod względem składu mineralnego niż w innych rzekach. Zawartość kwarcu, najtrwałszego składnika piasków, dochodzi prawie do 90% w Ujściu Jezuidkim. Okruchy granitów stanowiące początkowo duży procent (74% frakcji 2—1 mm w Nowym Targu) spadają do kilku procent przy ujściu. Okruchy łupków krystalicznych występują zasadniczo tylko w górnym biegu rzeki, a poniżej Pienin pojawiają się już tylko sporadycznie. Charakterystyczne jest tu zachowanie się okruchów piaskowców fliszowych w obu badanych frakcjach. Występują one obficie w środkowym biegu rzeki, szczególnie na odcinkach, gdzie doprowadzane są ze zboczy doliny oraz przez potoki boczne. Po ustaniu tego dopływu procent okruchów piaskowców raptownie spada, gdyż rozsypują się one na drobny piasek. W dolnym biegu Dunajca zaczynają się pojawiać okruchy piaskowców kwarcytowych

Tatr. Brak ich było lub bardzo niewiele w innych rzekach oraz w górnym biegu Dunajca z powodu twardości tych skał trudno rozsypanych się na piasek. Długotrwały transport doprowadza jednak w końcu do ich rozkruszenia i większej koncentracji. Udział okruchów skał węglanowych wzrasta poniżej Pienin. Maksimum (11%) występuje koło osady Piaski (3 km na S od Krościenka). Znamienna jest koncentracja łyszczyków do 14% w Czorsztynie.

W składzie ilościowym zespołu minerałów lekkich frakcji 0,5—0,06 mm (tab. 7) zaznacza się największe w porównaniu z dopływami Dunajca wzbogacenie w materiał najtrwalszy. Ilość kwarcu łącznie z okruchami rogowców i krzemieni dochodzi do 97% (Olszyny). Udział skaleni wykazuje mniejsze wahania niż w innych rzekach, ale zaznacza się pewna tendencja do wzrostu w miarę transportu. Znacznie mniejszy niż w innych rzekach jest tu udział węglanów, a przy ujściu Dunajca do Wisły znikają one prawie zupełnie. Małą ilość łyszczyków, zwłaszcza w dolnym biegu, wyjaśnić można ich przechodzeniem do dalej transportowanej zawiesiny ilastej.

W składzie frakcji ciężkiej rzuca się w oczy największy w porównaniu z innymi rzekami udział granatu w tej frakcji. Wskazuje to niewątpliwie na wpływ materiału fliszowego, często bogatego w ten minerał. Z materiałem fliszowym wiązać też należy pochodzenie staurolitu i dystenu, które w innych rzekach nie pojawiały się wcale lub też w znikomej ilości. Procent amfibolu jest tu mniejszy niż w Białym i Czarnym Dunajcu, miejscami jednak większy niż w Białce, przy czym zaznacza się pewna tendencja do jego ubytku w kierunku ujścia (tab. 8). Niemniej jednak znamienne jest dość znaczny udział we frakcji ciężkiej tego minerału pochodzącego z krystaliniku tatrzańskiego oraz dobry stan jego zachowania. To świadczy o odporności amfibolu na czynniki transportu rzecznoego. W wynikach analizy frakcji ciężkiej Dunajca zwraca jeszcze uwagę większy niż w innych rzekach i zwiększający się w dół rzeki udział cyrkonu, rutyłu i turmalinu. Fakt ten może być wynikiem jednej z dwu okoliczności, albo też sumowania się obydwu: wymienione trzy minerały uznane są za najtrwalsze w zespole ciężkich minerałów zarówno na czynniki wietrzenia jak i transportu. Inne minerały stwierdzone w badanych rzekach i również odporne na czynniki transportu mogą wyżej wymienionym nie dorównywać pod tym względem. Drugą okolicznością jest zwiększająca się domieszka materiału fliszowego często bogatego w cyrkon, a niekiedy rutył i turmalin.

Z badań granulometrycznych piasków Dunajca wynika, że wartość przeciętnej średnicy ulega wielkim wahaniom w miarę posuwania się w dół doliny, od 0,90 mm w Nowym Targu do 0,54 mm w Niedzicy. Koło osady Piaski przeciętna średnica wzrasta do 1 mm. W Biegonicach, tuż za połączeniem Dunajca i Popradu, maleje do 0,32 mm, ponownie wzrasta do 1 mm w Olszynch, a przy ujściu Dunajca do Wisły wynosi

Tabela (Chart) 7

Skład mineralny współczesnych piasków Dunajca we frakcji lekkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych

