

ANDRZEJ ŁUSZCZKIEWICZ\*, ANTONI MUSZER\*\*

## **ZŁOTO ZE ZŁOŻA KRUSZYW NATURALNYCH RAKOWICE KOŁO LWÓWKA ŚLĄSKIEGO**

W pracy badano właściwości mineralogiczne ziarn złota rodzimego, wydzielonych z drobnodziarnistych odpadów z płukania żwirów i piasków w żwirowni Rakowice koło Lwówka Śląskiego na Dolnym Śląsku. Materiał rozsypiskowy przerabiany w tym zakładzie związany jest z osadami czwartorzędowymi doliny rzeki Bóbr. Odpady z płukania kruszyw poddano wzbogacaniu grawitacyjnemu na stole koncentracyjnym wydzielając koncentrat minerałów ciężkich, który doczyszczano w urządzeniu „makropanner”, wydzielając koncentrat złota. Stwierdzono, że w badanym materiale obecne są trzy rodzaje ziarn złota różniące się własnościami optycznymi i zawartością srebra oraz elektrum. Fakty te świadczą o złożonym pochodzeniu materiału rozsypiskowego a dla części ziarn złota, o krótkiej drodze ich transportu od skał macierzystych do miejsca zdeponowania.

### **WSTĘP**

Żwirownia w rejonie Rakowic Wielkich koło Lwówka Śląskiego należy do największych kopalń kruszyw naturalnych w Polsce. Znajduje się ona na rozpoznanym i udokumentowanym obszarze doliny rzeki Bóbr, pomiędzy Olszną i Lwówkiem Śląskim (mapa rys. 1). Układ wydobywczo-przeróbczy tej kopalni obejmuje typowe, powszechnie stosowane w świecie, w żwirowniach o wielkiej wydajności, rozwiązania. Na rys. 2 pokazano ogólny schemat takiego układu. Materiał wydobywany metodą podwodną kierowany jest do zakładu przeróbczego, gdzie poddawany jest klasyfikacji ziarnowej, z której otrzymuje się handlowe sortymenty żwirów i piasków płukanych oraz drobnodziarnisty odpad kierowany do osadnika mułów (stawu osadowego).

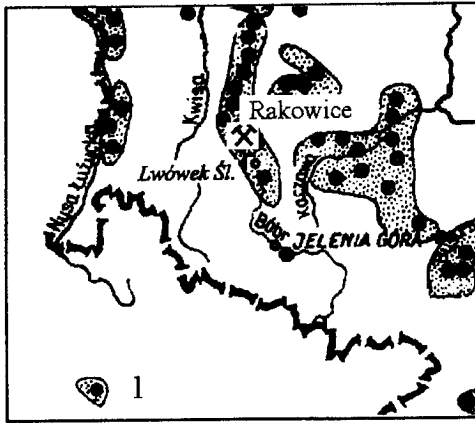
Złoże eksploatowane w Rakowicach należy do holocenijskich złóż osadowych związanych ze środkowym biegiem Bobru i składa się z typowych osadów żwirowych i żwirowo-piaszczystych o niskim punkcie piaskowym, wahającym się od 30 do 40 % zawartości klas ziarnowych 0-2.5 mm (Siliwończuk 1974). Materiał skalny

---

\* Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, Zakład Przeróbki Kopalin i Odpadów, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: andrew@ig.pwr.wroc.pl

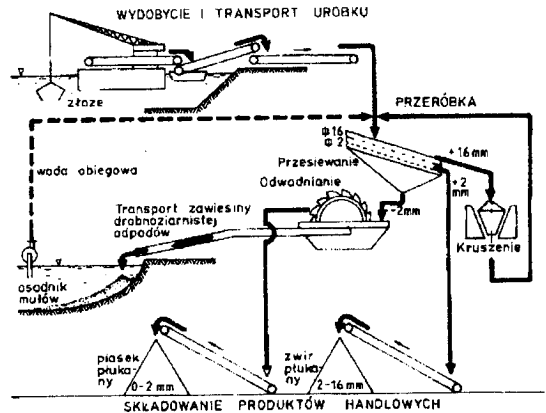
\*\* Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Geologii i Dokumentowania Złóż, Pl. Maxa Borna 9, 50-204 Wrocław, e-mail: amus@ing.uni.wroc.pl

wchodzący w skład kruszywa, według Grocholskiego i Milewicz (1958), pochodzi w głównej mierze ze skał sudeckich a w pewnej części zanieczyszczony jest materiałem skandynawskim.



