

Orogeniczne żyłowe złoża złota i ich rozsypiska a największe światowe gorączki złota w drugiej połowie XIX wieku w Ameryce i Australii

Stanisław Z. Mikulski¹



S.Z. Mikulski

Orogenic lode gold deposits and placers and the world's largest Gold Rushes in the second half of 19th century in America and Australia. Prz. Geol., 57: 1048–1056.

A b s t r a c t. The paper presents geological, ore-mineralogical and economic characteristics of the goldfields in the Western USA (California and Yukon) and Australia (Bendigo-Ballart and Kalgoorlie regions). Moreover, common geological features of these areas, which were the place of modern Gold Rushes from the second half of 19th c. to the beginning of 20th c. are also described. Thanks to discovery of gold, these inhabited areas became the land of promise for millions of people and gold production contributed to economy of the fast growing nations. The first period of Gold Rushes began in California (USA) and Bendigo-Ballart region in Victoria (Australia) in 1848 and 1851, respectively. Placer gold was discovered first in Cenozoic alluvial sediments and subsequently in auriferous quartz lodes, which were the source of detrital gold. The detrital sediments appeared extremely rich in gold nuggets. The biggest nuggets, ca. 65.2 and 24.5 kg in weight, have been found in Bendigo and California, respectively.

Placer gold production during the Gold Rush in California from 1848 to 1864 is estimated at ca. 1300 Mg Au. Since 1850, prospectors begun to discover numerous gold-bearing quartz veins (Mother Lode system) along the Sierra Nevada in California. These auriferous lodes gave over 1100 Mg of gold. In Bendigo-Ballart goldfields about 480 Mg of gold was extracted from placers and 260 Mg gold – from auriferous quartz veins in the years 1851–1861. The second period of modern Gold Rushes took place again in America (Yukon) in 1896 and in the Western Australia (Kalgoorlie) in 1893. In Yukon, gold was mainly extracted from Cenozoic river's gravels (> 311 Mg) and in Kalgoorlie – mainly from auriferous quartz-carbonate lodes. Some of goldfields with auriferous lodes discovered in 19th c. are still in production. Best example is here the Kalgoorlie deposit that became recently the 3rd largest world producer of gold (> 1600 Mg Au). Gold production from lodes in California, Bendigo-Ballart and Kalgoorlie is roughly estimated at > 4000 Mg. Gold-bearing lodes formed as results of migration of fluids of various origin and gold precipitation in the upper crust within post-collisional tectonic settings. These lodes belong to orogenic type of gold deposits hosted by greenstone schist belts in metamorphic terranes of various age. Primary gold is bound mostly by auriferous sulphides – arsenopyrite and pyrite and as native gold which infills fractures in quartz and breccias. In California, Yukon and Victoria, rich placers were formed in the Cenozoic during exhumation of metamorphic terranes hosting auriferous gold lodes.

Keywords: gold, placer, orogenic lode, gold rush

Historia wydobywania złota liczy ponad 6 tys. lat. Najstarsze złote naszyjniki oraz bransolety wykopano na terenach dawnej Tracji – obecnie w Bułgarii (Renfrew i in., 1980). W okolicach Warny znaleziono ponad 200 wyrobów ze złota o łącznej wadze ok. 5,5 kg. Na podstawie datowania metodą ¹⁴C substancji organicznych ze znalezionej skałki tych wyrobów oceniono na 6,6–6,2 tys. lat (Renfrew i in., 1980).

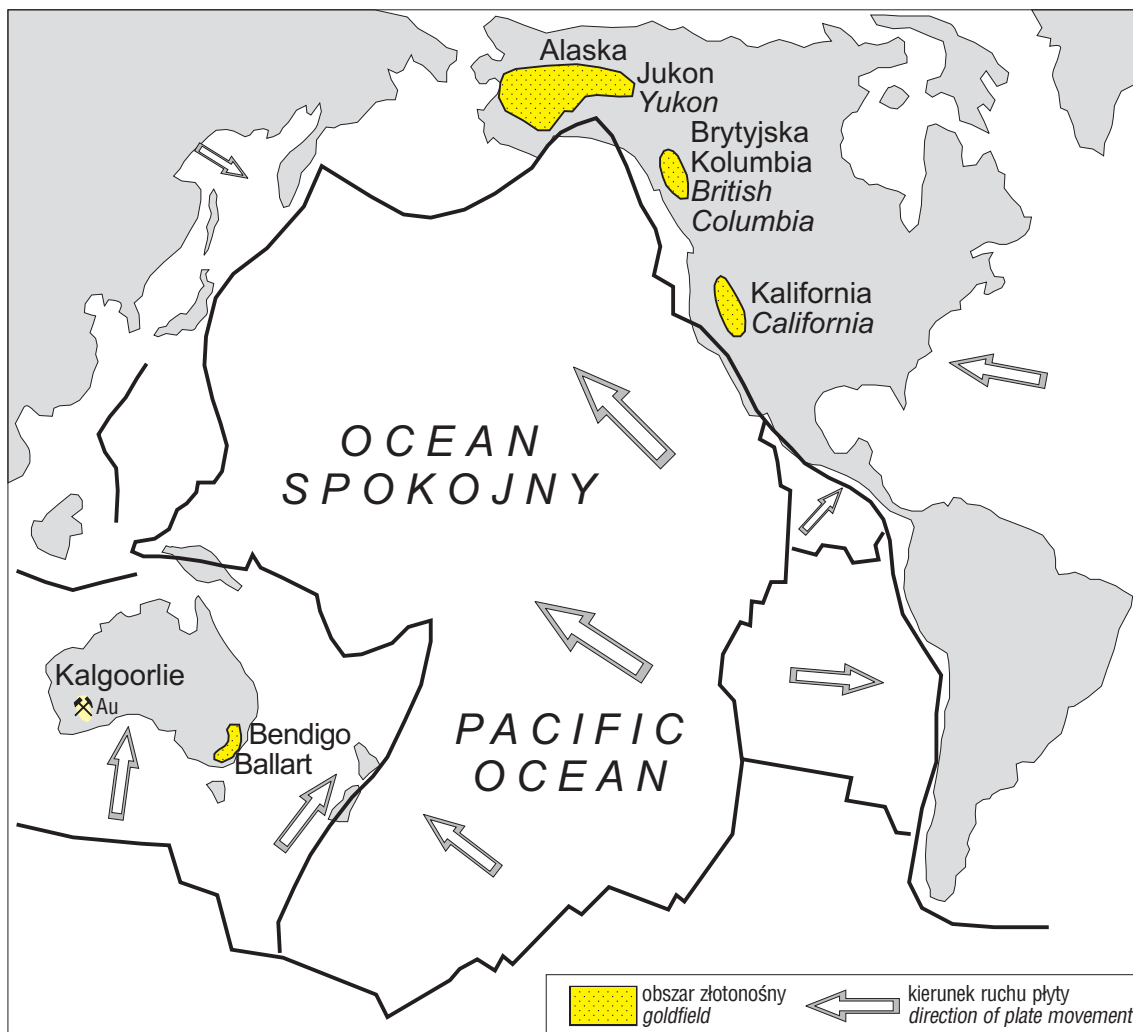
Pierwszy intensywny okres eksploatacji złota rozpoczął się w starożytnym Egipcie. Ocenia się, że w czasach faraonów niewolnicy wydobyli ok. 10 tys. Mg złota – najpierw z aluwii, a potem również z prekambryjskich żył kwarcowych, tnących pas zieleńcowy na Pustyni Nubijskiej (Botros, 2004). Podbój Ameryki rozpoczął okres eksploatacji złotonośnych żwirów u podnóży Andów w Kolumbii i Peru (Brown, 1998). Jednak dopiero odkrycie samorodków złota w Kalifornii w 1849 r. zapoczątkowało pierwszą ogólnoswiatową gorączkę złota (ang. *Gold Rush*), najpierw w samej Kalifornii, a zaraz potem również we wschodniej Australii. Po wyczerpaniu łatwo dostępnych zasobów złota samodzielnych poszukiwaczy zastąpił nowoczesny przemysł wydobywczy. W końcu XIX stulecia historia powtórzyła się i kolejna generacja poszukiwaczy złota rozpoczęła ogólnoswiatową wędrówkę ku zamrażanym terenom Alaski oraz gorącym pustyniom Zachodniej Australii (ryc. 1).