Mineral composition (volume percentage) in the light — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Dunajec river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)				Okruchy skał (Rock fragments)
	kwarc (quartz)	skalenie (feldspars)	łyśczyki (micas)	węglany (carbonates)	skały krzemionkowe (siliceous rocks)
1. Nowy Targ	82,20	5,30	—	8,40	4,20
2. Waksmund	72,00	6,10	2,10	10,40	9,40
3. Ostrowsko	73,50	8,30	1,50	6,20	11,50
4. Grabka	75,00	4,00	—	8,00	13,00
5. Knurów	81,00	2,00	1,00	9,00	7,00
6. Frydman	74,00	2,10	2,10	4,10	17,70
7. Maniowy	73,00	5,20	5,20	11,40	5,20
8. Czorsztyn	80,80	9,50	—	5,20	9,50
9. Niedzica	82,30	7,20	—	1,30	9,20
10. Sromowce Wyzne	77,00	8,30	—	9,30	5,20
11. Sromowce Niżne I	71,00	11,40	—	5,10	12,50
12. Sromowce Niżne II	76,35	12,25	—	4,20	7,20
13. Szczawnica	88,00	4,00	—	4,00	4,00
14. Piaski	72,00	11,00	—	7,00	10,00
15. Krościenko	79,00	9,50	1,00	7,30	3,20
16. Kłodne	85,20	7,40	—	5,30	2,10
17. Jazowsko	85,00	8,00	—	6,00	1,00
18. Biegonice	84,00	7,00	—	2,00	7,00
19. Filipowice	87,00	3,00	—	—	10,00
20. Olszyny	87,00	9,00	—	—	3,00
21. Świerczków	88,00	7,00	—	1,00	4,00
22. Ilkowice	82,00	8,00	—	1,00	9,00
23. Ujście Jezuickie	83,00	9,00	—	1,00	8,00

0,35 mm. Te wahania spowodowane są kilku czynnikami: dopływem materiału z dolin bocznych w różnej ilości i o różnym charakterze petrograficznym, rozsypywaniem się na kamieńcach różnego typu otoczków oraz ich kruszeniem w czasie transportu. Niewątpliwie działa też w dolnym biegu Dunajca transport selektywny rozdzielający materiał według pokroju okruchów. Wartość współczynnika wysortowania zmniejsza się w kierunku ujścia (Nowy Targ $So = 1,54$, Ujście Jezuickie $So = 1,34$).

Tabela (Chart) 8

Skład mineralny współczesnych piasków Dunajca we frakcji ciężkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych
 Mineral composition (volume percentage) in the heavy — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Dunajec river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)										
	granat (garnet)	amfibol (amphibole)	cyrkon (zirkon)	rutyl (rutile)	turmalin (tourmaline)	minerały nieprzezroczyste (opaque minerals)	epidot (epidote)	staurolit (staurolite)	biotyt (biotite)	dysten (kyanite)	chloryt (chlorite)
1. Nowy Targ	24,7	2,5	0,6	—	1,8	52,7	12,7	—	0,4	0,8	3,8
2. Waksmund	24,4	17,0	2,6	1,1	5,7	28,2	15,2	—	1,5	—	4,3
3. Ostrowsko	31,8	18,0	—	—	4,3	20,2	19,1	—	2,0	3,1	1,5
4. Grabka	30,4	7,6	—	2,0	3,2	39,1	16,0	0,7	—	—	1,0
5. Knurów	16,3	23,7	1,8	2,4	5,2	20,1	13,6	—	8,9	2,1	5,9
6. Frydman	19,1	18,4	3,0	2,1	1,3	29,5	13,8	2,0	2,1	3,0	5,7
7. Maniowy	12,6	22,6	1,3	—	5,7	18,0	26,4	2,1	1,4	4,9	5,0
8. Czorsztyn	8,6	16,9	6,3	3,8	1,6	12,7	32,0	0,9	3,8	3,6	9,8
9. Niedzica	11,3	16,1	3,9	—	5,7	34,1	25,1	—	1,9	0,9	3,0
10. Stromowce Wyżne	8,0	30,0	3,9	4,5	3,4	23,4	15,2	—	2,3	6,8	5,5
11. Stromowce Niżne I	14,3	15,8	2,8	0,9	3,3	15,9	23,2	—	4,7	10,7	8,4
12. Stromowce Niżne II	4,7	14,0	0,5	1,1	0,6	22,5	37,2	—	—	10,0	9,4
13. Szczawnica	22,0	15,4	5,6	3,0	3,4	24,4	8,1	1,8	2,6	6,8	6,9
14. Piaski	16,1	23,2	2,4	—	—	30,6	19,0	—	—	5,8	2,9
15. Krościenko	18,8	22,4	3,8	4,7	6,6	18,5	11,6	0,5	10,1	1,3	1,7
16. Kłodne	16,4	10,2	1,8	—	—	36,2	24,5	—	1,3	9,6	—
17. Jazowsko	34,2	1,8	7,0	10,1	3,1	31,5	5,0	1,7	3,0	2,5	—
18. Olszyny	25,6	12,7	2,9	—	—	43,7	13,5	1,6	—	—	—
19. Świerczków	25,0	8,6	6,7	4,4	1,9	31,5	12,0	0,5	0,5	4,4	—
20. Ilkowice	28,8	13,3	8,0	3,6	3,5	30,4	10,6	1,5	—	0,3	—
21. Ujście Jezuickie	40,2	3,2	5,7	3,1	5,0	35,0	3,3	2,8	1,7	—	—