Rys. 1. Fragment mapy występowania kruszywa naturalnego w południowo-zachodniej Polsce (wg Siliwończuka 1974). 1 – złoża udokumentowane

Fig. 1. Location of gravel deposits in SW Poland and Bobr valley after Siliwończuk (1974)



Rys. 2. Schemat typowego układu technologicznego kopalni i zakładu przerobczego kruszywa naturalnego (ziwiwni)

Fig. 2. Typical flow-sheet of sand and gravel operations

Przedmiotem rozważań tej pracy jest materiał z osadnika mułów odpadowych zrzuconych z zakładu płukania żwirów w Rakowicach. Materiał ten był przedmiotem wcześniejszych badań mających na celu ocenę składu zawartych w nim minerałów ciężkich (Łuszczkiewicz 1988 i 1990). Badania te obejmowały między innymi próby wzbogacania grawitacyjnego, w trakcie których wydzielono jako jeden z produktów koncentrat wzbogacony w złoto. Opis właściwości mineralogiczno-chemicznych tego złota jest celem niniejszej pracy.

Obecność złota w dolinie Bobru w okolicach Lwówka Śląskiego opisuje Grodzicki (1972). Autor ten uważa, że omawiany rejon odgrywał dominującą rolę w historii wydobycia złota na Dolnym Śląsku. Stwierdza on także, że tamtejsze piaski i żwiry złotonosne są prawdopodobnie związane genetycznie z blokiem karkonoskoizerskim (Grodzicki 1979) oraz podaje za Schumacherem (1924), że w obszarze na północ od Lwówka Śląskiego, zawartości złota w żwirach wahają się w granicach 0.1-0.2 g/Mg (1g/Mg=1ppm) osiągając maksymalne wartości dochodzące do 15 g/Mg. Obecność złota w osadach doliny rzeki Bóbr potwierdza Wojciechowski (1993a), szacując jednak przeciętne zawartości złota w osadach żwirowo-piaszczystych z tego obszaru na 20 do 60 mg/m<sup>3</sup> materiału, co przy założeniu, że masa 1m<sup>3</sup> mieszanki żwirowo-piaszczystej wynosi 1,6 Mg, daje zawartość od 0.01 do 0.04 g/Mg. Są to

zatem wartości o rząd mniejsze od tych, które podawał Grodzicki. W innych pracach Wojciechowskiego (1993b,1994), sygnalizowana jest obecność złota w odpadach z płukania żwirów w zakładzie przeróbki kruszyw naturalnych w Rakowicach. Autor ten podał, że w materiale złożowym przeciętna zawartość złota wynosi 20 mg/Mg a odpadach z płukania żwirów w zakładzie przeróbczym, zawartość tego metalu wynosi 7.7 mg/m<sup>3</sup>. Ta ostatnia wartość, przy założeniu, że masa 1m<sup>3</sup> piasku wynosi 1.6 Mg, odpowiada zawartości 0.005 g/Mg. Oszacowane na tej podstawie zasoby złota w zgromadzonych już w osadniku odpadach, autor ten określił na 16 kg a w całym złożu na około 226 do 376 kg.

## MATERIAŁY, METODYKA I APARATURA

Materiałem do badań był piasek pobrany w wielu punktach plaży osadnika, w którym gromadzone są drobnoziarniste odpady powstające w trakcie odmywania żwiru i piasku budowlanego, wydobywanego ze złoża w Rakowicach. Próbkę pobierano w kilkunastu miejscach plaży od powierzchni do głębokości około 0.4 m, w siatce około 15x15 m, symetrycznie (na lewo i prawo) do końcówki rurociągu wylelowego odpadów. W stosowanej w zakładzie przeróbczym w Rakowicach technologii, badany materiał (w postaci zawiesiny), jako przelew z kubełkowego odwadniacza piasku handlowego, odprowadzany jest do osadnika rurociągiem zrzutowym (jak na rys. 2). Materiał ten składa się głównie z drobnoziarnistego piasku kwarcowego oraz iłów i zawiera przeciętnie około 60-70% ziarn mniejszych od 0.5 mm.