Romantyczna gorączka złota — Kalifornia rok 1848

Hiszpanie dotarli do Kalifornii w 1533 r., jednak nie znaleźli tam złota i uważali ten obszar za bezużyteczny. Gdy na samym początku 1848 r. władze Meksyku sprzedawały Kalifornię Ameryce, nie wiedziały, że mogą być tam jakieś bogactwa. Jednak już 24 stycznia 1848 r. James Marshall odkrył w niej złoto podczas budowy tartaku dla Johna Suttera w Colomie, zlokalizowanej ok. 50 km na wschód od San Francisco (California's..., 2009). Rozpoczęła się wówczas pierwsza w dziejach ludzkości ogólnoswiatowa gorączka złota. Gazety donosiły o górach ze złota. Aby zdobyć fortunę, należało tylko być pierwszym w Kalifornii i opalikować swoją złotonośną działkę. *Californian* z 29 maja 1848 r. donosił: *Wszyscy wyjeżdżają. Opuszczają nas czytelnicy i drukarze. Od San Francisco do Los Angeles, od morza po stoki Sierra Nevada, zewsząd słychać krzyk: złoto! złoto!* Na pierwszych stronach gazet codziennych w Nowym Jorku zamieszczano relacje i mapy obszarów złotonośnych. Kto miał choć trochę odwagi, ruszał wraz z najbliższymi do Kalifornii, aby zmienić swój los.

Rozpętanie gorączki złota spowodowało niespotykaną w tamtym czasie migrację ludności (Mitchell & Richardson, 2000). W latach 1848–1850 liczba mieszkańców w stanie Kalifornia osiągnęła 400 000. Trudno było sobie wyobrazić szybszy sposób zasiedlania nowych i bardzo odległych ziem. Wieść o złocie Kalifornii dotarła również do Europy, z której setki tysięcy ludzi wyruszyły po złoto do Ameryki. We Francji zorganizowano nawet specjalną

¹Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; stanislaw.mikulski@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Lokalizacja gigantycznych, rozsypiskowych złóż złota, których odkrycie spowodowało w drugiej połowie XIX w. gorączkę złota, na tle kierunku ruchu płyt pacyficznych (wg Evansa, 1993 — zmodyfikowane)

Fig. 1. Location of giant placer goldfields being places of the Gold Rushes in the second half of 19th c. at the background of the Pacific's plate movements modified from Evans (1993)

loterię państwową, aby 5 tysiącom szczęśliwców zafundować bilet do San Francisco (Le Bris, 1994). Najtańsza droga morska z Europy wiodła przez przylądek Horn i trwała 6 miesięcy (w 1849 r. pokonało ją 16 tys. osób). Inna droga, krótsza, ale bardzo niebezpieczna, wiodła przez Panamę (6,5 tys. osób w 1849 r.). Poza okresem zimowym w grę wchodziła też trzecia droga — przez Wielkie Równiny. Wędrówka tą drogą trwała od 6 do 9 miesięcy. W 1849 r. odbyły ją ponad 32 tys. emigrantów (ok. 5 tys. Europejczyków), a w 1850 r. ponad 44 tys. (<http://www.museum-ca.org/goldrush>). Dużym problemem San Francisco były porzucone przez załogi statki, tarasujące wejście do portu. Do Kalifornii ściągnęły tysiące ludzi, którzy w pogoni za poprawą własnego losu zetknęli się zarówno z niebywałym okrucieństwem, jak i nieludzkim heroizmem.

Złoto odkryto w osadach jednego z dopływów rzeki o nazwie Ameryka na NE od San Francisco w Kalifornii. Jak się wkrótce okazało, występowało ono we wszystkich rzekach spływających z pasma Sierra Nevada do Doliny Kalifornijskiej. Najbardziej produktywny był pas szerokości 120 km i długości 320 km, który ciągnął się wzdłuż zachodnich stoków Sierra Nevada. W 1848 r. odkryto złoto w aluwialnych utworach czwartorzędowych, a w 1849 r.

również złoto okruchowe w paleogeńskich osadach rzecznych. Osady te zostały pokryte przez mioceńskie popioły i lawy wulkaniczne oraz wyniesione wskutek ruchów wypiętrzających łańcuch Gór Skalistych od 1,6 do 2,1 km powyżej współczesnych rozsypisk rzecznych, tj. powyżej 4 tys. m n.p.m. (ryc. 2).

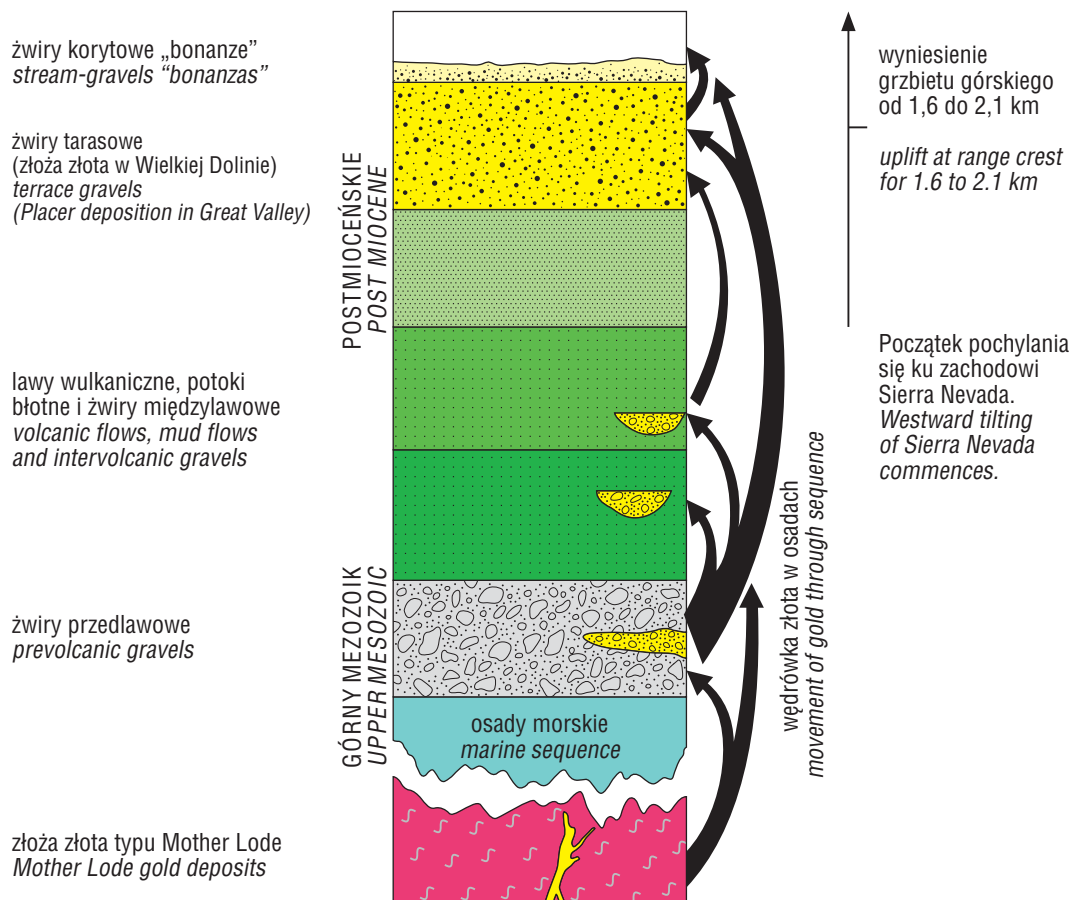
W początkowym okresie wydobywania złota z osadów rzecznych prace prowadzono ręcznie. Jednak wydobywanie złota okruchowego, zalegającego w złożach pod przykryciem twardych bazaltów, sprawiało ogromne trudności. Te kopalne złoża okruchowe były znacznie bogatsze od współczesnych rozsypisk. Od 1851 r. zaczęto urabiać twarde skały nadkładu oraz złotonośne żwiry za pomocą metod hydraulicznych. W efekcie ich zastosowania w latach 1851–1860 nastąpił bardzo wyraźny wzrost produkcji złota wtórnego (z 25 do 83 Mg/rok), co spowodowało, że w 1849 r. USA zostały największym producentem złota na świecie. W latach 1848–1857 średnia roczna produkcja złota w Kalifornii wynosiła ok. 76 Mg Au (Whaples, 2008). W 1854 r. znaleziono największą bryłę złota w Kalifornii, o wadze ok. 88,4 kg, a w 1859 r. największy samorodek złota, o wadze ok. 24,5 kg (California's..., 2009).

