

Epitermalne złoża złota i srebra w okolicy Orcopampa i Caylloma, południowe Peru

Andrzej Paulo*, Andrzej Gałaś*



A. Paulo



A. Gałaś

Epithermal gold and silver deposits in the Orcopampa and Caylloma regions, south Peru.
Prz. Geol., 53: 639–648.

S u m m a r y . Many precious metal deposits were recently found and developed within south Peru, adding significantly to the growing position of the country in the world mining. Epithermal gold and silver mineralization is bound to Central Andean Volcanic Zone, Neogene in age. Precious metals mines are developed at the altitudes of 3200 to 5200 m a.s.l. Structure, host rock alteration, mineral assemblage, grades, metal production and perspectives for Caylloma, Suykutambo, Madrigal, Arcata, Ares, Orcopampa, and Chipmo districts, as well as for Poracota manto prospect are described. Most of the veins represent low sulphidation type.

Key words: epithermal veins, gold and silver mines, Neogene volcanics, High Andes, south Peru

W ostatnich latach dynamicznie postępuje wzrost wydobywania metali szlachetnych w Peru. Kraj ten zwiokrotnił produkcję górnictwem złota i zajmuje w tej kategorii już szóstą pozycję na liście światowej, a pierwszą w Ameryce Łacińskiej (tab. 1). Słynne złoto Inków, zebrane z całego ich imperium jako okup dla Pizarra w zamian za uwolnienie Atahualpy, ważyło 8 ton. Dziś taką ilość uzyskuje się w pół miesiąca! Także w produkcji srebra Peru osiągnęło wielki sukces, wyprzedzając Meksyk, tradycyjnego lidera światowego. Południowa część Peru stała się ważnym regionem produkcji metali szlachetnych i aktywności poszukiwawczej. Przy okazji badań wulkanitów Andahua (Gałaś & Paulo, 2005) gościliśmy w kilku kopalniach złota i srebra w Kordylierze Zachodniej na pograniczu z płaskowyżem Puna, w departamencie Arequipa. W niniejszym artykule przedstawiamy charakterystykę geologiczno-gospodarczą złóż tego regionu. Zagadnienia wpływu górnictwa na środowisko i roli górnictwa w lokalnym rozwoju społeczno-gospodarczym będą tematem oddzielnego artykułu.

Warunki geograficzne i zagospodarowanie

Orcopampa i Caylloma należą do największych osad w tej części środkowych Andów. Liczą po około 5 tysięcy mieszkańców. Prowincje, do których te osady należą, Castilla i Caylloma, skupiają odpowiednio 41 i 51 tysięcy osób, średnio 4–5 mieszkańców na km². Wody z Castilli spływają do odległego o 150–200 km Pacyfiku, prowincja Caylloma odwadniana jest zaś poprzez Rio Colca do Pacyfiku i poprzez Apurimac, dopływ Amazonki, do Atlantyku. To tu znajdują się niedawno odkryte źródła Amazonki (Piętowski & Bzdak, 2003) — u stóp opisanych niżej kopalń płynie strumień dający początek największej rzece świata.

Omawiana część Andów jest pustynnym płaskowyżem o wysokości 4000–5000 m n.p.m., rozciętym kilkoma głębokimi dolinami rzek i przez to trudno dostępnym. Klimatyczna granica upraw sięga 3600 m n.p.m., ale w niższej części gór niewiele jest miejsc połączonych, na które można doprowadzić wodę. Natomiast w grzbietowej części jest sporo strumieni, wysokogórskich jezior i podmokłości,

Tab. 1. Produkcja górnictwem złota i srebra w Peru na tle świata (dane U.S. Geological Survey)

Table 1. Mine gold and silver production in Peru against the world (U.S. Geological Survey)

Lp.	Złoto [t] Gold			Srebro [t] Silver		
	Państwo State	1990	2003	Państwo State	1990	2003
1.	RPA RSA	600,8	373,3	Peru	1 762	2 921
2.	b. ZSRR former USSR	294,5	301,3	Meksyk	2 170	2 551
3.	USA	302,0	276,1	Australia	1 173	1 868
4.	Australia	254,6	282,0	Chiny	783	1 667
5.	Chiny	95,7	194,4	Chile	654	1 313
6.	Peru	6,3	173,0	Kanada	1 501	1 309
7.	Indonezja	10,7	164,4	Polska	833	1 237
8.	Kanada	169,4	141,5	USA	2 121	1 236
9.	Ghana	16,8	71,5	b. ZSRR CIS	1 380	1 203
10.	Papua-Nowa Gwinea	33,2	68,1	Boliwia	311	470
	Świat World	2083	2375	Świat World	15 264	18 374

*Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, paulo@geol.agh.edu.pl, pollux@geol.agh.edu.pl



Ryc. 1. Mapa okolic kanionu Colca
Fig. 1. Canyon Colca area

które tworzą dogodne środowisko dla zwierząt i pozwalają na ich hodowlę. Nad płaskowyżem górąją pokryte wiecznym śniegiem stratowulkany, Coropuna (6425), Ampato (6288), Hualca Hualca (6025), Firura (5498), Mismi (5556) i inne, oraz postrzępiony masyw wulkaniczny Shila (około 5700 m n.p.m.).

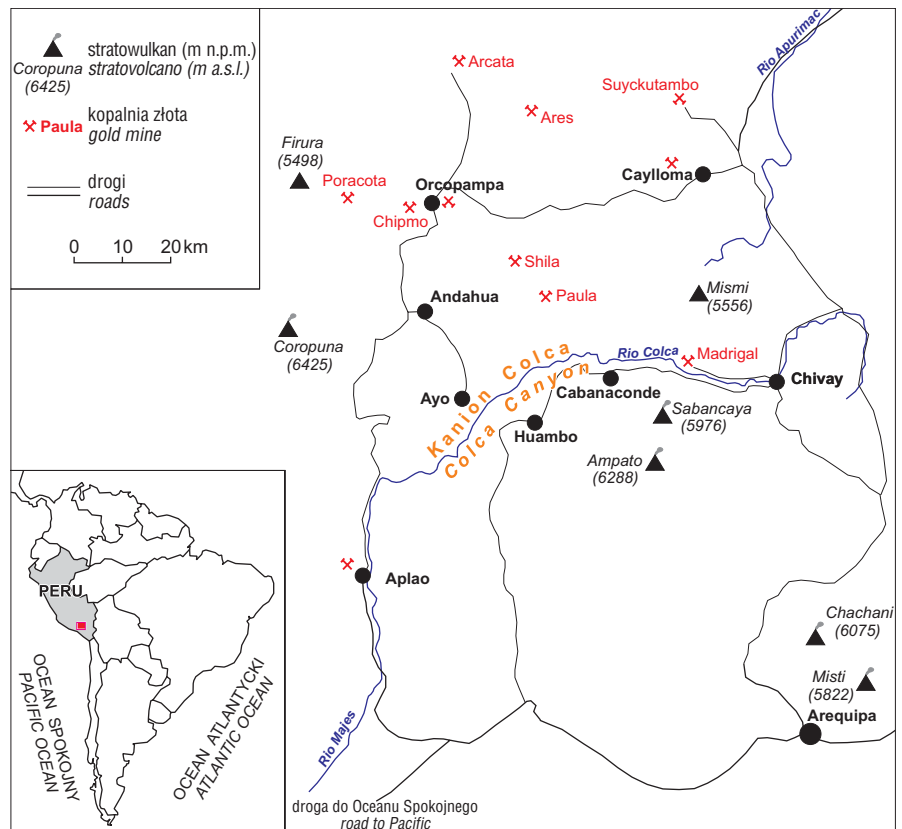
Osadnictwo w tak niegościnnym środowisku rozwinęło się pod wpływem górnictwa. Cayllomę zbudowano z początku XVII wieku na wysokości 4300 m n.p.m., a pobliskie kopalnie wydrążono 200–600 metrów powyżej. Niektóre osady istniały już wcześniej. Dolina rzeki Apurimac i stare szlaki Inków prowadzą stąd w kierunku Cuzco.