Pobrany materiał w ilości około 100 kg przesiano przez sito o średnicy oczek 0.5 mm i wydzieloną klasę ziarnową >0.5 mm, zawierającą głównie okruchy skalne odrzucono. Materiał <0.5 mm poddano wzbogacaniu grawitacyjnemu na laboratoryjnym stole koncentracyjnym typu Wilfley produkcji brytyjskiej firmy Denver. Stół koncentracyjny wyposażony był w blat tzw. szlamowy o powierzchni 0.7 m<sup>2</sup>. Wydzielony w trakcie tej operacji koncentrat grawitacyjny poddano na tym samym urządzeniu powtórnemu wzbogacaniu (operacjom czyszczącym z zawrotami półproduktów), w trakcie którego wydzielono koncentrat minerałów ciężkich (KMC) wzbogacony w złoto (Łuszczkiewicz 1999). Koncentrat ten poddano dalszej separacji grawitacyjnej w laboratoryjnym urządzeniu „Macropanner” produkcji brytyjskiej firmy Chas. W. Cook & Sons Ltd. W tym mechanicznym urządzeniu możliwy jest precyzyjny rozdział minerałów według ich gęstości w płytkim strumieniu wody. Otrzymano w ten sposób niemal monomineralny koncentrat złota (KMZ). Produkty końcowe wzbogacania na stole koncentracyjnym, poddano analizom chemicznym z oznaczeniem głównych składników i złota. Złoto oznaczano w Laboratorium Zakładu Doświadczalnego KGHM Polska Miedź S.A. metodą ICP. Koncentratu złota (KMZ) nie analizowano chemicznie natomiast badano go mikroskopowo.

Z próbek obu wydzielonych koncentratów (KMC i KMZ) wykonano preparaty polerowane do badań mikroskopowych. Polerowanie przeprowadzono na standardowych podkładach DP-Dur, DP-Mol i DP-Nap firmy „Struers”, przy zastosowaniu odpowiednich past diamentowych o określonej granulacji dla podkładów polerczych. Etap końcowy polerowania wykonano na podkładach OP-Chem, z zastosowaniem zawiesiny OP-U Suspension, przeznaczonej do finalnego polerowania metali oraz minerałów rudnych. Próbkę koncentratów poddano kompleksowym badaniom makroskopowym i mikroskopowym, tj. pod mikroskopem stereoskopowym (SMZ-2B firmy Nikon) oraz mikroskopem do światła odbitego i przechodzącego (Optiphot 2-Pol firmy Nikon). Badania składu pierwiastkowego minerałów kruszcowych oraz skałotwórczych wykonano na mikroskopie skaningowym SEM-515 zaopatrzonym w przystawkę do analizy widma rentgenowskiego i program EDAX. Badania te przeprowadzono w Instytucie Niskich Temperatur PAN we Wrocławiu.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