Zakończenie gorączki złota w Kalifornii nastąpiło w roku 1864, kiedy odsłaniające się na powierzchni osady rzeczne zostały całkowicie wyeksploatowane. Jednak urabianie hydrauliczne skał, będących głównym źródłem złota, prowadzono jeszcze przez 20 lat. Metody te powodowały dewastację środowiska oraz zamulenie Zatoki Kalifornijskiej. W 1884 r. wprowadzono zakaz urobku hydraulicznego, w wyniku czego produkcja złota okruczowego spadła do ok. 20 Mg/rok.

W 1850 r. w okolicach Nevada City znaleziono pierwsze żyłowe złożo złota (*Gold Hill*), które, jak przypuszczano, było jednym z wielu złóż źródłowych kalifornijskich rozsypisk złota. Później odkryto inne żyły oraz żyłę główną, nazwaną *Mother Lode* (*Żyła Matka* lub *Żyła Główna*). Mianem *lode* określano żyły nieregularne, najczęściej kwarcowe, o przerostach w skałach otaczających. Wkrótce okazało się, że *Żyła Matka* to nie jedna żyła, lecz ogromny system złotonośnych żył kwarcowych, ciągnący się w 3 pasach na stokach Sierra Nevada, wzdłuż kierunku NW-SE, na długości ponad 200 km i szerokości ok. 50 km. Długość poszczególnych żył rudnych po biegu i upadzie dochodziła do kilkuset metrów, wyjątkowo nawet do ponad 1 km, a ich grubość wynosiła od 0,5 do kilku lub kilkunastu metrów, najczęściej ok. 0,5–2 m. Żyły oraz rudonośne okruszcowanie zalegają w zmetamorfizowanym i sfaldowanym kompleksie skał paleozoicznych (karbon–perm) formacji

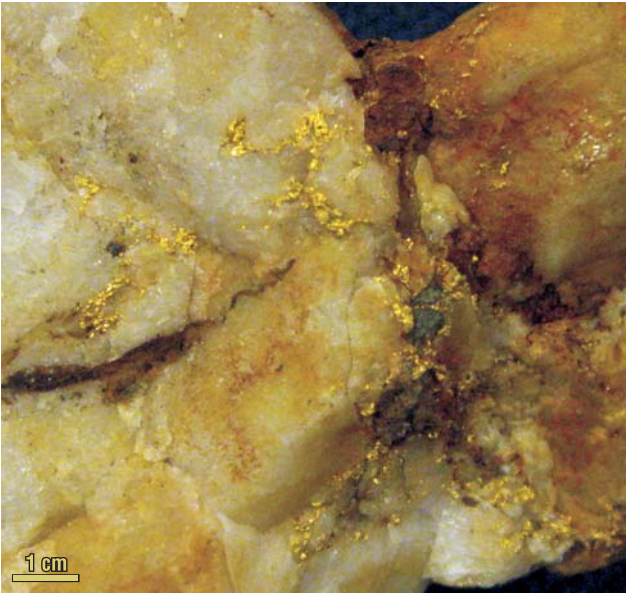
Calaveras (łupki: zieleńcowe, chlorytowe, łuszczkowe i grafitowe, zieleńce, amfibolity, hornfelsy i skały węglanowe), w jurajskiej formacji *Mariposa* (łupki, serpentynity, fyllity i zlepieńce) oraz w kredowych granitoidach (Boyle, 1979). Złotonośne ciała rudne występują głównie w żyłach zalegających w zrzuconych skrzydłach uskoku, w strefach ścinań oraz w brekcjach tektonicznych. Ponadto głównym żyłom kwarcowym towarzyszą mniejsze żyły, które tworzą systemy różnie zorientowanych i zapadających złotonośnych żyłek kwarcowo-węglanowych. Są one wzajemnie poprzecinane w obrębie stref dyslokacyjnych.

W żyłach gruboziarnistego białego kwarcu oprócz złota rodzimego występują: ankeryt, kalcyt, piryt, arsenopiryt, galena, sfaleryt, chalkopiryt, tetraedryt, scheelit, molibdenit, minerały srebra oraz tellurki. Również skały otaczające są okruszczone siarczkami, głównie zieleńce i serpentynity, które wykazują ślady intensywnej karbonatyzacji, pirytyzacji i serycytyzacji. Średnia zawartość złota w żyłach mlecznego kwarcu wynosiła około 10,5 g/Mg, a średnia proporcja Au do Ag ok. 10 (Boyle, 1979). Złoto rodzime występuje tu głównie w formie drobnoziarnistej (ang. *fine-grained gold*), w złotonośnych siarczkach — w pirycie i arsenopirycie (ang. *refractory gold*), lub w postaci mikroziarenek (ang. *microscopic gold*), wrostków i inkluzji (ang. *gold inserts and inclusions*) w innych minerałach.



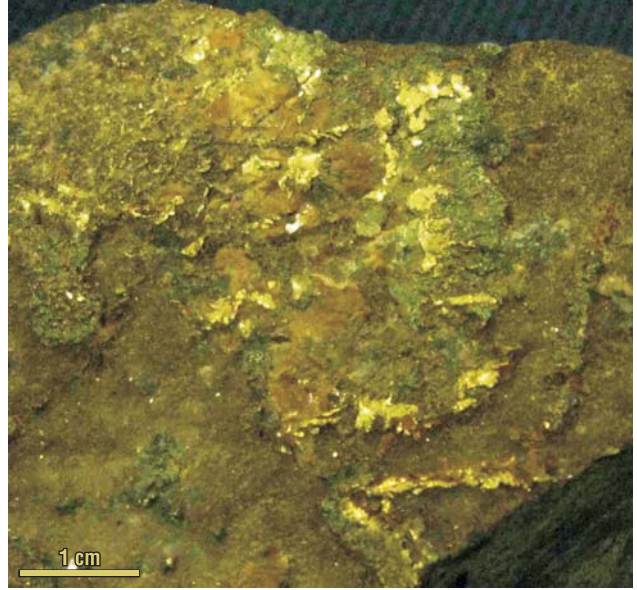
Ryc. 2. Stratygrafia i główne zdarzenia tektoniczne w ewolucji kalifornijskich okruczowych złóż złota wraz ze schematem wędrowki złota w profilu, która doprowadziła do jego bogatych koncentracji w osadach (wg Henleya & Adamsa, 1979)

Fig. 2. Stratigraphy and principal tectonic events in evolution of Californian gold placers, with a schematic representation of reworking of placers that led to development of large and rich placer deposits (after Henley & Adams, 1979)



Ryc. 3. Złoto w postaci krystalicznej w kwarcu żyłowym (Rumunia). Okaz z kolekcji Muzeum PIG w Warszawie

Fig. 3. Gold in crystalline form in vein quartz (Romania). Courtesy of the Museum of PGI in Warsaw



Ryc. 4. Złoto w postaci elektrumu wzdłuż powierzchni spękań (Vorospatak, Rumunia). Okaz z kolekcji Muzeum PIG w Warszawie

Fig. 4. Gold (electrum) along fractured surface (Vorospatak, Romania). Courtesy of the Museum of PGI in Warsaw

W niektórych miejscach znaleziono wyjątkowo bogate nagromadzenia złota, tzw. bonanze, i złoto w postaci krystalicznej (ryc. 3, 4 i 5).