Orcopampę dzieli od Cayllomy tylko 40 km, ale pomiędzy nimi wznosi się trudny do przebycia w dawnych czasach grzbiet Kordyliery Zachodniej. Orcopampa (w języku kechua: płaszczyna między górami) leży w dolinie na wysokości 3800 m. Świat dowiedział się o istnieniu tej „zapomnianej doliny Andów” dzięki lotnikom amerykańskim, którzy małym samolotem wylądowali w odległości około 30 km od osady i w 1934 roku opublikowali relację w *National Geographic*. Jeszcze w czasie II wojny światowej łatwiej było dotrzeć w te okolice przez pustynny płaskowyż z odległego o 370 km Cuzco niż ze stolicy departamentu, Arequipy, która odległa jest w linii powietrznej o 150 km. Po drodze z Cuzco leżało centrum górnicze Caylloma, przeżywające wówczas swój drugi rozkwit. Obecnie z Arequipy do Orcopampy poprowadzono drogę o długości 380 km, która wiedzie przez niemal 5-tysięczną przełęcz.

W ostatnim ćwierćwieczu w okolicy Orcopampy odkryto wiele złóż metali szlachetnych (ryc. 1) — złoża Arcata i Ares, należące do grupy *Hochschilda*, oraz Chipmo, Shila, Paula i Poracota, należące do *Buenaventury*. Powodzenie poszukiwań geologicznych i dobre rezultaty kopalń przyciągają nowych inwestorów i pracowników, powodując ożywienie gospodarcze.

Budowa geologiczna regionu

W okolicy Orcopampy i Cayllomy Kordyliera Zachodnia zbudowana jest z osadowych skał górnej jury i kredy, które uległy sfałdowaniu w fazie peruwiańskiej (kreda/paleocen) oraz w większości z wulkanicznych skał, powstałych od oligocenu do czasów współczesnych (Caldas, 1993; Caldas i in., 2001). Grzbiet Kordyliery Zachodniej wieńczą potężne stratowulkany należące do środkowo-andyjskiej strefy współczesnego wulkanizmu. Rozszyfrowanie budowy kompleksu magmowego nie jest łatwe z powodu dużej zmienności utworów oraz maskowania przez rozległe pokrywy morenowe, fluwioglacjalne, piargi i aluwia. Dawniej uważano, że mineralizacja kruszczowa z



roztworów pomagmowych nastąpiła w miocenie, zatem nie objęła potężnych stratowulkanów, które są młodsze. W wyniku nowszych badań wykazano, że w pokrywie wulkanicznej można wyróżnić kilka faz tektonicznych oraz zjawiska lokalne, związane z zapadliskami kalderowymi. W późnym oligocenie, pod wpływem kompresji w fazie inkaskiej, nastąpiła przebudowa struktur peruwiańskich o kierunku NW-SE na prostopadłe (NE-SW). Później oś kompresji rotowała. We wczesnym miocenie powstawały jeszcze struktury o kierunku NE-SW, w młodszym miocenie ENE-WSW, a na przełomie miocenu i pliocenu (4–8,2 mln lat temu) już W-E (Soulas, 1977). W miocenie nastąpiło silne wypiętrzanie. W zrębach przeważała tensja i kordyliera rozpadła się na bloki w czasie kilku faz keczuańskich. Powstawały liczne centra erupcji wulkanicznych. Miąższość wulkanitów miocenu wynosi około 3500 m, pliocenu i plejstocenu łącznie ponad 2500 m, osadów klastycznych plejstocenu i holocenu do 100 m, a wulkanitów Andahua przeważnie mniej od 100 m (tab. 2).

Tuf Manto, którego miąższość dochodzi do 250–300 m, jest związany z potężną erupcją z kalder Chinchón, której centrum znajduje się 18 km na SE od Orcopampy. Nieco później nastąpiła erupcja z pobliskiej kalder Huayta. Miejsca erupcji górnomiocenijskich tufów pumeksowych nie są dobrze poznane. Lokalnie obfitują one w obsydian, z którego dawniej wytwarzano narzędzia. Około 19 milionów lat temu koło Orcopampy, a pod koniec miocenu koło Shila i Arcata, intrudowały dacytowe i ryolitowe pnie subwulkaniczne. W ich otoczeniu obserwuje się rozległe przeobrażenie skał: propilityzację, ałunicyzację, argilityzację, sylifyzację i inne, których jaskrawe barwy ułatwiają eksplorację złóż. Cała formacja Orcopampa przecięta jest serią uskoków grawitacyjnych o kierunku NE-SW do E-W i zrzucie dochodzącym nawet do 500 m (Gibson i in., 1993). Strefy uskokowe są rudonośne. Po epitemalnej mineralizacji nastąpiło łagodne sfałdowanie i ponowne zuskoko-

Tab. 2. Uproszczona stratygrafia neogenu w okolicy Orcopampa (Caldas, 1993; Mayta i in., 2002; uzupełniono)
 Table 2. Simplified stratigraphy of the Neogene in the Orcopampa area (based on Caldas, 1993; Mayta et al., 2002; supplemented)

Jednostka litostratygraficzna <i>Lithostratigraphic unit</i>		Wiek [mln lat] <i>Age [Ma]</i>
Andahua	lawy i scoria andezytowe (podrzędnie dacyty i bazalty) <i>andesitic lavas and scoria (minor dacites and basalts)</i>	plejstocen–holocen <i>Pleistocene–Holocene</i>
żwiry aluwialne, koluwia, osuwiska, moreny, osady glacyfluwialne <i>alluvial gravels, colluvia, landslides, moraines, glacyfluvial deposits</i>		
Barroso	andezyty, tufy, zlepieńce i piaskowce <i>andesitic lavas and tuffs, conglomerates and sandstones</i>	pliocen–plejstocen <i>Pliocene–Pleistocene</i>
Sencca	lawy i tufy dacytowe (Umachulco) i ryolitowe, brekcje <i>dacitic (Umachulco) and rhyolitic lavas and tuffs, breccias</i>	6–7,5
tufy ryolitowe i lawy andezytowe <i>rhyolitic tuffs and andesitic lavas</i>		11–12
Alpabamba	tuf Chipmo — tuf ryolitowy, wkładki piaskowców i wapieni; ignimbryty z obsydianem i potoki ryolitowe <i>Chipmo tuff: rhyolitic tuff, sandstone and limestone intercalations, obsidiane ignimbrites</i>	13,8– 14,2
Ichucollo	aglomeraty i lawy andezytowe <i>andesitic agglomerates and lavas</i>	
Orcopampa	wulkanity Sarpane — dacyty, ryodacyty i andezyty; subwulkaniczne intruzje i potoki law <i>Sarpane volcanics: dacites, rhyodacites and andesites; subvolcanic intrusions and lava flows</i>	18,3–19,4
	Collpa i Fullchulna: tuf ryolitowy i lawa andezytowa <i>rhyolitic tuff and andesitic lava</i>	19,5
	La Lengua: tuf z wkładkami wapieni <i>tuff, limestone intercalations</i>	
	tuf Manto — ryolitowa pokrywa popiołowa; wulkanity Shila <i>Manto tuff: rhyolitic ash; Shila volcanics</i>	20,1
	wulkanity Santa Rosa — lawy andezytowe i tufy ryolitowe z wkładkami zlepieńców i mułowców <i>Santa Rosa volcanics: andesitic lavas and rhyolitic tuffs, conglomerate and mudstone intercalations</i>	20,1– 23+
tuf Pisaca — ignimbryt dacytowy i popiołowy tuf ryolitowy <i>Pisaca tuff: dacitic ignimbrite and rhyolitic unwelded ash</i>	30,2	

wanie tej formacji. Skrzydła są pochylone na ogół 10–20°; przemieszczenia wzdłuż uskoku porudnych przekraczają nieraz 100 m.