Poprad

We frakcjach 1—2 mm i 1—0,5 mm odgrywają większą rolę jedynie trzy składniki: kwarc, okruchy granitów i piaskowców fliszowych. Procent pierwszego składnika zwiększa się, drugiego zmniejsza się w kierunku ujścia, a procent piaskowców fliszowych ulega dużym wahaniom. Charakterystyczny jest prawie zupełny brak okruchów skał węglanowych i kalcytu.

Tabela (Chart) 9

Skład mineralny współczesnych piasków Popradu we frakcji lekkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych

Mineral composition (volume percentage) in the light — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Poprad river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)				Okruchy skał (Rock fragments)
	kwarc (quartz)	skalenie (feldspars)	łyżczyki i chloryty (micas and chlorites)	węglany (carbonates)	skały krzemionkowe (siliceous rocks)
1. Leluchów	76,20	13,20	2,20	2,20	3,20
2. Muszyna	74,40	20,40	1,40	2,40	1,40
3. Jędrzejówka	78,25	14,25	—	2,25	5,25
4. Żegiestów	69,00	7,00	2,00	1,00	21,00
5. Wierchomla	70,00	14,00	—	3,00	12,00
6. Piwniczna	74,25	9,25	—	1,25	15,25
7. Rytro	76,20	8,20	1,20	3,20	11,20
8. Barcice	66,00	13,00	—	—	21,00

W wynikach analizy minerałów lekkich we frakcji 0,5—0,06 mm zwraca uwagę większy niż w innych rzekach tatrzańskich udział skaleni, dochodzących do 20% (tab. 9). Najwięcej analogii wykazuje Poprad pod tym względem z Białką i można tu przyjąć podobne wyjaśnienie zjawiska: silny prąd, słaba selekcja, skalenie nie przechodzą do dalej transportowanej zawiesiny i mieszają się z osadem piaszczystym. Ilość skaleni w piaskach Popradu nie zmienia się wyraźnie w kierunku transportu, również utrzymuje się na mniej więcej tym samym poziomie łączna zawartość kwarcu i okruchów skał krzemionkowych.

We frakcji ciężkiej obok minerałów nieprzezroczystych dużą rolę odgrywają granat i epidot. Amfibol jest nieliczny, co można wyjaśnić charakterem petrograficznym krystaliniku, z którego Poprad wypływa (tab. 10).

Tabela (Chart) 10

Skład mineralny współczesnych piasków Popradu we frakcji ciężkiej 0,5—0,06 mm w % objętościowych
 Mineral composition (volume percentage) in the heavy — 0.5—0.06 mm. — fraction of recent sands in the Poprad river

Miejsce pobrania próbki (Locality)	Minerały (Minerals)										
	granat (garnet)	amfibol (amphibole)	cyrkon (zirkon)	rutyl (rutile)	turmalin (tourmaline)	minerały nieprzezroczyste (opaque minerals)	epidot (epidote)	staurolit (staurolite)	biotyt (biotite)	dysten (kyanite)	chloryt (chlorite)
1. Leluchów	33,2	2,0	6,7	9,0	4,2	32,3	11,2	1,4	—	—	—
2. Muszyna	23,7	—	6,3	5,4	2,7	37,4	21,3	—	3,2	—	—
3. Jędrzejówka	33,9	—	4,2	3,0	0,7	36,9	13,2	5,7	2,4	—	—
4. Żegiestów	23,2	—	11,5	6,5	2,5	35,8	16,2	—	2,0	2,3	—
5. Wierchomla	27,3	7,4	4,1	3,1	2,3	37,4	15,6	—	2,8	—	—
6. Piwniczna	31,9	5,9	4,1	5,3	7,1	27,2	13,1	0,8	1,1	0,5	3,0
7. Rytro	44,2	—	3,3	1,8	—	36,5	10,7	—	1,0	—	2,5
8. Barcice	31,4	8,1	0,6	1,1	3,9	34,7	7,1	4,3	2,9	—	4,9
9: Stary Sącz	19,0	7,7	0,6	3,5	—	41,1	25,1	—	—	—	3,0