Ciekawostką jest również fakt, że w jednym z najbogatszych obszarów złotonośnych w regionie Columbia, ok. 10 km na północ od Sonory, znaleziono wiele samородków w żwirach wypełniających pustki i kawerny w dolomitach zaliczanych do formacji *Calaveras*. Największy z nich miał ok. 23 kg, a kilkanaście pozostałych > 8,5 kg (California's..., 2008).

Od 1851 do 1951 r. w Kalifornii czynnych było ponad 40 kopalń złota. Na początku wydobywanie prowadzono głównie w strefach zwietrzenia siarczków, czyli do głębokości ok. 180 m, jednak z czasem osiągnięto nawet głębokość ok. 2 km. W najbogatszych, przypowierzchniowych partiach złóż złoto występowało w skupieniach gniazdowych. Wraz z głębokością ilość siarczków wzrastała a zawartość złota rodzimego spadała. W większości z tych kopalń eksploatacja była zawieszana na wiele lat i wznawiana w coraz to głębszych i uboższych strefach. Ale zdarzały się niespodzianki. Na przykład, gdy po kilkudziesięciu latach przerwy wznowiono eksploatację w kopalni *Carson Hill*, rozpoznano nowe nagromadzenia złota, zalegające w cienkich żyłkach kwarcowych oraz w złotonośnym pirycie w łupkach. Złotonośne ciało rudne, w postaci soczewki o rozmiarach ok. 50 m x 1400 m x 5 m, zawierało średnio 56 g Au/Mg (Bierlein & Crowe, 2000).

W sumie z systemu *Mother Lode* uzyskano dotychczas ponad 1100 Mg złota. Eksploatacja była prowadzona w

kilkudziesięciu okręgach górniczych, z których do najbogatszych należał m.in. okręg Grass Valley. Wartość uzyskanego z niego złota szacuje się na ponad 300 mln \$. Najbogatsze były tu kopalnie *Empire-Star* i *Idaho-Maryland*, o łącznej wartości produkcji oszacowanej na około 130 i 70 mln \$ (<http://www.museumca.org/goldrush>). W sumie od roku 1848 do 1967 wydobyto w Kalifornii ponad 3300 Mg Au, czyli około 35% całego złota wydobytogo w USA.



Ryc. 5. Złoto w postaci krystalicznej w kwarcu żyłowym (Zwornik Morizaba, Serbia). Muzeum PIG w Warszawie

Fig. 5. Gold in crystalline form in vein quartz (Zwornik Morizaba, Serbia). Courtesy of the Museum of PGI in Warsaw

Gorączka złota w karnej kolonii — Złoty rozkwit Wiktorii

Australijczycy, którzy bezskutecznie poszukiwali złota w Kalifornii, po powrocie do ojczyzny zaczęli szukać złota u siebie. Złotonośne Sierra Nevada w Kalifornii przypominały im Wielkie Góry Wododziałowe w Nowej Południowej Walii, dlatego wielu poszukiwaczy skupiło się na eksploracji tych gór. I już w lutym 1851 r., wkrótce po powrocie z Ameryki, Edward Hardgraves odkrył złoża złota w Nowej Południowej Walii (Gold Nuggets, 2007). Należy też przypomnieć mało znany fakt, że pierwszym, który odkrył złoto w Australii już w 1839 r., w dolinie potoku Clywd koło Bathurst w Górach Błękitnych, był Polak — Paweł Edmund Strzelecki. Poinformował on o odkryciu gubernatora Nowej Południowej Walii, który poprosił o zachowanie tajemnicy z uwagi na fakt, iż w rejonie tym przebywało wielu skazańców i gorączka złota mogłaby zniszczyć ustalony porządek w karnej kolonii (Sylwestrzak, 1997). Znajdźiska Hardgravesa nie dało się już ukryć. W przeciągu kilku miesięcy odkryto również inne i znacznie bogatsze złoża rozsypiskowe w rejonie Ballart i Bendigo w stanie Wiktorii. Rozpoczęła się gorączka złota, dzięki której nastąpiło przyspieszenie rozkwitu ekonomicznego i demograficznego Australii. W 1852 r. ponad 100 tys. poszukiwaczy złota przybyło do Melbourne, odległego zaledwie 300 km od miejsca, w którym znaleziono bogate w złoto żwirry (ryc. 6).

Aluwia Wiktorii słynęły z samorodków czystego złota. W 1910 r. skatalogowano > 1300 samorodków złota o wadze powyżej 20 uncji (> 0,6 kg). Największy australijski samorodek złota — *Welcome Stranger*, o wadze 65,2 kg, został znaleziony koło Moliagul w 1869 r. Z kolei największa bryła złota, *Holterman's Nugget*, o wadze 290 kg, została znaleziona w Hill End w 1872 r. (Gold Nuggets, 2007).

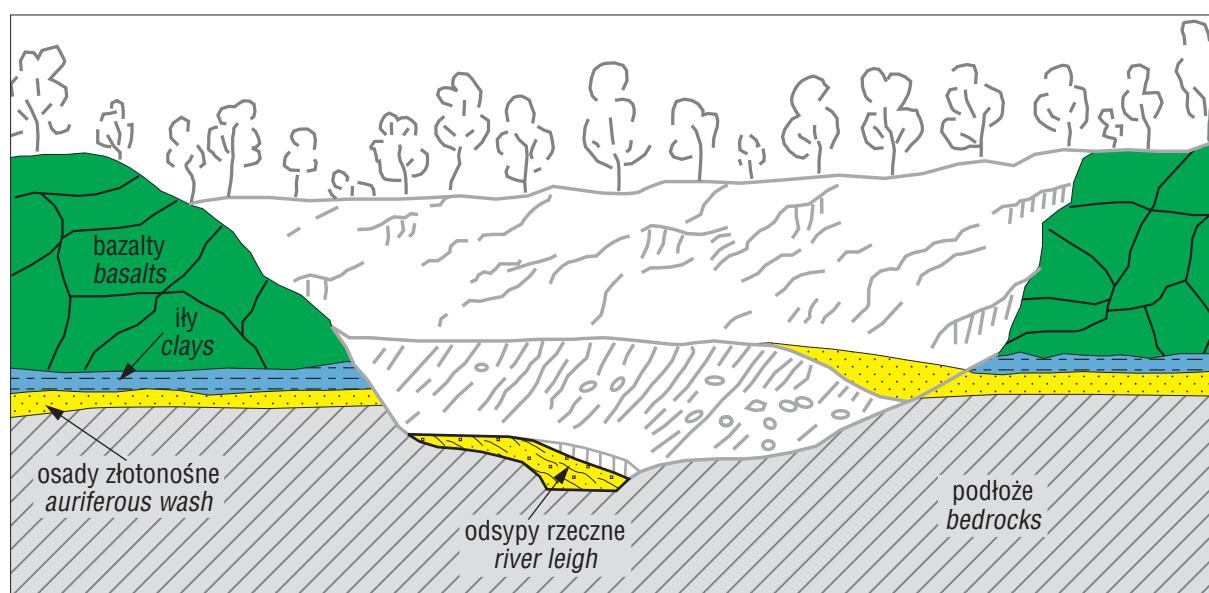
Podobnie jak w Ameryce w początkowym okresie eksploatacji osadów korytowych australijskich rzek domino-

wały klasyczne metody płukania złota. Po wyczerpaniu się tych zasobów w końcu XIX w. odkryto złoża okruchowe pod pokrywą bazaltów i przy użyciu dużych nakładów finansowych wybudowano zmechanizowane kopalnie złota. A wkrótce w rejonie Bendigo odkryto pierwotne złoża złota. Z rozsypisk Ballarat wydobyto ponad 480 Mg złota, a z żył kwarcowych dodatkowo 260 Mg. Większość złota wydobyto w ciągu pierwszych 10 lat eksploatacji, tj. w latach 1852–1861.