Prawdopodobne jest istnienie kaldery górnioceńskiej Chonta koło Suycutambo (Ericksen i in., 1995), rozległej kaldery plioceńskiej na południe od Caylloma, która stała się źródłem formacji Sencca (Noble i in., 2003) i kilku ekstruzji dacytowo-ryolitowych w okolicy Arcata.

Złoże Caylloma

Caylloma jest najwcześniej odkrytym złożem w tej okolicy. W 1626 roku bracia Gamero zauważyli przy trasie Cuzco–Pampacolca bogate wychodnie kruszców. Wkrótce na zboczach wzgórz Grande, Los Apóstoles i Cuchilladas powstało kilkanaście kopalń, a w 1631 r. nad Apurimakiem i dopływami działały już 22 młyny, piec hutniczy i mennica (Gutiérrez i in., 1986). Caylloma stała się trzecim z najważniejszych centrów górnictwa w ówczesnym Wicekrólestwie Peru, po Potosi i Huancavelica. Rocznie wytapiano tu 100 000 marek srebrnych. Dopiero z końcem XVIII wieku mennicę przeniesiono do Arequipy. Początkowo wydobywano srebro rodzime ze strefy utlenienia i srebronośne siarczki oraz złoto (Silberman i in., 1985), natomiast pozyskiwanie metali towarzyszących nie było atrakcyjne. Szybko wyczerpało się złoto, a pod koniec wieku XVIII ilość produkowanego srebra spadła czterokrotnie. Podczas powstania ludowego pod wodzą Tupak Amaru II przeciwko Hiszpanom urządzenia zostały zniszczone. Jeszcze przed wojną o niepodległość Peru, z początkiem XIX w. Caylloma wyludniła się.

Renesans górnictwa nastąpił podczas II wojny światowej. Uruchomiono kopalnię rud miedzi, srebra, ołowiu i cynku; praca w nich zamarła na pewien czas wkrótce po

Tab. 3. Produkcja górnicza w okolicy Orcopampa i Caylloma w 2003 roku

Table 3. Mine production in the Orcopampa and Caylloma areas in 2003

Kopalnia <i>Mine</i>	Au [kg]	Ag [kg]	Pb [t]	Zn [t]
<i>Chipmo</i>	5 642	1 968		
<i>Shila</i>	254	18 371		
<i>Paula</i>	122,4	2 086		
<i>Ares</i>	5 763	80 480		
<i>Arcata</i>	222	107 661	154	295
<i>San Cristobal</i>	48,5	41 665	243	380
Łącznie <i>Total</i>	12 052	252 231	397	675

wojnie. Obecnie działają tu 3 kopalnie średniej wielkości: *San Cristobal*, przejęta przez *Compañía Minera Arcata S.A.*, oraz należące do osób prywatnych *Sandra 104* i *Sandra 105*, a także dwie małe kopalnie *Candel* (Estudio, 2002). W trzech pierwszych wydobywane są polimetaliczne rudy srebra (około 8% Zn+Pb, 70–450 g/t Ag) ze znaczną domieszką złota (3 g/t), w kopalniach *Candel* zaś — rudy miedzi ze srebrem. Ze względu na surowy klimat w strefie wysokości 4700–5000 m n.p.m., na której znajdują się te kopalnie, produkcja prowadzona jest sezonowo i ma umiarkowaną wielkość (tab. 3). Natomiast biorąc pod uwagę ilość wydobytego dotąd srebra (tab. 4) jest to duże złożo epitermalne tego metalu.

Złoże leży 8 km na E od osady Caylloma. Skupia co najmniej 25 stromych żył o biegu NE (30–60°), usytuowanych w drugorzędnych uskokuach normalnych przy przecię-

Tab. 4. Zasoby rud w okolicy Orcopampa i Caylloma (dane wg CM Buenaventura 2003/2004)
 Table 4. Ore reserves in the Orcopampa and Caylloma areas (data according to CM Buenaventura 2003/2004)

Kopalnia Mine	Udostępnione <i>Developed</i>					Nie udostępnione <i>Undeveloped</i>			Wydobyte i bieżące**** [t] <i>Extracted and remaining**** [t]</i>	
	Ruda [tys. t] <i>Ore [kt]</i>	Zawartość [g/t] <i>Grade [g/t]</i>		Metal [t]		Ruda [tys. t] <i>Ore [kt]</i>	Metal [t]		Au	Ag
		Au	Ag	Au	Ag		Au	Ag		
<i>Orcopampa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1800
<i>Chipmo</i>	946	17,7	6,9	16,8	6,5	846	17,1	10,7	52	24
<i>Shila</i>	24	15,1	558,9	0,4	1,5	5	0,1	2,6	10	250
<i>Paula</i>	103	20,8	147,4	2,4	15,1	40	0,8	8,9	11	94
<i>Poracota</i>	0	0	0	0	0	1733	18,5	x	18	x
<i>Ares*</i>	556	26	275	14,5	152,9	x	x	x	38	430
<i>Arcata*</i>	281	1,3–2	498	0,6	140,0	x	x	x	14	(3000)**
<i>San Cristobal*</i>	133	~3	435	0,4	58,0	x	x	x	(1)	(300)
<i>Sandro</i>	143	3	69	0,4	9,9	x	x	x	x	(50)
<i>Candel I & III*</i>	2	x	245	x	0,4	x	x	x	x	x
Okręg Caylloma do 1995*** <i>Caylloma district until 1995***</i>		(1)	(450)						3	4000

x — brak danych; *dane o zasobach udostępnionych wg Ministerstwa Energetyki i Górnictwa Peru 2002/2003; **w nawiasach ocena przybliżona; *** wg Ericksen i in., 1995; **** zasoby łączne złóż (wydobyte i bieżące) wyliczone przez autorów

x — no data; * data on developed reserves AT 2002/2003 according to Min. Energia y Minas, Peru; **in brackets approximation; *** after Erickson et al., 1995; **** authors' calculation

ciu dwóch uskoków regionalnych (Ericksen i in., 1995). Przecinają one andezyty formacji Orcopampa (Dávila i in., 1988) i prawdopodobnie płytką, kopolową intruzję (Fornari & Vilca, 1979). Największa z nich, Esperanza–San Cristobal, ma długość ponad 3 km, żyła Animas blisko 1,5 km, a pozostałe 0,3–1 km. Szerokość ich jest zmienna, miejscami przekracza 2–3 m. Po jednej stronie tego systemu żył przemieszczenia są grawitacyjne, a po drugiej przesuwcze. Na krótkich odcinkach następują gwałtowne zmiany biegu i rozwidlenia żył oraz przemieszczenia pominalizacyjne. Szczeliny wypełnia kilka generacji kwarcu z pirytem, chalkopirytem, sfalerytem, galeną i tetradrytem, a miejscami kalcyt z siarkosolami srebra i srebrem rodzimym. Generacje te tworzą tekstury pasmowe i brekcjowo-kokardowe; najmłodszym towarzyszą druzy z kalcytem, minerałami srebra i antymonitem. Strefa srebrowności (o znaczeniu ekonomicznym) z domieszką złota ma zasięg pionowy 300–450 m i wyraźną granicę górną, natomiast ku dołowi przechodzi w uboższą w srebro strefę Zn-Pb(-Cu). Przeobrażenie skał otaczających należy do typu adularowo-serycytowego (Ericksen i in., 1995). Silberman i in. (1985) określili wiek mineralizacji na około 16 mln lat.