INTERPRETACJA WYNIKÓW ANALIZ

Jednym z ważnych wniosków uzyskanych z analiz składu mineralnego piasków Dunajca i jego dopływów jest stwierdzenie, że materiał erodowany w masywie tatrzańskim wywiera bardzo wyraźne piętno na składzie mineralnym osadów, mimo dopływu materiału z utworów fliszowych. Fakt ten odzwierciedla się zarówno w składzie grubszych frakcji piasków, jak i w drobniejszej. W piaskach rzek mających swe źródło w Tatrach Wysokich wśród okruchów skał charakterystyczne są granity, natomiast w Czarnym Dunajcu płynącym z Tatr Zachodnich przeważają nad granitami skały metamorficzne. We frakcji 0,5—0,06 mm najbardziej charakterystyczne dla źródła materiału są minerały ciężkie. W Czarnym Dunajcu dominującym składnikiem frakcji ciężkiej jest amfibol, co jest zrozumiałe wobec obfitości amfibolitów w Tatrach Zachodnich. Dużą rolę odgrywa tu również granat, ale procent jego wzrasta dopiero w dolnym biegu rzeki wskutek dopływu z materiału fliszowego. W Białym Dunajcu zmniejsza się udział amfibolu, wzrasta zawartość epidotu, charakterystycznego składnika pobocznego granitu tatrzańskiego. W Białce udział epidotu jeszcze więcej wzrasta, natomiast ilość granatu jest niewielka, a ilość amfibolu mniejsza niż w innych rzekach wobec znacznej przewagi skał nie zawierających amfibolu. W Dunajcu materiał pochodzący z masywu tatrzańskiego jest silnie rozcieńczony domieszką utworów fliszowych, dlatego zwiększa się tu udział granatu, pojawiają się staurolit i dysten występujące w innych rzekach w znikomej ilości. Mimo wszystko także i w Dunajcu amfibol jest wskaźnikiem początkowego źródła materiału umiejscowionego w masywie tatrzańskim, amfibol jest bowiem rzadkim składnikiem fliszu. W rzece Poprad wskaźnikiem materiału tatrzańskiego jest epidot, natomiast amfibol jest nieliczny, co się tłumaczy charakterem uboższego w amfibole krystaliniku, z którego rzeka bierze swe źródło.

Drugim wnioskiem uzyskanym z analizy składu mineralnego badanych rzek jest stwierdzenie odporności chemicznej minerałów wobec czynników transportu rzecznoego. Jeśli chodzi o trwałość zespołów mineralnych, takich jak okruchy granitów, skał metamorficznych, piaskowców, skał węglanowych — to ich zmniejszająca się koncentracja w osadzie jest wywołana czynnikami kruszącymi, powodującymi rozpad na pojedyncze minerały. Jedynie w szybkim zaniku z osadu skał węglanowych może odgrywać rolę obok mechanicznego rozcierania także i działalność rozpuszczająca wody. Zagadnienie trwałości pojedynczych minerałów w piaskach rozpatruje się głównie w odniesieniu do skaleni i minerałów ciężkich. Stosunkowo niewielki procent skaleni w piaskach badanych rzek zdawałby się wskazywać, że nie są one zbyt odporne chemicznie na czynniki transportu rzecznoego, gdyż trzon krystaliczny Tatr zawiera te minerały w ogromnej przewadze nawet w stosunku do kwarcu. Należy jednak wziąć pod uwagę, że granity i gnejsy tatrzańskie

zawierają pośród skaleni głównie plagioklasy, które ulegają łatwo rozdrobnieniu w czasie transportu i częściowo przechodzą do daleko transportowanej zawiesiny ilastej. Fakt, że ich procent nie ulega zmniejszeniu, a nawet miekiedy zwiększeniu w miarę transportu oraz że zachowują one swą początkową świeżość, świadczy, że czynniki transportu rzecznoego nie sprzyjają ich rozkładowi chemicznemu. Podobne uwagi odnoszą się do amfibolu, granatu i epidotu, przeważających we frakcji ciężkiej. Amfibol jest w schemacie L. B. Ruchina (1953) oraz W. H. Twenhofela (1950) umieszczony wśród minerałów mało trwałych lub nietrwałych. Wnioski L. Drydena i C. Drydena (1946) również potwierdzają ten charakter amfibolu, jednak ich obserwacje dotyczyły wyłącznie wpływu wietrzenia na trwałość minerałów z eliminacją czynników transportu. Natomiast według R. D. Russela (1935), który badał zachowanie się amfiboli w piaskach rzeki Mississipi na przestrzeni 1100 mil ang., minerały te nie ulegają wyraźnym zmianom w czasie transportu. Podobne uwagi odnoszą się do zachowania się granatu w skałach okrucowych, według F. Friesego (1931), jeden z odporniejszych na czynniki abrazyjne, wymieniony jest przez L. Drydena i C. Drydena (1946) wśród najmniej odpornych na wietrzenie chemiczne. Obserwacje zachowania się granatu w piaskach Dunajca i jego dopływów wskazują na jego odporność na czynniki transportu rzecznoego. Nie można w tych rozważaniach pominąć sprawy zachowania się cyrkonu, rutilu i turmalinu w badanych osadach. Te minerały w osadach bliższych masywu tatrzańskiego stanowią niewielki procent frakcji ciężkiej, natomiast ulegają pewnej koncentracji w dolnym biegu Dunajca. Fakt ten potwierdza ogólnie przyjęty i poparty obserwacjami pogląd, że cyrkon, rutil i turmalin należą do najtrwalszych minerałów ciężkich. Należałoby więc przyjąć, że — aczkolwiek amfibol i granat są odporne na czynniki transportu rzecznoego — ustępują jednak pod tym względem miejsca poprzednio wymienionym minerałom.