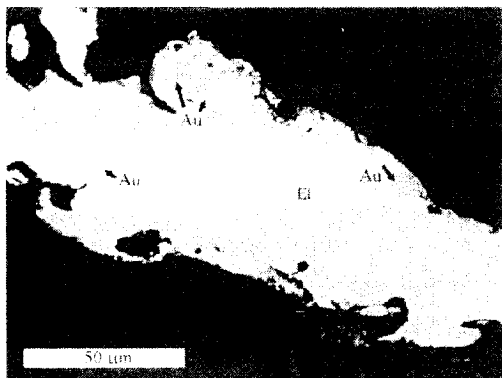
Wydzielony na stole koncentracyjnym koncentrat minerałów ciężkich (KMC), według oznaczeń chemicznych zawierał 24 g/Mg złota. Natomiast ocena mikroskopowa koncentratu KMZ wykazała, że ponad 90% jego składu objętościowego stanowiły ziarna i blaszki minerałów złota (złoto rodzime, elektrum). Chemicznie oznaczona zawartość złota w koncentracie KMC po uwzględnieniu bilansu masowego odsiewania klasy ziarnowej  $>0.5$  mm i bilansu wzbogacania, daje ilości złota w strumieniu odpadów z płukania żwirów, kilkadziesiąt razy wyższe niż te, które oszacował Wojciechowski (1993b i 1994). Tak poważne rozbieżności w ocenach są zapewne wynikiem różnych metod określania zawartości złota. Do określania zawartości złota w materiale okrucowym, Wojciechowski posługuje się metodą panwiową, która swym subiektywnym i orientacyjnym charakterem jest nieporównywalnie mniej dokładna od stosowanej w niniejszej pracy dokładnej i obiektywnej metody wzbogacania na stole koncentracyjnym oraz analityki chemicznej umożliwiającej pełne i jednoznaczne zbilansowanie rozdzielanych składników. Określone przez autorów tej pracy zawartości złota w badanym materiale bardziej korelują z cytowanymi wcześniej, danymi Grodzickiego. Szacowane przez Wojciechowskiego (1993b) zawartości złota na  $7.7 \text{ mg/m}^3$  drobnoziarnistych odpadów z płukania żwirów w Rakowicach, oraz na  $20 \text{ mg/m}^3$  materiału złożowego, są ze sobą sprzeczne z założeniami. Jest bowiem oczywistym, że proces płukania żwirów i piasków jest także procesem wzbogacania złota, które musi koncentrować się właśnie w odpadach z płukania, a zatem jego zawartość powinna być wyższa w odpadach i niższa w materiale złożowym. Zawartość złota  $7.7 \text{ mg/m}^3 = 0.005 \text{ ppm}$  i odpowiada, według Polańskiego (1988), klarkowi złota w skorupie ziemskiej.

W badanych koncentratkach występują ziarna minerałów, charakterystycznych dla złóż typu rozsypiskowego. Głównym składnikiem koncentratu minerałów ciężkich (KMC) jest magnetyt, tytanomagnetyt i ilmenit. Ponadto w opisywanym koncentracie stwierdzono obecność ziarn kasyterytu, cyrkonu, monacytu, niobitu, scheelitu, oliwinów, hematytu, martytu, pirytu, goethytu, trzech faz złota rodzimego oraz elektrum.

Wszystkie ziarna minerałów ciężkich obecnych w koncentracie wykazują ślady obtoczenia kryształów. Tlenki żelaza i tytanu (magnetyt, tytanomagnetyt, ilmenit) występują w formie kryształów lub hipautomorficznych ziarn często wykazujących struktury powstałe z rozpadu roztworów stałych. Hematyt rzadko obserwowany jest w postaci osobnych hipauto- i ksenomorficznych ziarn. Najczęściej tworzy struktury siatkowe z magnetytem lub emulsyjno-soczewkowe z ilmenitem. Pozostałe minerały ciężkie najczęściej występują w formie kryształów o zaokrąglonych krawędziach. Piryt występuje jedynie w formie reliktyw w goethycie. Wielkość pseudomorfoz goethytu po sześcianach pirytowych nie przekracza 0.3 mm średnicy.

Minerały złota, tj. złoto rodzime i elektrum, charakteryzują się podobnymi rozmiarami. Obydwa kruszce najczęściej tworzą blaszki o rozmiarach nie przekraczających 0.6 mm długości i szerokości oraz grubości maksymalnie do 0.1 mm. Ponadto spotykane są także drobne ziarna o nieforemnych kształtach nie przekraczających 0.3 mm średnicy. Większość z nich ma zaokrąglone brzegi oraz liczne zatoki i drobne szczelinki.

W koncentracie złota (KMZ) stwierdzono obecność trzech rodzajów ziarn i blaszek złota rodzimego, różniące się zdolnością refleksyjną, barwą w świetle odbitym oraz zawartością Ag. Ponadto niektóre fazy złota występują wspólnie w obrębie jednego ziarna np. drobne ziarna złota rodzimego w blaszce elektrum co pokazano na fotografii na rys. 3.



Rys. 3. Nieforemna blaszka elektrum (AuAg) z drobnymi ziarnami złota rodzimego. Światło odbite, bez analizatora. El- elektrum, Au- złoto rodzime

Fig. 3. Fine native gold (Au)(see arrows) locked in a electrum particle (El) selected form gravity concentrate

Poszczególne fazy złota różnią się barwą obserwowaną w świetle odbitym. Złoto rodzime charakteryzuje się barwą intensywnie żółtą, żółtą z odcieniem różowym oraz biało-żółtą. Analiza zawartości pierwiastków wykazała, że pierwszy typ złota zawiera około 8% wagowych Ag, natomiast drugi zawiera nie więcej niż 0.5% wagowych Ag.