Suyckutambo

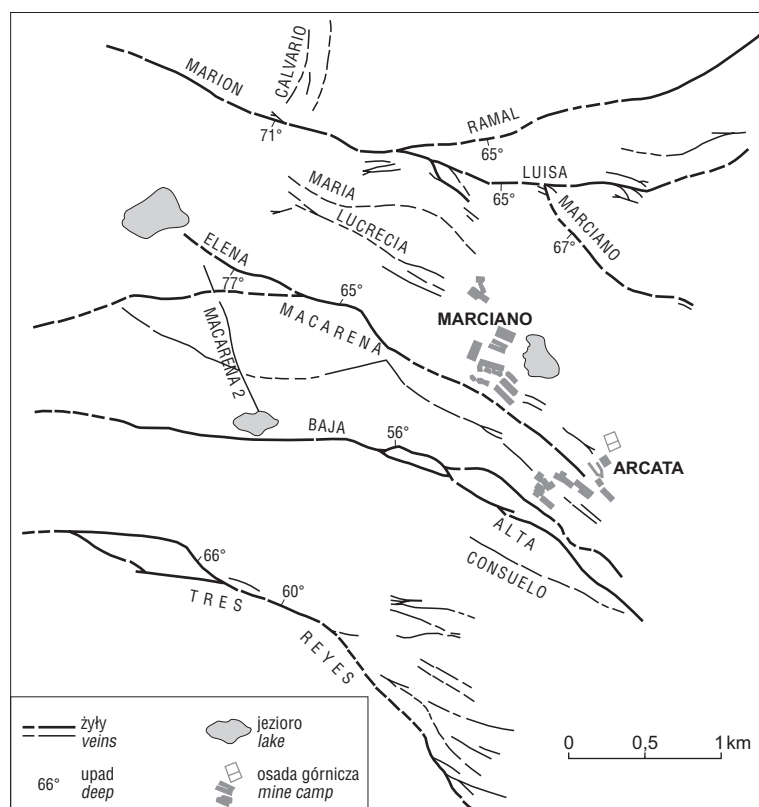
Suyckutambo leży 15 km na północ od Caylloma, na wysokości 4800–5000 m n.p.m. i należy administracyjnie do departamentu Cuzco. Żyły występują w kalderze Chonta o wieku 11,4 mln lat (Ericksen i in., 1995). Tworzą one zespół drabinkowy, złożony z dwóch głównych żył biegnących wzdłuż uskoków przesuwczych o biegu NW i W, długich na 1–1,5 km, oraz poprzecznych „szczelbi” o długości do 500 m i szerokości 0,2–1 m, wypełniających sprężone szczeliny tensyjne (Fornari & Vilca, 1979). Przecinają one wulkanity formacji Orcopampa i Ichucollo. Zespół mineralny jest podobny jak w Caylloma, lecz porcja Au/Ag nieco wyższa od 0,01. Wydobyte prowadzono w okresie powojennym, w czasie reaktywacji okręgu Caylloma. Od ponad ćwierćwiecza nie prowadzi się tu już koncesjonowanej eksploatacji, doraźnie natomiast bywają ponawiane nielegalne próby wydobywania.

W bliskiej okolicy Caylloma i Suyckutambo występuje ponadto sporo mniejszych żył kruszczowych, które noszą ślady dawnej eksploatacji. Fornari & Vilca (1979) uważają, że przejawy mineralizacji w San Miguel, znajdujące się również w andezytach formacji Orcopampa, są obiecujące.

Złoże Arcata

Złoże Arcata tworzy 8 stromych żył szczelinowych o długości 2–4 km, mniej więcej równoległych, W-E do NW-SE, zamkniętych w polu o szerokości 5 km (ryc. 2). Przecinają one 400-metrowej miąższości zespół potoków lawowych, tufów i brekcji formacji Sencca, tworząc strukturę ekstensyjną w małej kalderze, z której wypłynął potok piroklastyczny Umachulco przed około 6,3 mln lat (Candiotti de Los Rios i in., 1990). Do kalderki intrudowały małe pnie ryolitowe, datowane na około 5,9 mln lat, z którymi może być związane rozległe przeobrażenie hydrotermalne skał (propylityzacja) i okruszczowanie. W pobliżu żył obserwuje się metasomatozę potasową — skały składają się z adularu, kwarcu, serycytu, albitu, chlorytu i niekiedy kalcytu i ałunitu. Wiek radiometryczny K-Ar adularu i ałunitu w żyłach i skałach otaczających wynosi około 5,4 mln lat i tę datę przyjmuje się za początek procesów mineralizacji. Lawy andezytowe i bazaltowe plejstoceno-holocenoformacji Andahua (Galaś & Paulo, 2005) są młodsze od końca mineralizacji.

Żyły mają wychodnie na wysokości 4600–4900 m n.p.m. i zostały prześledzone lokalnie do poziomu 4350 m; zwykle zanikają płycej niż 500 m pod powierzchnią terenu. Mają grubość przeciętnie 1,2–2,5 m, ale w nabrzmieniach zawierających najbogatsze rudy osiągają 4–12 m. Często



Ryc. 2. Struktura złoża Arcata (Candiotti de Los Rios i in., 1990)

Fig. 2. Geological structure of the Arcata gold-silver deposit (Candiotti de Los Rios et al., 1990)

rozwidlają się przy powierzchni. Wypełnia je kilka odmian kwarcu, adular, kalcyt, rodochrozyt, syderyt, rodonit, chloryt, fluoryt oraz siarczki i siarkosole. Tworzą one tekstury pasmowe, kokardowe i druzowe, typowe dla żył epitermalnych. Metale szlachetne zawarte są głównie w pyrargirycie i innych siarkosolach srebra oraz w akantycie i elektrum, towarzyszących najmłodszej generacji kwarcu z rodochrozytem, kalcytem, fluorytem i chlorytem. Przy powierzchni występowało srebro rodzime. Wczesne generacje kwarcu obfitują w siarczki Zn, Pb, Cu, piryt, lokalnie arsenopiryt i antymonit. W decymetrowej szerokości pasmach na głębszych poziomach udział siarczków dochodzi do 20–30%. Homogenizacja inkluzji w kwarcu i siarczkach wskazuje na temperatury powstania zespołu starszego (polimetalicznego) od 230 do 270 °C i umiarkowaną solność roztworów (= 3% eq. NaCl). Młodsza generacja minerałów z metalami szlachetnymi, wypełniająca słupy rudne w rozszerzeniach szczelin, krystalizowała z roztworów niżjetermperaturowych 100–200 °C i mniej słonych. Tego rodzaju badania szczegółowe zmierzały do znalezienia kanałów doprowadzających roztwory hydrotermalne oraz określenia prawidłowości rozmieszczenia w nich metali i perspektyw powiększenia zasobów złoża (Candiotti de Los Rios i in., 1990).

Dwie żyły były eksploatowane przy powierzchni w czasach kolonialnych. Współczesną eksploatację rozpoczęto w 1964 roku po udostępnieniu złoża sztolniami upadowymi i systemem chodników poziomych. Do 1989 r. rudę flotowano, uzyskując tylko koncentrat srebrowy. W ciągu 25 lat wyprodukowano 1902 t Ag i 4,5 t Au z nadawy o średniej zawartości 544 g/t Ag i 1,3 g/t Au. W ostatnich latach uzyskuje się około 100 t Ag i ponad 200 kg Au rocznie (tab. 3). W miarę przemieszczania eksploatacji w głąb

stwierdzono, że zawartość Cu w urobku zmienia się niewiele — zwykle waha się w granicach 0,02–0,15%. Obserwowano natomiast wzrost zawartości metali nieżelaznych, od 0,1–1% Zn+Pb na poziomie sztolni do 1,5–10% Zn+Pb na poziomach położonych 200–300 m poniżej. Dlatego z końcem 1989 r. rozpoczęto produkcję koncentratów Zn i Pb, które są eksportowane poprzez port w Matarani.