Jeżeli chodzi o zmianę ilościowego stosunku granatu i amfibolu wraz ze zmniejszaniem się przeciętnej średnicy ziarn piasku w kierunku ujścia rzeki, to wyniki odnośnych obserwacji nie są zgodne. Według M. Turnau-Morawskiej (1952), ilość amfibolu wzrasta w stosunku do ilości granatu w coraz to bardziej drobnoziarnistych osadach, a więc w dolnym biegu rzeki. Faktu tego należałoby oczekiwać, zgodnie z rozważaniami G. Rittenhouse'a (1943) nad wpływem pokroju minerałów na ich koncentrację w osadzie. Tabliczkowaty lub pręcikowaty pokrój amfiboli w porównaniu z izometryczną formą granatów sprzyja wcześniejszemu osadzaniu się tych ostatnich wraz z grubszym ziarnem minerałów lekkich. Do odmiennych wniosków prowadzą jednak zarówno wyniki badań C. Burriego (1929) nad piaskami rzeki Ticino, jak i przedstawione w mojej pracy wyniki analiz piasków Dunajca i jego dopływów. Te rozbieżności są zapewne spowodowane faktem, że obok transportu selektyw-

nego rzeki dużą rolę odgrywa dopływ nowego materiału w kierunku dolnego jej biegu. W analizowanych przeze mnie piaskach granat dopływa stale z rozsypujących się piaskowców fliszowych. Brak natomiast nowego zasilenia rzeki okruchami skał zawierających amfibol powoduje, że minerał ten zaczyna powoli ustępować miejsca innym minerałom koncentrującym się we frakcji ciężkiej. Ponadto na dłuższej drodze ulega on przypuszczalnie tak silnemu rozdrobnieniu, że przechodzi do daleko transportowanej zawiesiny ilastej.

Co do trwałości epidotu, ważnego wskaźnika materiału badanych osadów, to w odnośnej literaturze znajdujemy mniej danych niż dla innych minerałów ciężkich. Zarówno w schemacie L. B. Ruchina (1953) jak i W. H. Twenhofela (1950) umieszczony jest on wśród minerałów mało trwałych. Jednak, według F. Friesego (1931), jest on dość odporny na czynniki abrazyjne, co znajduje potwierdzenie w analizie piasków Dunajca i jego dopływów. Głównym źródłem epidotu jest tu niewątpliwie granit tatrzański, nie wyłączam jednak pewnej domieszki z fliszu, gdyż procent tego minerału niekiedy wzrasta w kierunku dolnego biegu rzek. Ten wzrost może być jednak spowodowany również stopniowym kruszeniem się żwirów granitowych, które są daleko transportowane.

Opierając się na wynikach moich analiz granulometrycznych skłanianiem się do wniosku, że skład granulometryczny badanych piasków, wartość przeciętnej średnicy i współczynnika wysortowania zależą w większym stopniu od składu i struktury skał, z których piasek się tworzy, aniżeli od czynników abrazyjnych. Wniosek ten potwierdzają zwłaszcza obserwacje osadów Czarnego Dunajca oraz dolnego biegu Dunajca. Wzrost procentu frakcji najdrobniejszej jest zawsze ściśle związany z rozpadaniem się okruchów piasków fliszowych złożonych na kamieńcach. Bardzo wyraźny wzrost najdrobniejszej frakcji obserwuje się w miejscowości Świerczków w dolnym biegu Dunajca, gdzie równocześnie w żwirach bardzo szybko zmniejsza się zawartość otoczków piaskowców fliszowych (Nawara 1964) rozsypujących się na piasek. Wysoki procent frakcji najgrubszej w piaskach jest prawie zawsze związany z występowaniem w tym miejscu okruchów granitowych, co można zauważyć w piaskach Białki. Podobny wpływ struktury skały macierzystej zaznacza się w wielkości przeciętnej średnicy i współczynnika wysortowania. Wskutek rozsypywania się na piasek otoczków skał o różnej strukturze, na całej długości rzeki zmiany stosunków granulometrycznych zachodzą w sposób mniej prawidłowy niż w przypadku żwirów.