Podłoże obszarów złotonośnych w okręgu Bendigo–Ballart tworzy tzw. Supergrupa *Castelmaine*, składająca się z ordowickich piaskowców, mułowców, łupków i łupków grafitowych, intrudowanych przez posttektoniczne, górnodołowe granitoidy. Są to bogate w kwarc utwory fliszowe o miąższości ok. 2 km. Ten metaturbidytowy terran stanowi samodzielną jednostkę strukturalną (Bendigo–Ballart) o szerokości ok. 110 km i południkowym przebiegu w obrębie pasa fałdowego Lachman (Willman, 2007).

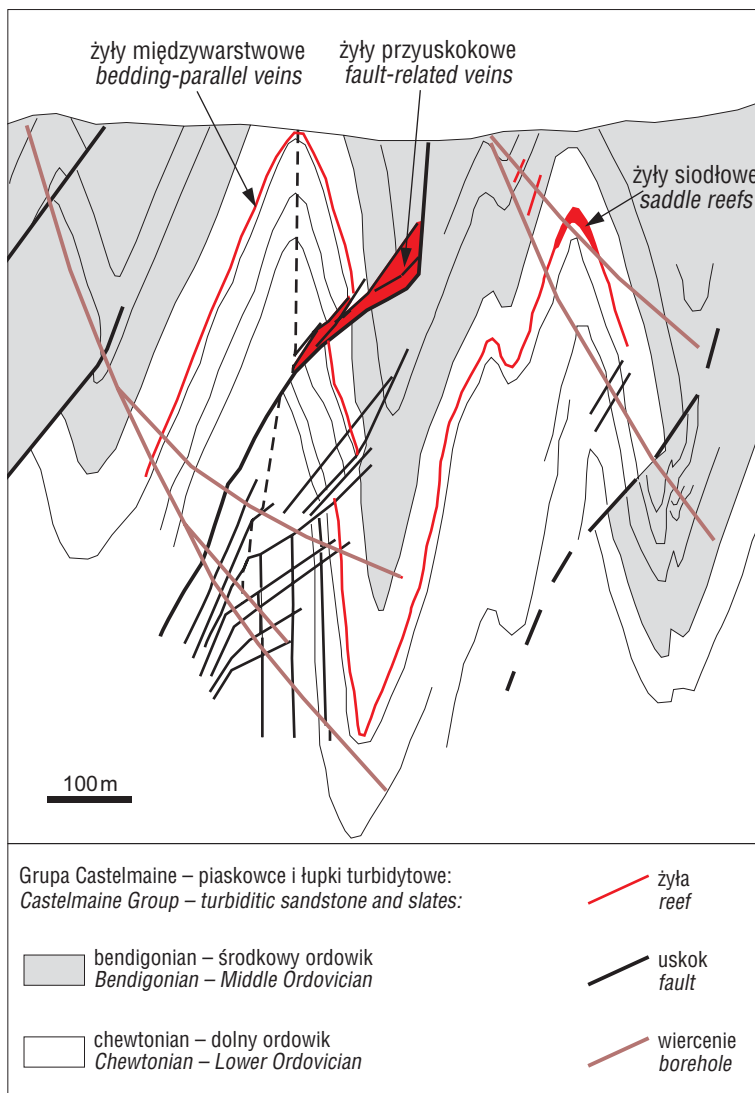
Mineralizacja złotonośna występuje głównie w obrębie kopułowych struktur fałdowych (antyklinoriów) i inwersyjnych uskoku. Deformacje i zuskokowanie oraz procesy metamorfizmu regionalnego w warunkach facji zeolitowo-zieleńcowej przebiegały 450–420 mln lat temu (Willman, 2007).

Rejony złotonośne Bendigo i Castelmaine w środkowej Wiktorii są uważane za klasyczne obszary występień strukturalnie kontrolowanych, orogenicznych złóż złota, które występują w różnych żyłach kwarcowych — głównie w tzw. żyłach siodłowych (ang. *saddle reefs*), międzywarstwowych (ang. *bedding parallel vein*) i przyskokowych (ang. *fault-related vein*) (Willman, 2007). Żyły te są nazywane rafami, ponieważ tworzą w terenie rafowe odsłonięcia, strukturalnie i przestrzennie związane z fałdami (ryc. 7). Z systemem reefów, głównie na wschodnich skrzydłach antyklin, związane są systemy uskoku kulisowych, również wypełnionych złotonośnymi żyłami. Złotonośne obszary górnicze tworzy na ogół do 20 stref reefów, o długości po biegu do 20 km i szerokości do 5–8 km (Willman, 2007).



Ryc. 6. Schemat przerabiania przez współczesną rzekę kenozoicznych osadów złotonośnych — złoża obszaru Bendigo w stanie Wiktorii w Australii (wg Huntera, 1909, *vide* Boyle, 1979)

Fig. 6. Sketch showing modern river reworking an older pay streaks and river leigh; Bendigo goldfields in Victoria State in Australia (after Hunter, 1909, *vide* Boyle, 1979)



Ryc. 7. Różne typy złotoносnych żył kwarcowych, tzw. reefs (czerwone: międzywarstwowe, siodłowe i uskokowe) w obszarze złotoносnym Castlemaine, Centralna Wiktorii, Australia (wg Willmana, 2007)

Fig. 7. Various types of auriferous quartz reefs (red colour — bedding parallel veins, saddle reefs and fault-related veins) in the Castlemaine goldfield, Central Victoria, Australia (after Willman, 2007)

Wśród różnych systemów żył kwarcowych trzy rozpoznano jako złotoносne. Zawierają one złotoносne siarczki, takie jak piryt i arsenopiryt, oraz złoto rodzime. Krystalizacja kwarcu i towarzyszącego mu złota przebiegała w zakresie temperatur średnich — ok. $350 \pm 25^\circ\text{C}$ i jest wiązana z dehydratacją metamorficzną w głębszych partiach skorupy oraz reakcją migrujących roztworów ze skałami otaczającymi (Jia i in., 2001). Wokół żył skały uległy silnej karbonatyzacji, sylifikacji, muskowitzacji, chlorytyzacji, albityzacji i osiarczowaniu.

Paleozoiczne podłoże, które zawiera liczne nagromadzenia żył kwarcowych ze złotem, było w kenozoiku intensywnie erodowane. Produkty erozji akumulowały w kopalnych dolinach rzecznych o przeważnie południkowym biegu po obu stronach Wielkiego Grzbietu Wododziałowego w Wiktorii (ryc. 1). W neogenie osady rzeczne zostały lokalnie pokryte przez pokrywy bazaltowe.

Niektóre z rozsypek złota występują bezpośrednio przy żyłach kwarcowych i tworzą pogrzebane złoża elu-

wialne, ale większość ma genezę aluwialną. Pogrzebane kopalne koryta rzek zawierają fragmenty skał paleozoicznych, liczne ziarna kwarcu i minerałów ciężkich, złoto w postaci samorodków, ziaren oraz tzw. listków (ang. *leafs*), płatków (ang. *flakes*) i mączki (ang. *flour gold*). Szerokość takich złotoносnych koryt wynosi od 30 do 300 m, a lokalnie nawet więcej (Boyle, 1979). W najbogatszych rejonach koncentracja złota wahała się od 20 do 65 uncji (0,56 do 1,84 kg Au) na tzw. bieżącą stopę (0,3048 m).

Produkcja złota z bogatych żył kwarcowych w Bendigo wyniosła ponad 700 Mg, a z rejonu Ballart ponad 400 Mg. Wydobyte złota z rejonu Bendigo–Ballart w Centralnej Wiktorii szacuje się w sumie na ok. 2500 Mg.