Złoże Ares

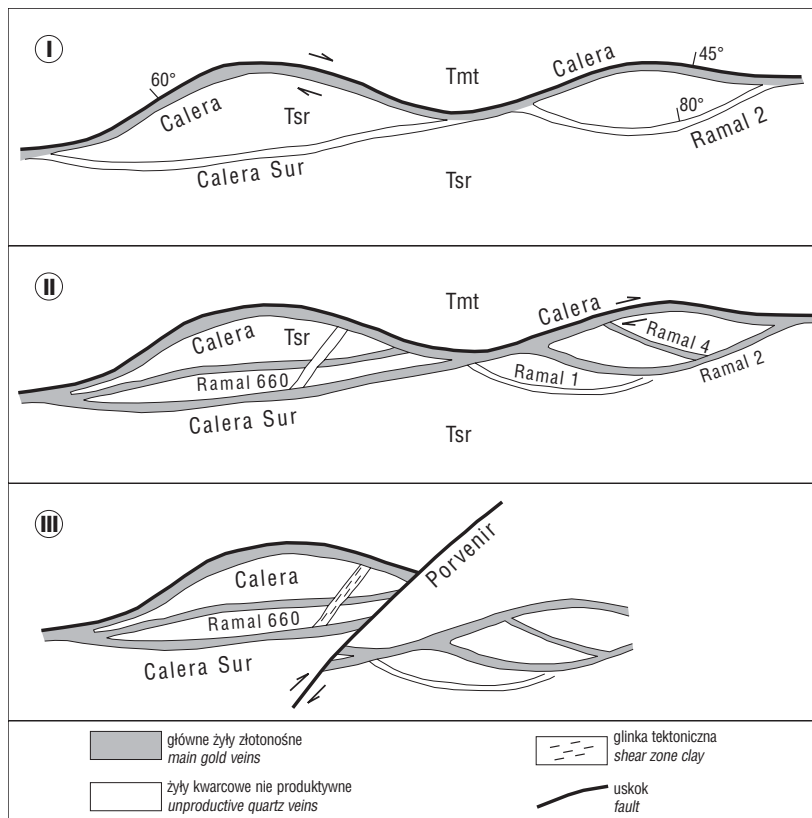
Złoże to występuje w serii żył w formacji Barroso o przeważającym biegu NE-SW. Jest to najmłodsze złoże epitermalne w omawianym regionie. Zostało odkryte w 1988 roku, a kopalnię podziemną uruchomiono 10 lat później. Znajduje się ona na pustkowiu, w pobliżu dużego jeziora polodowcowego Machucocha, na wysokości około 5000 m n.p.m. Zasoby inicjalne wynosiły 1,28 mln t rudy o zawartości 19 g/t Au i 7 g/t Ag (Chadwick, 2000). Po pogłębieniu upadowej okazało się, że jakość rudy uległa wyraźnej poprawie i w konsekwencji wzrosły zasoby (tab. 4).

Wzbogacony urobek ługowany jest cyjankami. Z kopalni uzyskuje się rocznie około 80 ton srebra i blisko 6 ton złota, chociaż z powodu występowania od czerwca do sierpnia ujemnych temperatur powietrza sezon pracy jest skrócony.

Złoże Orcopampa

Złoże Orcopampa składa się z kilkunastu stromych, rozgałęzionych żył kwarcowych z domieszką adularu, serycytu, rodochrozytu, rodonitu i siarczków. Mają one wychodnie na wzgórzach (3900–4250 m n.p.m.) położonych na wschód od miasteczka. Tu rozpoczęła się eksploatacja rud srebra, która z końcem XVIII wieku osiągnęła głębokość ponad 100 m, lecz w 1842 r. zamarła. Po roku 1960 odkryto kilka żył, które były zamaskowane przez osuwiska. Najważniejszą z nich, Calera, okazała się bonanzą o zasobach ponad 2 mln ton rudy ze średnią zawartością 4,7 g/t Au i 555 g/t Ag. Bonanzę eksploatowano w latach 1981–1992. Później, mimo drobnych odkryć w tej i innych żyłach, nastąpił zmierzch produkcji i w 1993 roku wydawało się, że znów okrąg będzie zamierał. Od kilku lat złoże Orcopampa jest wyczerpane, ale *Buenaventurze* udało się uruchomić nowe kopalnie.

Choć przez kilka lat produkcja roczna przewyższała 150 t Ag i 1–2 t Au (Gibson i in., 1993), to z Orcopampy dostarczono łącznie tylko 1800–2000 t Ag i około 13 t Au (tab. 4). Jest to mało na tle wielkich złóż metali szlachetnych, ale dość dużo na tle złóż epitermalnych. Dla porównania podajemy zasoby inicjalne słynnych z wielkości epitermalnych złóż USA — Comstock: około 312 t Au i 7300 t Ag oraz Goldfield 136 t Au i niespełna 49 t Ag (Vikre, 1989). Przy takim porównaniu trzeba zwrócić uwagę na inne proporcje kosztów produkcji i historycznych cen. Trudniejsze warunki geograficzne i znacznie niższe ceny srebra w ostatnim 10-leciu eksploatacji złoża Orcopampa spowodowały zaniechanie eksploatacji uboższej rudy. Tak więc należy uznać, że złoże Orcopampa jest dość dużym obiektem w kategorii złóż epitermalnych.



Ryc. 3. Stadia rozwoju tektoniki i mineralizacji w żyłce Calera, złożu Orcopampa (Mayta & Lavado, 1995). Tmt — tuf Manto, Tsr — wulkanity Santa Rosa

Fig. 3. Tectonic and mineralization stages in the Calera vein, Orcopampa mine (Mayta & Lavado, 1995). Tmt — Manto tuff, Tsr — Santa Rosa volcanics

Złoże Chipmo

Do złoża Chipmo należy 14 żył epitermalnych, znajdujących się przy rzece Chilcaymarca, 3 km na SW od miasteczka Orcopampa i 5 km na zachód od zakładu wzbogacania rud, zbudowanego przy historycznym już złożu srebra i złota Orcopampa. Jest to położenie wyjątkowo korzystne z powodu bliskości infrastruktury, lecz zagrożone dopływami wody poprzez gruboziarniste aluwia. Eksploatacja prowadzona jest w dwóch lub trzech żyłach głównych o długości 2 km i szerokości 2–4 m, a w lokalnych nabrzmieniach

do 10–15 m. Sięga ona już 300 m poniżej koryta rzeki, a w planach ma być pogłębiona jeszcze o 100–200 m.

Żyły powstały w wielokrotnie odnawianych uskockach grawitacyjnych i przesuwczych. Przecinają one kompleks dacytowych i andezytowych kopuł subwulkanicznych Sarpane i tuf Manto, który uległ wyraźnym zmianom hydrotermalnym, a przykryty jest przez nie przeobrażony tuf Chipmo, plejstocenijskie i holocenijskie żwiry rzeczne oraz lawy plejstocenijskiego wulkanu grupy Andahua (ryc. 4). Większość złotośnośnych żył kwarcowych ma kierunek równoleżnikowy do NE i stromy upad. Na północ od wspomnianego wulkanu i około 5 km od głównych żył Chipmo odsłania się ponownie przeobrażony kompleks Sarpane, przecięty strefami sylifikacji o tych samych kierunkach i krótkimi żyłami kwarcu z oznakami wyługowania siarczków. W pojedynczych próbkach oznaczono tu zawartość do 15 g/t Au w żyłce szerokiej na 0,4 m. Kilka kilometrów dalej na NE znajdują się źródła termalne. Po drodze do nich odsłaniają się żyły kwarcowe z pirytem i tlenkami manganu, jednakże zawierają przeważnie poniżej 0,5 g/t Au.