Mimo wielu komplikujących czynników ujawniających się przy tworzeniu się piasków Dunajca i jego dopływów, można tu zauważyć pewne różnice w stylu pracy badanych rzek, nie tak wyraźne jak w zachowaniu się żwirów, ale potwierdzające w zasadzie wyniki obserwacji uzyskane w mojej poprzedniej pracy (Nawara 1964). Czarny Dunajec został w tej pracy zaliczony do rzek pierwszej kategorii, charakteryzu-

jących się małym spadkiem, słabym prądem i wyraźnym transportem selektywnym. W składzie mineralnym piasków ten charakter rzeki ujawnia się w ubóstwie łyszczyków, które wskutek pokroju blaszkowatego przechodzą do daleko transportowanej frakcji ilastej. Takie rozdzielanie ziarn mineralów według ich pokroju zachodzi najintensywniej w rzekach o wyraźnej działalności selektywnej. Białka i Poprad należą do rzek drugiej kategorii, charakteryzują się silnym spadkiem, intensywnym kruszeniem materiału w czasie transportu i słabym transportem selektywnym. Wynikiem tego charakteru jest zwiększanie się ilości okruchów granitów w dół rzeki we frakcji 2—1 mm wskutek kruszenia się większych otoczków. Natomiast we frakcji 0,5—0,06 mm obfitość skałeni i łyszczyków świadczy o braku selekcji materiału, minerały o pokroju tabliczkowatym i blaszkowatym osadzają się wraz z izometrycznymi. Biały Dunajec i Dunajec należą do rzek kategorii trzeciej, typu mieszanego, transport selektywny działa dopiero w dolnym biegu rzeki i ten charakter ma wpływ na skład mineralny frakcji drobniejszych, który jest podobny jak w Czarnym Dunajcu.

WNIOSKI

1. Różnice w składzie mineralnym piasków Dunajca i niektórych jego dopływów odzwierciedlają charakter petrograficzny materiału erodowanego w różnych częściach masywu tatrzańskiego. Różnice te nie ulegają całkowitemu zatarciu mimo dopływu materiału fliszowego na drodze tych rzek.

2. Minerały mniej trwałe wobec czynników wietrzeniowych w porównaniu z kwarcem i okruchami skał krzemionkowych, a mianowicie skalenie, amfibole, granaty, epidoty — zachowują się na drodze badanych rzek jako chemicznie odporne na czynniki transportu rzecznoego. Zmiany w ich stosunkach ilościowych w kierunku transportu są wynikiem z jednej strony dopływu materiału z fliszu, z drugiej strony kruszeniem mechanicznym i działaniem transportu selektywnego według pokroju mineralów. Zwiększenie się w dolnym biegu Dunajca koncentracji cyrkonu, turmalinu i rutyłu, mineralów ogólnie uznanych za najodporniejsze na wszelkie czynniki niszczące, może budzić pewne zastrzeżenie co do wniosku, że transport rzeczny nie powoduje rozkładu nawet mineralów mało odpornych na wietrzenie. Ubytek amfibolu, granatu i epidotu na korzyść poprzednio wymienionych mineralów ciężkich uzasadnia powyższe zastrzeżenie. Można jednak przypuścić, że w dolnym biegu Dunajca zachodzi zwiększony dopływ cyrkonu, rutyłu i turmalinu ze skał o bardziej wyselekcjonowanym składzie mineralnym.

3. Skład mineralny piasków, wartość przeciętnej średnicy i współczynnika wysortowania są przypuszczalnie w większym stopniu zależne

od rodzaju skały, z której piasek się tworzy i zmiennego dopływu różnych materiałów, niż od czynników abrazyjnych i sortujących.

4. Mimo wielu czynników komplikujących warunki tworzenia się piasków Dunajca i jego dopływów, zaznacza się w różnicach składu mineralnego odmienny u różnych rzek styl pracy, a zestawienie odnośnych różnic jest zgodne z podziałem badanych rzek na kategorie określone w pracy dotyczącej żwirów tych samych rzek (Nawara 1964).

Muzeum Ziemi

Polskiej Akademii Nauk

Warszawa, Al. Na Skarpie 20/26

i

Zakład Petrografii Skał Osadowych

Uniwersytetu Warszawskiego

Warszawa 22, Al. Żwirki i Wigury 6

Warszawa, w lipcu 1964 r.