Trzecia faza złota, charakteryzująca się barwą białozłotą, zawiera około 30% wagowych Ag.

Natomiast elektrum spotykane jest zarówno w formie oddzielnych blaszek jak również w postaci powłok na złocie rodzimym. W niektórych ziarnach obserwuje się palczaste zazębienie się elektrum ze złotem rodzimym. Zawartość Ag w ziarnach i blaszkach elektrum waha się od 43 do 50% wagowych.

Opisane właściwości wydzielonych ziaren złota mogą dostarczyć pewnych informacji o jego pochodzeniu. Według Polańskiego (1988), złoto aluwialne zawiera mniej srebra niż złoto z pierwotnych złóż macierzystych. Im dłuższa była droga transportu, uwolnionych w trakcie wietrzenia skał macierzystych, ziarn złota, w czasie którego zwykle dochodzi do samooczyszczania się złota z domieszek, zwłaszcza srebra, tym mniej tego srebra jest w nim zawarte. Obecność w badanym materiale ziarn zarówno elektrum jak i ziarn silnie zubożonych w srebro świadczyć może o zróżnicowanym pochodzeniu złota z Rakowic, a generalnie, dla części jego ziarn, dowodzić może niezbyt długiej drogi ich transportu. Podobne zjawisko występowania obwódek wzbogacenia w złoto wskazujące na samooczyszczanie się części ziarn złota rodzimego w osadach aluwialnych Kaczawy, z rejonu Złotoryji, stwierdzili Banaś i inni (1985). W cytowanej pracy autorzy potwierdzili także fakt braku objawów wylugowania srebra w ziarnach złota okruchowego z Wądroża Wielkiego, których źródłem (skałami macierzystymi) są miejscowe żyły kwarcowe i kwarcowo-pyrytowe przecinające formacje granitognejsów i łupków metamorficznych.

## PODSUMOWANIE

Stwierdzone przez autorów zawartości złota w badanym materiale korelują z cytowanymi danymi Grodzickiego (1972). Oszacowane zawartości złota na podstawie bilansów operacji odsiewania i wzbogacania materiału pobranego z powierzchniowych warstw osadnika odpadów po płukaniu kruszyw w Rakowicach mogą sugerować, że w zgromadzonych odpadach ilości tego metalu są wielokrotnie większe niż oszacowane na poziomie 0.005 ppm przez Wojciechowskiego (1993a, 1993b i 1994).

Według Grodzickiego (1979) piaski i żwirzy złotonośne okolic Lwówka są genetycznie związane z blokiem karkonosko-izerskim, a ich obecność w żwirach plejstocenijskich i w holocenijskich osadach aluwialnych jest wynikiem rozmycia starszych, trzeciorzędowych osadów złotonośnych. Właściwości złota zauważone w tej pracy, pogląd ten, w odniesieniu do złota, mogą czynić dyskusyjnym.

Obecność różnych faz mineralnych złota, różniących się zarówno barwą w świetle odbitym, jak również zawartością Ag, może świadczyć o złożonym charakterze osadu rzecznej doliny Bobru. W niektórych ziarnach złota z Rakowic obserwuje się większą zawartość Ag w środku blaszek, jak również powłoki elektrum na złocie rodzimym. To pierwsze według Polańskiego (1988), wskazuje na samooczyszczenie

się złota, co ma na ogół miejsce w trakcie długiego transportu wodnego. Jednakże obecność w badanym materiale ziarn elektrum nie wykazujących objawów wyługowania srebra może świadczyć o krótkim ich transporcie. Należy więc przyjąć, że ziarna złota mają różną genezę i mogą pochodzić z różnych źródeł. Minerale złota (złoto rodzime, elektrum) stwierdzone w Rakowicach mogą pochodzić zarówno z obszaru zlewni Bobru jak i z osadów fluwioglacjalnych lub preglacjalnych ostatnich zlodowaceń, na co może wskazywać materiał skandynawski stwierdzony w żwirach z Rakowic przez Grocholskiego i Milewicza (1958).