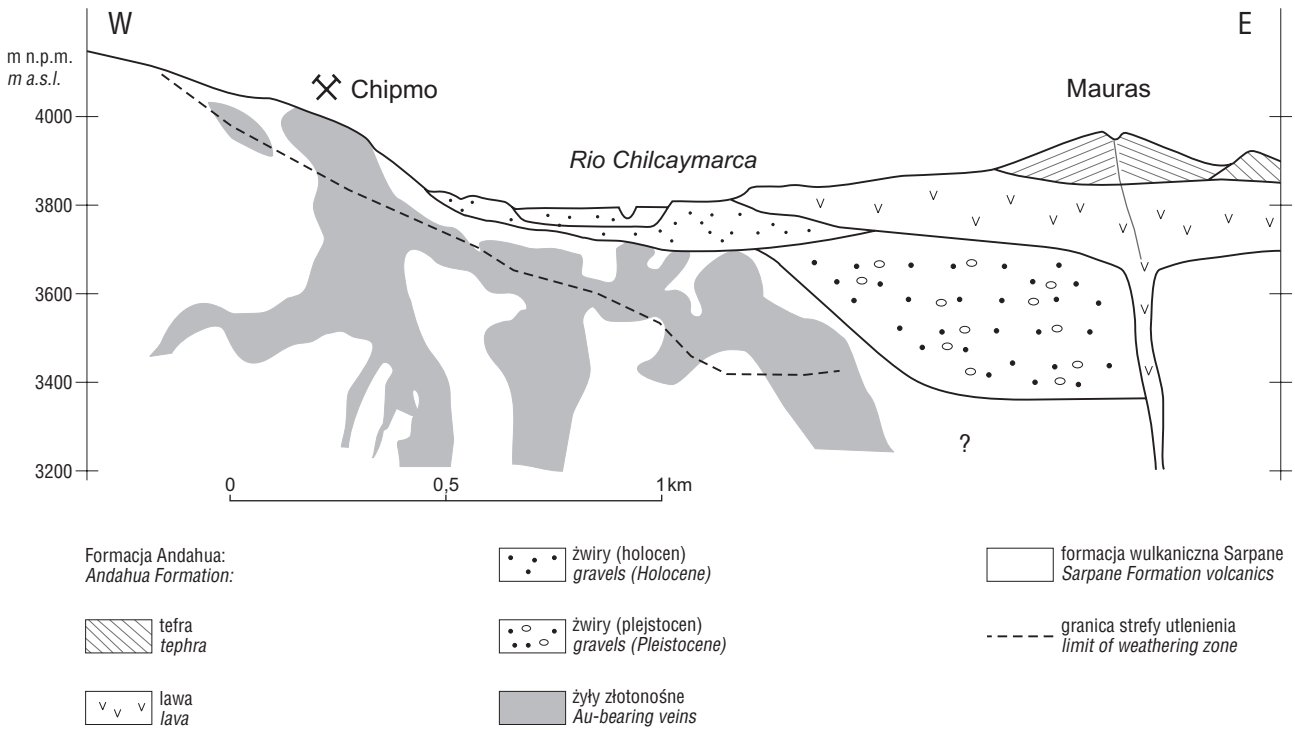
Wiek magmatyzmu w Chipmo i Orcopampa jest taki sam, a mineralizacja w obydwu przypadkach jest młodsza względem intruzji o 0,5–1 mln lat (Mayta i in., 2002). Prawdopodobnie są to dwa kanały wielkiego systemu magmowo-hydrotermalnego, dziś rozdzielonego rowem tektonicznym.

Przeobrażenia hydrotermalne wokół żył złotośnośnych Chipmo polegają głównie na sylifikacji i zaawansowanej argilityzacji — dickit, kaolinit, alunit, diaspor — przechodzącej na zewnątrz w umiarkowaną argilityzację — illit, smektyt (ryc. 5). W żyłach występuje kilka odmian kwarcu i barytu o teksturach pasmowych i brekcjowych. Kwarcowi szaremu i mlecznemu towarzyszą kruszce: złoto rodzime, tellurki złota, srebra (ryc. 6, 7*) i bizmutu, elek-

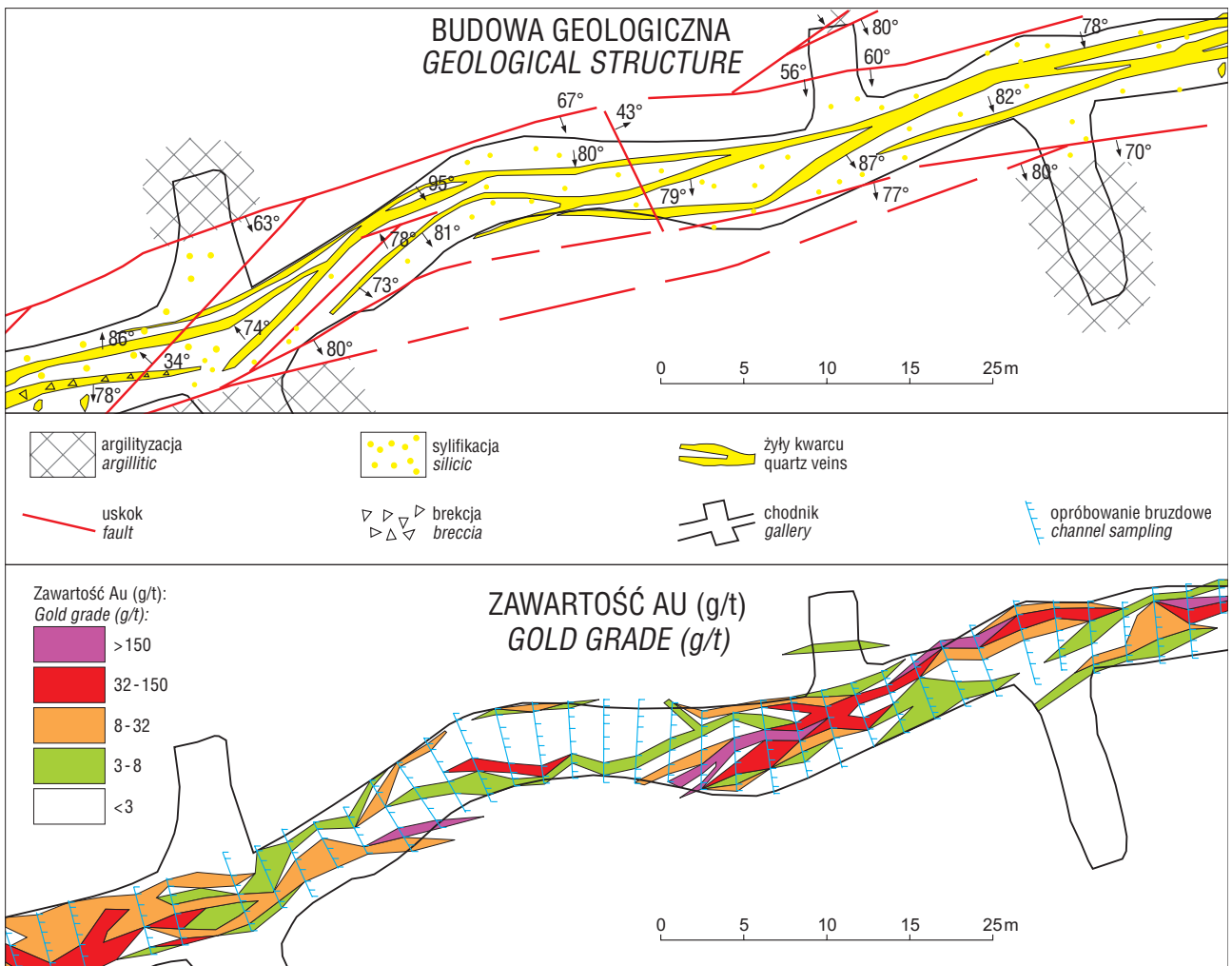
Żyły mają długość 0,5–4 km, grubość 1–10 m, niektóre sięgają 400 m poniżej wychodni. Ich bieg jest E–W do NE. Wypełniają szczeliny uskocków grawitacyjnych o zrzućcie kilkuset metrów. Przecinają wulkanity Santa Rosa, tuf Manto i subwulkaniczny kompleks Sarpane; wchodząc w mezozoiczne skały osadowe podłoża szybko zanikają. Na podstawie datowania izotopowego K-Ar i $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ adularu w żyłach i przeobrażonych skałach otaczających uzyskano wiek mineralizacji około 17,7 mln lat, a więc wkrótce po intruzji Sarpane (Gibson i in., 1995).