LITERATURA CYTOWANA

- BURRI C. 1929. *Sédimentpetrographische Untersuchungen an alpinen Flússanden. II: Die Sande des Tessin.* — *Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt.*, Bd. 9, H. 2. Zürich.
- DRYDEN L. & DRYDEN C. 1946. Comparative rates of weathering of some common heavy minerals. — *J. Sedim. Petrol.*, vol. 16, no. 3. Tulsa, Oklahoma.
- FRIESE F. 1931. *Untersuchungen von Mineralien auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung in Wasser.* — *Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt.*, vol. 41. Zürich.
- JASKÓLSKI S. 1939. Wstęp do charakterystyki petrograficznej niektórych serii ropnych polskich Karpat fliszowych (Einführung in die petrographische Charakteristik gewisser ölführenden Schichtenfolgen der polnischen Flyschkarpathen). — *Biul. P.I.G. (Bull. Serv. Géol. Pol.)* 23, ss. 1—97. Warszawa.
- KRYSOWSKA M. 1961. Analiza minerałów ciężkich w najmłodszych osadach sieci rzecznej Tatr Zachodnich (An analysis of heavy minerals in Recent fluvial sediments in the Western Tatra Mts.). — *Rocz. P.T.Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.)*, t. 31, z. 1. Kraków.
- KUENEN PH. H. 1959. Experimental abrasion 3. Fluvial action on sand. — *Amer. J. Sci.*, vol. 257, no. 3. New Haven.
- ŁOZIŃSKI J. 1957. Porównanie zespołu minerałów ciężkich fliszu podhalańskiego, aalenu fliszowego w pasie skałkowym i egzotyków jurajskich z Bachowic (The comparison of the assemblage of heavy minerals of the Podhale Flysch, Flysch Aalenian in the Klippen Belt with the Jurassic exotic from Bachowice). — *Rocz. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.)*, t. 25, z. 3. Kraków.
- 1959. Minerale ciężkie dolnej i środkowej kredy w pienińskim pasie skałkowym (Les minéraux lourds des grès du Crétacé inférieur et moyen dans les Klippes des Pieniny). — *Ibidem*, t. 29, z. 1.
- NAWARA K. 1964. Transport i sedymentacja współczesnych żwirów Dunajca i niektórych jego dopływów (Recent transport and sedimentation of gravels in the Dunajec and some of its tributaries). — *Prace Muzeum Ziemi*, nr 6. Warszawa.
- PETTIJOHN F. J. 1949, 1957. *Sedimentary rocks.* New York.
- RITTENHOUSE G. 1943. The transportation and deposition of heavy minerals. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 54. Washington.

- RUCHIN L. B. 1953. *Osnovy litologii*. Leningrad — Moskva:
- RUSSEL R. D. 1935. The size distribution of minerals in Mississippi River sands. — *J. Sedim. Petrol.*, vol. 56.
- TOKARSKI J. 1946. Ciężkie minerały jako wskaźniki stratygraficzne serii fli-szowych (Heavy minerals as stratigraphical marks of Flysch series). — *Nafta*, t. 3, nr 9. Katowice.
- 1947. Heavy minerals as stratigraphical marks of Flysch series. — *Bull. Acad. Pol. Sci. Lettr., sér. A*. Kraków.
- TURNAU-MORAWSKA M. 1948. Z mikrogeologii trzonu krystalicznego Tatr (Microgeological researches in the central part of the crystalline Tatra). — *Kosmos*, ser. A, t. 65. Wrocław.
- 1952. Utwory rzeczne doliny Bugu między Terespołem a Wyszkowem (Fluvial deposits in the Bug Valley between Terespol and Wyszów). — *Biul. P.I.G.* (Bull. Serv. Géol. Pol.) 68. Warszawa.
- TWENHOFEL W. H. 1950. *Principles of sedimentation*. New York and London.

K. NAWARA

RECENT TRANSPORT AND SEDIMENTATION OF SANDS IN THE DUNAJEC RIVER AND SOME OF ITS TRIBUTARIES

(Summary)

ABSTRACT: Analyses of the mineral composition and texture of recent sands in the Dunajec river and some of its tributaries are presented. In spite of the contamination with Flysch material during transport, the writer postulates a distinct influence of the Tatra source rocks on the analysed deposits. The transporting factors probably have but a slight influence on the stability of feldspars and heavy minerals that are components of the investigated sands. The size frequency distribution of these sands, the mean diameter and the coefficient of sorting are probably more dependent on the petrographic character of the rocks crushed into sand during transport, than on the abrasive and sorting agents of the river. In spite of the complicated conditions of origin of the investigated sands one may observe distinct differences in the style of action in every one of the studied streams which differ in their gradient and velocity of current.

In spite of contamination with Flysch sediments, the mineral composition analyses of recent sand deposits in the Dunajec river and some of its tributaries (fig. 1) show a distinct influence of the rock material eroded from the Tatra Mts. This is evident in the coarser as well as in the finest grades of sand. The sands with their source in the High Tatra contain mostly granites among the rock fragments, whereas those which have their source in Western Tatra show a predominance of metamorphic rock fragments. In the finest grades of sands heavy minerals are those most diagnostic of the source rocks. Amphibole is the predominant component of the heavy mineral assemblage in the Czarny Dunajec (chart 1—2) which has its source in Western Tatra, characterised by an abundance of amphibolites. Garnet is also an important component here but its percent increases only in the lower part of the river thanks to contamination with Flysch material. In the Biały Dunajec (chart 3—4), the sources of which occur in Western Tatra as well as in the High Tatra, amphibole decreases whereas epidote increases in amount. The last mentioned mineral is a characteristic accessory mineral of the High Tatra granite. In the river Białka (chart 5—6) which starts its course in the