## LITERATURA

- BANAŚ J., GRODZICKI A., SALAMON W., 1985, *Mineralogic-geochemical characterization of detrital native gold from the vicinity of Zlotoryja and Wadroze Wielkie, Lower Silesia, SW Poland*, Mineralogia Polonica, vol. 16, No. 1, 97-114.
- GROCHOLSKI A., MILEWICZ J., 1958, *Morfologia i rozwój doliny Bobru między Lwówkiem Śląskim a Bolesławcem*, Instytut Geologiczny, Biuletyn nr 129, Z badań geologicznych na Dolnym Śląsku. t. IV, 111-147.
- GRODZICKI A., 1972, *Petrografia i mineralogia piasków złotonośnych Dolnego Śląska*, Geologia Sudetica, vol. IV, 233-291.
- GRODZICKI A., 1979, *Złoto*. W: Surowce mineralne Dolnego Śląska, Praca zbiorowa pod red. K. Dziedzica, S. Kozłowskiego, A. Majerowicza. i L. Sawickiego, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, PAN, Wrocław, 165-173.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1988, *Odpady z płukania żwirów jako znaczące źródło minerałów ciężkich*. Mat. Symp. Optymalizacja Wykorzystania Surowców Mineralnych w Procesach Przeróbki i Przetwórstwa. Centrum Podst. Probl. Gosp. Sur. Mineral. i Energią, PAN, Kraków, 154-165.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1990, *Minerale ciężkie w żwirach i piaskach eksploatowanych na Dolnym Śląsku*. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 23, 27-39.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1999, *Minerale ciężkie ze złożeń Rakowice na Dolnym Śląsku*. Artykuł przygotowany do druku.
- POLANSKI A., 1988, *Geochemia i surowce mineralne*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, 349-354.
- SCHUMACHER F., 1924, *Die Goldvorkommen der Gegent von Löwenberg in Niederschlesien*, Zeitschrift für prakt. Geologie, No. 32, 6-11. Cytat z pracy: Grodzicki A., 1972
- SILIWOŃCZUK Z., 1974, *Atlas litologiczno-surowcowy Polski. I: Surowce okrucowe, 3. Kruszywa naturalne*, Warszawa
- WOJCIECHOWSKI A., 1993a, *Okrucowe złożeń złota w dorzeczu środkowego Bobru*. Posiedzenia Naukowe Państwowego Instytutu Geologicznego, Nr 49 (1), Wydawn. Państw. Inst. Geolog., Warszawa, 13-14

- WOJCIECHOWSKI A., 1993b, *Uboczne pozyskiwanie złota okruchowego ze złoża kruszywa naturalnego Rakowice*, Posiedzenia Naukowe Państwowego Instytutu Geologicznego, Nr 49 (1), Wydawn. Państw. Inst. Geolog., Warszawa, 21-22
- WOJCIECHOWSKI A., 1994, *Rozpoznanie i dokumentowanie zasobów złota w osadnikach szlamów arsenowych i odpadów poeksploatacyjnych kopalń kruszywa naturalnego*, Górnictwo Odkrywkowe, vol. XXXVI, Nr 6, 99-111.

**Łuszczkiewicz A., Muszer A.**, Gold from Rakowice placer deposit near Lwówek Śląski, SW Poland, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 33 (1999), 99-106, (Polish text)

Mineralogical property of placer gold present in tailings of sand and gravel operations in the Rakowice Plant (next to Lwówek Śląski, SW Poland) was investigated. The placer material treated in this plant is mined at a Quaternary alluvial deposit of the Bobr river valley. The tailings, produced during sand and gravel sieving and washing, form fine sandy slurry and are directed to a settling pond. A sample of the tailings was upgraded by tabling to produce concentrate of heavy minerals. It was found that heavy minerals from the tailings consist chiefly of magnetite, ilmenite, titanomagnetite, hematite as well as small amount of zircon, monazite, niobite, and gold. The concentrate was separated by panning using "Macropanner" device to recover a gold concentrate. The presence of electrum grains and three kind of gold particles having differential optical characteristics and silver content were noticed in the concentrate. It points to a complex origin of the placer material and rather short way of transportation of most of gold grains from the matrix rock to the deposition place.