Tekstury brekcjowe wskazują na kilkufazową mineralizację wraz z otwieraniem szczelin. Najstarszy system tworzy kwarc z adularem, serycytem i pirytem. Powstał on zapewne w czasie, gdy skały otaczające w pobliżu szczelin ulegały metasomatozie adularowo-serycytowej, a w dalszej odległości propilityzacji (Mayta & Lavado, 1995). Z kolei w szczelinach na dużym obszarze wytrąciły się minerały manganu (rodonit, rodochrozyt) z kwarcem i siarczkami Zn, Pb, Cu i Ag, a później kwarc z tetraedrytem i tellurkami metali szlachetnych. Faza czwarta — bonanza — jest reprezentowana tylko w stosunkowo wąskich słupach rudnych dwóch żył, nie wzdłuż uskoku Calera, lecz w później otwieranych szczelinach w skrzydle leżącym (ryc. 3). Wytrąciły się wówczas kwarc z pirytem, galeną, siarkosolami i tellurkami Ag, Au, Hg i Cu oraz elektrum. W końcowej fazie krystalizował kwarc z barytem, galeną, sfalerytem i kolomorficznymi siarczkami Fe. Bonanza wyróżnia się wysoką zawartością metali szlachetnych, w tym >15 g/t Au (lokalnie 200–400) i >300 g/t Ag (lokalnie >1,2 kg/t), wobec zawartości nie przekraczającej 3–7 g/t Au w rudzie powstałej w innych fazach. Średnie domieszki metali podstawowych wynosiły około 0,15% Cu, 0,3% Pb i 0,3–0,4% Zn. Odzyskiwane były tylko metale szlachetne. Stosowano płukanie rudy gruboziarnistej, a następnie jej cyjanizację oraz flotację drobnociarnistego przelewu.

*ryciny 6–12 zamieszczono na str. 703–704



Ryc. 4. Przekrój przez złożo Chipmo (Mayta i in., 2002)
 Fig. 4. Cross-section of Chipmo deposit (Mayta et al., 2002)



Ryc. 5. Struktura i zmienność mineralizacji w żyłę Nazareño, złożo Chipmo (Mayta i in., 2002)
 Fig. 5. Geological structure and grade variability in the Nazareño vein, Chipmo gold mine (Mayta et al., 2002)

trum, piryt, tetraedryt-tennantyt oraz sporadycznie inne siarczki i siarkosole. Większość minerałów złota ma wymiary <0,05 mm. Średnia zawartość złota w wydobywanej rudzie wynosi 15–16 g/t, a proporcja Au:Ag \approx 5. W rudach bogatych, zawierających około 150 g/t Au, stosunek Au:Ag wzrasta do 50.

Od początku eksploatacji, tj. w latach 1998–2003, wydobyto około 17 ton złota, a pozostała w złożu część oceniono na 18 t Au w zasobach 1,1 mln t rudy o średniej zawartości 16 g/t Au i 3 g/t Ag (Mapa, 2001; CM Buenaventura). Pozwala to na utrzymanie produkcji do końca 2006 roku. Uzysk złota wynosi 95–96%, a srebra tylko 65%. Powodem dużych strat srebra są jego domieszki w siarczku polimetali, które są tu odpadem flotacyjnym. Główną metodą odzysku złota jest cyjanizacja z zastosowaniem węgla aktywnego w pulpie.

W Oddziale Orcopampa *Buenaventury* pracuje wielu ludzi. Przy wydobywaniu, przeróbce oraz nadzorze geologicznym i mierniczym w Chipmo zatrudnionych jest 380 osób, a przy poszukiwaniach w okolicy, w kopalni doświadczalnej *Poracota* i z rozmachem budowanej infrastrukturze, kolejnych 820 osób. Koszty operacyjne w Chipmo są niskie; w 2003 r. wynosiły 63,69 USD/t, co gwarantuje duży dochód.

Złoże Poracota

W latach 1995–1996 poszukiwania prowadzone przez kanadyjskie korporacje geologiczno-górnictwo, *Teck* i *Southwestern Gold (SWG)*, doprowadziły do odkrycia na płaskowyżu (ok. 4300 m n.p.m.), 15 km na zachód od Orcopampy, mineralizacji złotem określonej po raz pierwszy w tej okolicy jako *manto*. Początkowo koncesja obejmowała powierzchnię 97 km², następnie wybrano najbardziej obiecującą strefę Huamanihuayta, gdzie wykonano około 7 km wierceń rdzeniowych. Udokumentowano zasoby geologiczne 1,73 mln ton rudy o średniej zawartości 10,7 g Au/t. *Buenaventura* zamierza odkupić złoże od wymienionych kompanii (50% od *SWG* i 25% od *Teck*); zbudowała już szeroką drogę o długości ponad 30 km do Poracota i prowadzi szczegółowe rozpoznanie podziemne. Inwestycja stwarza nadzieję na przedłużenie żywotności zakładu wzbogacania w Orcopampa o kolejnych kilka lat.

Złoże Shila

Złoże Shila znajduje się wśród poszarpanych szczytów grupy górskiej o tej samej nazwie, 20–25 km na wschód od Orcopampy, lecz najkrótsza droga gruntowa, spinająca te miejsca, liczy około 50 km. Złoże związane jest przestrzennie z mioceńską kalderą wulkaniczną Huayta, a genetycznie z przeobrażeniem hydrotermalnym, które nastąpiło po ekstruzji kopuły ryodacytowych wieku $13 \pm 0,6$ mln lat (Marcoux i in., 1998). Przeobrażenie manifestuje się rozległym wybieleniem i zaczerwienieniem skał. Wiąże się z zamieraniem aktywności tektonicznej II fazy kecuańskiej (10–7 mln lat) i zmianą pola naprężeń na krawędzi kontynentu (Sébrier & Soler, 1991) albo jeszcze późniejszymi zdarzeniami pod koniec pliocenu (Blès, 1989; *vide* Marcoux i in., 1998).

Złoże obejmuje 20–30 żył epitermalnych, różniących się kierunkiem i zespołem paragenetycznym. Występują one w kilku sektorach na powierzchni około 10 km² w strefie wysokości 4900–5200 m n.p.m. i są udostępnione sztolniami. Kilka kilometrów na północ od zespołu kopalń, u zbiegu

największych potoków, około 4700 m n.p.m., zbudowano zakład wzbogacania.