High Tatra Mts. the amount of epidote is still higher while amphibole is less abundant than in other investigated streams, which may be explained by the scarcity of amphibolites in these mountains. In the Dunajec river (chart 7—8) the source index minerals of the Tatra Mts. are strongly diluted by contamination with Flysch sediments which causes an increase of garnet and also that of staurolite and kyanite. However, in the Dunajec river, amphibole is also an index mineral of the first parent rock connected with the Tatra Mts., this mineral being namely very seldom found in the Flysch. Epidote is a characteristic heavy mineral of the Poprad stream (chart 9—10) with its source in the granitic part of the Tatra Mts. (see also figs. 2—4).

Another important conclusion based upon the mineral composition of the investigated sands concerns the stability of minerals in the fluvial environment, particularly that of feldspars and heavy minerals. The feldspars belong here mainly to plagioclases; during transport these easily split into small laths and, together with clay particles, are partly transferred into a suspension that suffers farther transport. Therefore, the feldspars percent of the investigated sands is not very high in spite of their abundance in the crystalline Tatra rocks. The freshness of these feldspars, however, and the constancy of their downstream amount proves their chemical stability during transport. Similar conclusions concern the predominance in the heavy fraction of such minerals, as amphibole, garnet and epidote. According to the scheme of Ruchin (1953) and Twenhofel (1950) amphibole is reckoned among unstable or metastable minerals. L. Dryden and C. Dryden (1946) presented a similar conclusion, but their observations concerned only the influence of weathering on mineral stability with elimination of the transporting agents. On the other hand the observations of Russel (1935) concerning the behaviour of amphiboles in sands of the Mississippi river, on a distance of 1100 miles, demonstrate that these minerals are stable during fluvial transport. The same remarks concern the behaviour of garnet in fragmental rocks. According to Friese (1931) this mineral is one of the most resistant against abrasive factors, but it is reckoned by L. Dryden and C. Dryden among minerals unstable during weathering processes.

Observations concerning the behaviour of amphibole and garnet in sands of the Dunajec and its tributaries prove the stability of both minerals during fluvial transport.

The writer gives, moreover, a contribution to the problem of changes in the garnet-to-amphibole-ratio in connection with the grain size decrease. Results of investigations in this matter often disagree. According to M. Turnau-Morawska (1952) the amount of amphibole in relation to garnet increases downstream (figs. 2 and 3) which is connected with the decrease of grain size of the deposit. This is in accordance with the investigations of Rittenhouse (1943) concerning the influence of shape on the variability of mineral proportions in the different size grades of the sand. Opposite conclusions result, however, from the observations of Burri (1929) concerning the deposits of the Ticino river, and also from the investigations of the writer presented in this paper. The amount of garnet increases and that of amphibole decreases downstream. In the case of Dunajec and its tributaries these discrepancies result from contamination with Flysch sediments rich in garnet, whereas no new source of amphibole rocks is available downstream.

The problem of stability of epidote (fig. 4), an important source index of the investigated sands — has received less attention in comparison with some other heavy minerals. In the scheme of Ruchin and Twenhofel epidote has its position among metastable minerals. However, Friese considers epidote as a mineral resistant against abrasive factors, which coincides with the investigation results of the writer.

On the basis of her textural analyses of the investigated fluvial sands the

writer concludes that the size frequency distribution, the mean diameter and the coefficient of sorting depend to a greater extent on the composition and texture of the parent rock than on the abrasive factors. The increase of coarser grain sizes in the sand is mostly connected with granite pebbles as the source rocks of the sand, whereas the occurrence of finer deposits is mostly related to an intense crushing of Flysch sandstones or siltstones. These processes are reflected in rather irregular changes in the mean diameter and coefficient of sorting along the stream valley.

In spite of many complicating factors that accompany the deposition of the investigated sands one may observe distinct differences in the work pattern of every one of the studied streams. These differences are related to their various gradient, strength and velocity of current. In streams of low gradient selective transport is very intense and the abrasive action of the current is less important. Streams of high gradient produce an intense wear but selective transport is of smaller importance. The differences in the work pattern of the streams are reflected in the mineral composition as well as in the texture of the sand. The conclusions obtained in this matter agree with the writer's previous investigations concerning the gravels of the Dumajec river and some of its tributaries (Nawara 1964).

*Muzeum Ziemi — Museum of the Earth
of the Polish Academy of Sciences
Warszawa, Al. Na Skarpie 20/26*

and

*Institute of Petrography of Sedimentary Rocks
of the Warsaw University
Warszawa 22, Al. Żwirki i Wigury 6
Warsaw, July 1964*