Gorączka złota na zachodzie Australii

Wraz z wyczerpywaniem się złóż złota w aluwiach Wiktorii poszukiwacze eksplorowali pustynne obszary na zachodzie Australii. Prace te dotkliwie utrudniał brak wody. Jednak już w 1893 r. w rejonie Kalgoorlie, zlokalizowanym na wschód od Perth, Irlandczyk Patrick Hannan odkrył złoto w żyłach kwarcowych. Tydzień potem w rejonie tym było ponad 2000 poszukiwaczy szlachetnego kruszcu (Sylwestrzak, 1997). Bardzo szybko zaczęto odkrywać kolejne żyły kwarcowe wraz ze złotoносnymi siarczkami, zalegające głównie w zieleńcach.

Stratygrafia pasa zieleńcowego obejmuje archaiczne bazalty i komatyty, które są przykryte przez czarne łupki i szarogłazy. Skały te są intrudowane przez grube sille skał magmowych o składzie dolerytów oraz liczne serie dajek porfirowych (o wieku ok. 2,6 mld lat). Złoża występują w terranach granitowo-zieleńcowych. Złotoносne żyły kwarcowo-węglanowe są związane ze strefami uskokowymi w obrębie sfałdowanych skał, głównie o kierunku NW-SE (Hagemann & Cassidy, 2000).

Dotychczas w złotoносnym rejonie Kalgoorlie odkryto ponad 310 ciał rudnych, występujących na głębokości do ok. 1500 m. Rejon ten jest uważany za największy obszar występień orogenicznych żyłowych złóż złota w skałach archaiku. Od 1893 r. ze złoża Kalgoorlie wydobyto > 1700 Mg złota. Złóże to jest największe w Australii i trzecie na świecie pod względem ilości wydobytego złota. Dla porównania podam, że szacunkowa wielkość całego wydobywania złota w Australii wynosi ok. 10 000 Mg. W latach 1997–2006 rocznie wydobywano w Australii od 220 do 310 Mg złota (Gold..., 2007).

Prawie cały urobek ze złotoносnego rejonu Kalgoorlie, eksploatowanego od ponad 100 lat, pochodzi z ogromnego obszaru górniczego złoża *Golden Mile* (> 1200 Mg). Obecnie eksploatacja jest w nim prowadzona w 2 polach górniczych: w odkrywcę o wymiarach ok. 4 km x 2 km, tzw. *Super Pit*, i w kopalni podziemnej (złożo *Mount Charlotte*). W odkrywcę *Super Pit* zdecydowana większość złota występuje w bogatych żyłach wypełniających stare strefy ścinań w obrębie skał zaliczanych do tzw. grupy *Golden*

Mile Dolerite. Obszar ten jest nazywany złotą milą (1 mila = 1,609 km), pomimo iż w rzeczywistości żyły są znacznie dłuższe (> 2 km). Ich eksploatacja jest prowadzona po upadzie do głębokości > 1 km. Żyły kwarcowo-węglanowo-siarczkowe tworzą różne systemy wypełniające strefy uskoku, spękania i brekcje tektoniczne. Najbogatsze partie żył rudnych zawierają przeciętnie ok. 1,25 kg Au/Mg, a pojedyncze fragmenty żył > 100 kg Au/Mg (np. w żyłce *Duck Pond shoot*). Oprócz bogatych nagromadzeń pirytu obecne są również tellurki, mikroziarenka złota, chalkopiryt, galena i sfaleryt. W płytszych strefach złoża (do 200 m głębokości) stwierdzono nakładanie się na starszą złotonośną mineralizację siarczkową mineralizacji antymonitowej, również ze złotem. Z niektórych żył wydobyto po kilkadziesiąt Mg złota, np. z żyły *Oroya*, eksploatowanej po biegu do głębokości ok. 1,5 km, wydobyto > 60 Mg Au. Charakterystyczną cechą bogatych w złoto żył jest intensywny zielony kolor otaczających je skał, spowodowany obecnością muskowitu zasobnego w wanad. Strefy bogate w złoto (> 3 ppm) wykazują silne okwarcowanie, dolomityzację, ankerytyzację, serycycytację i chlorytyzację. Złoto występuje głównie w formie submikroskopowej (< 1 µm średnicy) w arsenopirycie i pirycie oraz jako drobne inkluzje (< 10 µm średnicy), głównie w pirycie, a rzadziej w żyłkach kwarcu i zsylikowanych brekcjach tektonicznych. Wieki złotonośnych mineralizacji jest datowany za pomocą metod Ar/Ar na ok. 2,63–2,60 mld lat (Hagemann & Cassidy, 2000).

Całkowite zasoby obszaru Kalgoorlie są oceniane na ok. 2400 Mg (2230 Mg — *Super Pit*; 147 Mg — *Mount Charrlote*; Hagemann & Cassidy, 2000). W kratonie Yilgran w Zachodniej Australii znanych jest ponad 160 orogenicznych złóż złota o zasobach > 1 Mg i 15 złóż o zasobach > 100 Mg Au (Hagemann & Cassidy, 2000).

Złoto dla wytrwałych — wielka gorączka złota na Jukonie

Druga wielka gorączka złota w Ameryce nastąpiła w 1896 r. — prawie 50 lat po pierwszej. Złoto zostało odkryte nad rzeką Klondike, prawobrzeżnym dopływem rzeki Jukon, w rejonie osady Dawson na półwyspie Jukon w Kanadzie. Wieść o odkryciu bogatych złóż złota szybko dotarła do San Francisco i już w ciągu kilku tygodni kilka tysięcy ludzi porzuciło swoje zajęcia i ruszyło na podbój Jukonu. Jednak dotarcie do złotonośnych terenów nie było łatwe z uwagi na warunki przyrodnicze Alaski oraz Jukonu. Były tylko dwie drogi — jedna prowadziła do doliny Jukonu przez port Skagway i przełęcz Chillkoot, a druga z San Francisco przez Morze Beringa do portu Emmonak na Alasce i dalej od ujścia Jukonu w górę rzeki aż do Dawson (Booth & Mobley, 1978).

Droga przez przełęcz Chillkoot (939 m n.p.m.) była krótsza i tańsza, ale niezwykle uciążliwa. Największą trudnością było przeniesienie na plecach własnych bagaży, gdyż żadne zwierzę pociągowe nie było w stanie pokonać stromej i śliskiej drogi prowadzącej na przełęcz. W 1896 r. z 40 tys. ludzi, którzy próbowali przejść tą trasą, zaledwie połowie udało się ten wyczyn (Le Bris, 1994). Wśród nich był również Jack London, który z kilkudziesięciokilogramowym bagażem na plecach trzykrotnie pokonał przełęcz. Jednak złota nad Klondike nie znalazł.

Druga droga również nie była łatwa, gdyż tak wiele osób próbowało dostać się na Alaskę, że statki wypływające z San Francisco były potwornie zatłoczone.

W ciągu kilku miesięcy 1896 r. Dawson zostało ponad 30 tys. osadą. Obecnie liczy ok. 1 tys. mieszkańców, lecz co roku jest odwiedzane przez prawie 300 tys. turystów, pragnących poznać legendarną scenę heroicznych wydarzeń opisanych w książkach Londona (Booth & Mobley, 1978).

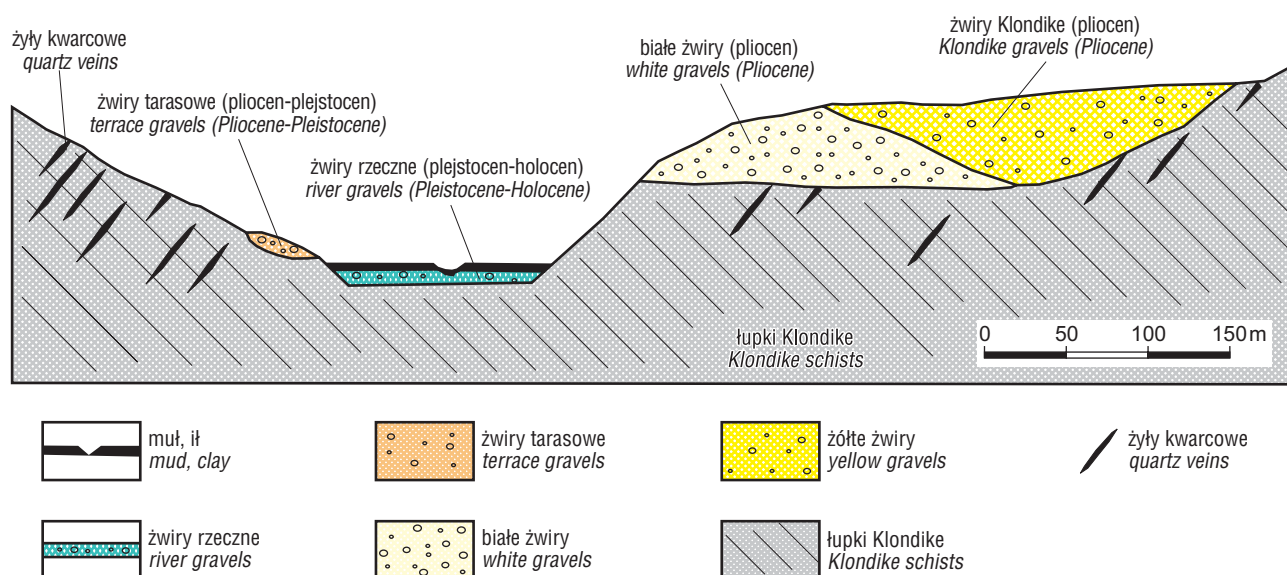
Pierwsza zima roku 1896 była tragiczna dla wielu poszukiwaczy. Trudności z transportem spowodowały straszliwy głód i śmierć wielu ludzi (Le Bris, 1994). Ocenia się, że ze 100 000 poszukiwaczy tylko 4000 znalazły złoto, pomimo iż już w 1898 r. wydobyto ponad 60 Mg złota okruchowego, głównie z dorzecza rzeki Klondike. Wraz z wybudowaniem w 1902 r. kolei zakończyło się klasyczne płukanie złota. Sprowadzono ciężki sprzęt do wydobywania złota za pomocą tzw. dragów oraz sprzęt do rozmrażania skał i urobku hydraulicznego, czego do dzisiaj nie zabrania prawo na Jukonie i Alasce.

W rejonie Klondike złotonośne są zarówno czwartorzędowe żwiry rzeczne, żwiry tarasowe, jak i żwiry kopalne, tzw. białe i żółte żwiry Klondike (Lowey, 2006). Białe żwiry rzeczne zalegają na tzw. łupkach Klondike, nawet do kilkudziesięciu metrów ponad współczesnymi korytami rzek (ryc. 8). W skład łupków Klondike, zaliczanych do terranu Jukon–Tanana, wchodzi silnie sfałdowane, zuskokowane i zmetamorfizowane w facji zieleńcowej dolnopaleozoiczne skały osadowo-wulkaniczne, reprezentowane przez: łupki kwarcowo-łyszczykowe, chlorytowe i serycycytowe; kwarcyty; fyllity i łupki grafitowe; zawierające sille i pokrywy lawowe mezozoicznych porfirów kwarcowych i ryolitów. Skały te zawierają bardzo liczne i zróżnicowane koncentracje kwarcu (żyły, żyłki, gniazda, budiny, soczewy i in.), w którym występują zazwyczaj niewielkie koncentracje złota (od 0,28 do 1,42 g/Mg) oraz siarczki (Boyle, 1979).

Źródłem złota okruchowego w rzekach Jukonu były głównie mezotermalne żyły mlecznobiałego, masywnego kwarcu (datowane na ok. 140 mln lat) oraz okruszczowane pirytem czarne łupki grafitowe. Widoczne gołym okiem złoto stwierdzono w kilkunastu żyłach kwarcowych. Maksymalna koncentracja kruszczu wynosiła w nich nawet do 9 kg/Mg kwarcu (Lowey, 2005). Jednak w obrębie całego obszaru Klondike eksploatowano tylko jedną żyłę złota — w kopalni *Lone Star* i to bardzo krótko, w latach 1912–1914, z której otrzymano zaledwie ok. 40 kg złota (Lowey, 2006). Dla porównania udokumentowane wydobycie złota okruchowego z całego obszaru złotonośnego Klondike jest szacowane na ponad 311 Mg.

Niektóre z partii najniższych żwirów były bardzo bogate w złoto okruchowe, np. w potoku Eldorado koncentracje złota dochodziły do ok. 6 kg/Mg i kontynuowały się na długości do ok. 6,4 km (Boyle, 1979). W żwirach tych złoto okruchowe występuje w różnej postaci — samorodków, nieregularnych ziarn, listków, płatków, drucików i dendrytów.

Najbogatsze w złoto są plejstoceno-holocenojskie żwiry tzw. najniższego poziomu, które były przedmiotem 3- lub 4-krotnej przeróbki górniczej. Obecnie największe znaczenie mają żwiry najstarsze (pliocenojskie), tzw. poziomu najwyższego (żwiry Klondike), które są urabiane hydraulicznie. W późnym kenozoiku Jukon oraz Alaska były izostatycznie wypiętrzane. Ekshumacja obszaru, zmiany klimatyczne oraz okresy intensywnej erozji przeplatane z



Ryc. 8. Uproszczony przekrój przez osady złotonośnych żwirów w potoku Bonanza, obszar Klondike (Dawson) na Jukonie w Kanadzie (wg McConnella, 1907, *vide* Boyle, 1979)

Fig. 8. Generalized section through placer deposits of the Bonanza Creek, Klondike (Dawson) district, Yukon, Canada (after McConnell, 1907, *vide* Boyle, 1979)

okresami silnej depozycji osadów rzecznych spowodowały powstanie 3 poziomów żwirów rzecznych (Lowey, 2006). W kolejnych cyklach glacialnych (ok. 3 mln lat; ok. 300 tys. lat i ok. 30 tys. lat temu) dochodziło do sukcesywnej gradacji (usuwania) i agradacji (zasypywania) osadów dolinnych oraz kilkakrotnej redepozycji złota (w formie mechanicznej i chemicznej — koloidalnej), najpierw z żył kwarcowych do żwirów górnych, potem środkowych i w końcu do najniższych poziomów żwirów (współczesnych).

Obecnie samородki złota są tu poszukiwane również za pomocą nowoczesnych wykrywaczy metali. Samородki te, o wadze najczęściej od kilku do kilkunastu uncji, najprawdopodobniej uszły uwadze dawnym poszukiwaczom złota, ale mogą być też efektem procesu określanego samoodnawianiem się okruchowych koncentracji złota. Z Alaski oraz Jukonu pochodzi jak dotychczas najwięcej samородków wykrytych za pomocą detektorów metali. Na uwagę zasługują liczne samородki o wadze od 20 do 40 uncji (Gold Nuggets, 2007). Do rekordzistów należą znalezione w 1980 r. w Kingower w Australii samородek *Hand of Faith*, o wadze 870 uncji (ok. 24,6 kg), oraz wydobyty koło Ruby na Alasce w 1998 r. samородek o nazwie *The Alaska Centennial Nugget*, ważący 294,1 uncji (ok. 8,34 kg).

Podsumowanie

Odkrycie w Ameryce (Kalifornia, Jukon i Alaska) oraz w Australii (Centralna Wiktorja) gigantycznych okruchowych złóż złota (ang. *Giant gold placer deposit*), o zasobach > 148 Mg Au, wywołało w drugiej połowie XIX w. i na początku XX w. światową gorączkę złota. W początkowym okresie eksploatacji w rejonach tych wydobyto olbrzymie ilości złota — w Kalifornii ok. 1300 Mg w latach 1848–1864, a w sumie ok. 2000 Mg; w Bendigo–Ballart w Australii ok. 480 Mg w latach 1851–1860, a w sumie ok. 1400 Mg i na Jukonie > 311 Mg w latach 1896–1902. Z żył kwarcowych wyprodukowano dotych-

czas w Kalgoorlie > 1700 Mg Au, w Kalifornii > 1100 Mg Au, w Bendigo > 700 Mg Au i w Ballart > 400 Mg Au.

Wszystkie opisane w tym artykule obszary złotonośne występują wokół wybrzeży Pacyfiku, a do powstania rozsypanych złóż złota doszło u schyłku kenozoiku w identycznym środowisku tektoniczno-sedymentacyjnym. Podsuwanie się płyt oceanicznych pod brzeżne strefy kontynentalnych płyt Ameryki i Australii spowodowało stopniowe wyniesienie tych obszarów (ryc. 1). Do utworzenia bogatych rozsypanek złota konieczne były jeszcze dwa główne czynniki:

- ❑ Pierwszym była tzw. rejuwenizacja (czyli odmłodzenie) starszych obszarów orogenicznych (fałdowo-metamorficznych) zawierających znaczne ilości złota rozproszonego w skałach, za sprawą której podczas rozwoju późniejszych procesów hydrotermalnych powstały złotonośne żyły kwarcowe.
- ❑ Drugim było stopniowe wynoszenie tych obszarów, które ulegając degradacji dostarczały złota do rozsypanek.

Złóża w rejonie *Mother Lode* w Kalifornii zalegają w silnie zdeformowanych i zmetamorfizowanych skałach osadowo-wulkanicznych, podobnie jak orogeniczne złóża w utworach archaiku w zachodniej Australii w rejonie Kalgoorlie. Orogeniczne żyłowe złóża złota powstały w strefach kolizji tektonicznych, w których następował rozwój procesów magmowo-termicznych w skorupie i migracja roztworów na wielką skalę. Geneza złóż rejonu Kalgoorlie była związana z procesami zachodzącymi w terranach archaicznych znacznie wcześniej, ok. 2,6 mld lat temu (Hagemann & Cassidy, 2000). Orogeniczne żyłowe złóża złota w Ameryce na Alasce, Jukonie i w Kalifornii oraz w Australii w rejonie Bendigo–Ballart wiąże się z dwoma głównymi okresami tektoniki kolizyjnej (Henley & Adams, 1979). Starszy okres (Australia) obejmował kilka faz orogenicznych w paleozoiku, związanych z tworzeniem się tzw. superkontynentu Pangei wzdłuż pacyficznego wybrzeża Gondwany. Od ordowiku do dewonu powstało wiele złóż

złota o zasobach liczonych w tysiącach Mg w tzw. orogenicznym pasie fałdowym Tasmanii, o długości ok. 2500 km. Z kolei złoża Alaski, Yukonu i Kalifornii powstały podczas rozpadu superkontynentu Pangei we wczesnej jurze, co spowodowało kolizję płyt, akrecję licznych terranów i utworzenie, wzdłuż zachodniego wybrzeża Ameryki Północnej wielu bogatych żyłowych złóż złota, w czasie od 180 do 50 mln lat temu (Bierlein & Crowe, 2000).

Złoża orogeniczne powstały w wyniku migracji w skropie ziemskiej roztworów różnego pochodzenia, na głębokościach od 2 do 20 km i w zakresie temperatur średnich, tj. od 280 do 350°C. Złoto występuje głównie w postaci złotonośnych siarczków, takich jak piryt oraz arsenopiryt, którym towarzyszą zmienne ilości chalkopiryty, galeny czy sfalerytu oraz złoto rodzime i tellurki.

Orogeniczne żyłowe złoża złota strukturalnie i litologicznie są związane z metamorficznymi terranami, które uległy procesom fałdowo-tektonicznym i metamorficznym w warunkach facji zieleńcowej.

Odsłonięcie kwarcowych żył ze złotem, do którego doszło w kenozoiku, spowodowało ich mechaniczną i chemiczną degradację oraz silne wzbogacenie w złoto okolicznych osadów rzecznych. W osadach tych występują liczne samородki złota. Niektóre złotonośne żwiry w Kalifornii oraz w Bendigo zostały przykryte przez pokrywy bazaltowe, co znacznie utrudniło ich eksploatację. Szacuje się, że podczas gorączek złota w Kalifornii, Bendigo–Ballart i na Yukonie wydobyto z aluwii ok. 3,8 tys. Mg złota. Co więcej, odkrycie złota okruchowego przyczyniło się do znalezienia pierwotnych złóż złota w żyłach kwarcowych. Złotonośne żyły w Australii (Kalgoorlie, Bendigo–Ballart) czy w Kalifornii są do dzisiaj przedmiotem eksploatacji. Ilość złota wyprodukowanego w ciągu ponad 100 lat od ich odkrycia można oszacować na > 4,2 tys. Mg. Ocenia się, że ilość złota wydobytego w opisanych rejonach (ok. 8 tys. Mg) stanowi 4–5% całego wydobycia złota na świecie, które szacuje się na ok. 170 tys. Mg.

Literatura

- BIERLEIN F.P. & CROWE D.E. 2000 — Phanerozoic Orogenic Lode Gold Deposits. *SEG Reviews*, 13: 103–139.
- BOOTH R. & MOBLEY G.F. 1978 — Call of the North: Yukon Fever. *National Geographic*, 153 (4): 548–578.
- BOTROS N.S. 2004 — A new classification of the gold deposits of Egypt. *Ore Geology Rev.*, 25: 1–37.
- BOYLE R.W. 1979 — The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element). *Geol. Surv. Can., Energy, Mines and Resources of Canada*, 280.
- BROWN D.M. (red.). 1998 — W poszukiwaniu Eldorado. *Cywilizacje. Amber Sp. z o.o.*
- California's** Natural Resources: A Brief History of the Gold Rush. http://www.museumca.org/gold_rush
- EVANS A.M. 1993 — Ore geology and Industrial Minerals. An Introduction. Blackwell Scientific Publications.
- Gold.** World Mine Production 2007 — World metal Statistics yearbook.
- Gold** Nuggets 2007 — <http://museumvictoria.com.au>
- GROVES D.I., GOLDFARB R.J., GEBRE-MARIAM M., HAGEMANN S.G. & CASSIDY K.F. 2000 — Archean orogenic Lode Gold deposits. *SEG Rev.*, 13: 9–68.
- HAGEMANN S.G. & ROBERT F. 1998 — Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution on relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Rev.*, 13: 7–27.
- HENLEY R.W. & ADAMS J. 1979 — On the evolution of giant gold placers. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. B: Appl. Earth Sci.)*, 88, B41–50.
- HUNTER S. 1909 — The deep Leads of Victoria, Victoria (Australia). *Geol. Sur., Mem.*, 7: 142.
- JIA Y., LI X. & KERRICH R. 2001 — Stable isotope (O, H, S, C, and N) systematics of quartz vein systems in the turbidite-hosted Central and North Deborah Gold Deposits of the Bendigo Gold Field, Central Victoria, Australia: constrains on the origin of ore-forming fluids. *Economic Geology*, 96: 705–721.
- LE BRIS M. 1994 — Gorączka złota. Tłumaczenie M. Czarnicka-Szostek. Wydaw. Dolnośląskie, Wrocław.
- LOWEY G.W. 2006 — The origin and evolution of the Klondike goldfield, Yukon, Canada. *Ore Geology Rev.*, 28(4): 431–450.
- MITCHELL J.G. & RICHARDSON J. 2000 — Droga na Zachód. *National Geographic*, 9: 34–63.
- RENFREW C., HUENS J.L. & STANFIELD J.L. 1980 — Ancient Bulgaria's Golden Treasures. *National Geographic*, 158(1): 112–117; 122–129.
- SYLWESTRZAK H. 1997 — Złoto w przyrodzie i dziejach. *Wiedza i Życie*.
- WHAPLES R. 2008 — California Gold Rush. *EH. Net Encyclopedia*, edited by Robert Whaples. March 16, 2008. URL.
- WILLMAN C.E. 2007 — Regional structural controls of gold mineralisation, Bendigo and Castlemaine goldfields, Central Victoria, Australia. *Mineralium Deposita*, 42(5): 449–463.

Praca wpłynęła do redakcji 05.11.2009 r.
Po recenzji akceptowano do druku 10.11.2009 r.