Wśród żył dominują kierunki E-W i NW-SE, zdarzają się też starsze żyły o biegu NE-SW. Wszystkie mają stromy upad, ponad 75° ku N lub S. Roztwory hydrotermalne wykorzystywały szczeliny z rozrywania dwóch stadiów różniących się polem sił i azymutem (Marcoux i in., 1998). Często rozwinięte są pasma kruchości ścinania. Żył są krótkie (<100 m) i umiarkowanie szerokie (0,2–2,5 m); sięgają w głąb do 150 m. Niektóre mają cechy sztokwerku.

Wypełnienie poszczególnych systemów żył różni się. W dwóch systemach brekcja skał hydrotermalnie przeobrażonych spojona jest siarczkami, a zawartość złota wynosi około 60 g/t. W pozostałych żyłach można zauważyć pasmową i kokardową teksturę (ryc. 8) z następstwem: brekcja zsylikowana z adularzem (i niekiedy rodonitem) — rodochrozyt — kwarc z gęsto przzerośniętymi siarczkami i siarkosolami Fe, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb, As oraz elektrum. Cechuje je duża zawartość srebra i mała złota.

W wyniku badań inkluzji (Marcoux i in., 1998) wykazano istotne różnice składu i temperatury roztworów mineralizujących różne kierunki szczelin: niskotemperaturowy (około 7 °C) i stosunkowo słabo zmineralizowany (0,7–5% eq. NaCl) roztwór lekkiego węglanu bogaty w CO₂ oraz wysokotemperaturowy (230–300 °C), ale bez oznak wrzenia roztwór krzemionkowo-siarczkowy. Skład izotopowy ołowiu wskazuje na pochodzenie skorupowe (Marcoux i in., 1998).

W celu eksploatacji tego małego złoża i zmniejszenia ryzyka inwestycyjnego powołano oddzielne przedsiębiorstwo CEDIMIN z udziałem kapitału francuskiego. Posiada ono również 51% udziałów w niedalekiej kopalni *Paula* (49% należy do mniejszych inwestorów). Wydobyte rozpoczęto w 1990 r. W poszczególnych systemach żył trwało ono po kilka lat. Rozpoznawane stopniowo łączne zasoby złoża wyniosły około 10 t Au i 250 t Ag.

U zbiegu dolin, gdzie na wysokości 4700 m n.p.m. potoki prowadzą wystarczającą ilość wody, zbudowano nowoczesny zakład, w którym przerabianych jest do 250 t rudy/dobę. Zakład wyposażony jest w podręczne laboratorium chemiczne. Zmieloną rudę poddaje się płukaniu, a następnie flotacji siarczków, oczyszczaniu na filtrach, odtlenieniu, cyjanowaniu w kadziach i dwutorowemu postępowaniu zależnie od stężenia roztworów. Do roztworów bogatych w metale szlachetne dodaje się soli ołowiu i sproszkowanego cynku w celu wytrącenia złota i srebra, po czym odzyskuje się precypitat na filtrach. Roztwory o mniejszej zawartości metali szlachetnych są absorbowane węglem aktywnym, wymywane, a następnie osadzone elektrolitycznie. Precypitat i katody z osadem Au-Ag oczyszcza się kwasami w celu usunięcia domieszek Zn, Fe, Cu i Pb, a następnie przetapia na metal *doré*. Odzyskuje się tylko metale szlachetne, a siarczki Cu, Zn i Pb i ich roztwory kierowane są do osadnika.

Gniazda najbogatszej rudy, ponad 300–600 g/t Au, wydobywane są oddzielnie i taki naturalny koncentrat sprzedawany jest wprost kompani *Buenaventura*. W ciągu 15 lat w zakładzie wzbogacania *Shila* przerobiono niespełna 800 000 t rudy o średniej zawartości 12 g/t Au i 260–320 g/t Ag, uzyskując 8,45 t złota i 202,4 t srebra. Ponieważ uzysk przerobczy wynosi 85–90%, można sądzić, że jeśli nie nastąpi odkrycie nowych zasobów, kopalnia zostanie wkrótce zamknięta.

Złoże Paula

Złoże Paula położone jest we wschodniej części Cordillera Shila, na wysokości 5000–5300 m n.p.m. (ryc. 9). Jest to jedno z najwyższych położonych na świecie osiedli górniczych — 5015 m. Załoga wynosi 150 osób.

Obejrzelśmy najbogatsze żyły: Española w sztolniach na poziomach 5160 i 5225 m n.p.m. oraz Nazareño 5 na poziomie 5060 m n.p.m., a także stary (XVIII w.) szybik poszukiwawczy przy wychodni żyły San Carlos, na grani o wysokości około 5350 m n.p.m. Wychodni żył jest niewiele. Stoki południowe pokrywa wieczny śnieg, a na stokach północnych ciągną się rozległe, kolorowe piargi (ryc. 10) o grubości 2–10 m. Kocioł polodowcowy, z którego udostępnia się złoże, jest otwarty na wschód; dno wypełniają moreny i lawy Andahua. Tylko od zachodu jest sporo wychodni — przede wszystkim kopuły intruzywne, dacytowa i ryolitowa, z którymi wiąże się mineralizację.

Dotąd odkryto 12 żył głównych, które mają liczne odgałęzienia. Istotne zasoby złota stwierdzono tylko w 6 z nich. Żyły mają długość 400–1200 m, grubość 0,2–2,5 m i stromy upad — średnio 70° (ryc. 11). Odcinki produktywne są znacznie krótsze, mają długość do 100 m i zasięg pionowy rzadko większy od 150 m. Część żył ma kierunek E-W, inne ENE-WSW i ESE-WNW. Występują w przeobrażonych andezytach porfirowych kopuły intruzywnej, brekcjach wulkanicznych i dajkach andezytowych kompleksu Fullchulna (tab. 2). Te przedrudne dajki są zwykle nie zmineralizowane. Przeobrażenia polegają na penetracyjnej serycytyzacji i adularyzacji w pobliżu żył kwarcu, z nasileniem pirytyzacji i kalcytyzacji na kontakcie z niektórymi żyłami (ryc. 12), oraz na rozległej propilityzacji w dalszej odległości od żył (Rosas, 2001). Jest to złoże złota typu niskosiarczkowego.

Głównym składnikiem żył jest tworzący kilka generacji kwarc — biały z tabliczkami kalcytu („mleczny”), szary, ametystowy i hialinowy — oraz przezroczysty, druzowy chalcedon. Generacji kwarcu o kolorze szarym towarzyszą siarczki (piryt, chalkopiryt, sfaleryt, galena i akantyt), siarkosole miedzi i srebra (tetraedryt, enargit, stefanit i polibazyt) oraz elektrum i złoto rodzime (ryc. 13).

Złoże to zostało odkryte w 1991 r. i po wstępnym rozpoznaniu podjęto wydobywanie w 1996 r. Jest ono prowadzone na małą skalę i w stosunkowo bogatych partiach złoża, aby zapewnić zwrot kosztów eksploracji. Zawartość brzożna złota w rudzie jest więc bardzo wysoka — 15 g/t. Do 2001 r. wydobyto 37 400 t rudy o średniej zawartości 20 g/t Au i 175 g/t Ag (Llosa i in., 2002). W ostatnich latach produkcja przekroczyła 14 000 t rudy na rok, a w 2003 r. uzyskano z niej 338 kg Au i 2,14 t Ag (www.buenaventura.com). Zasoby przemysłowe wynoszą 105 000 t o średniej zawartości 18,5 g/t Au, co wystarczy tylko na 7 lat wydobywania.

Możliwości powiększenia zasobów są już niewielkie, gdyż sztolnia osiągnęła dno kotła polodowcowego. Rozważa się budowę sztolni poszukiwawczych z sąsiedniej doliny od zachodu, która jest głęboko wcięta, lecz na razie niedostępna komunikacyjnie. Budowa drogi przez tę dolinę, a może i tunelu, skróciłaby znacznie transport rudy z kopalni *Paula* do zakładu przerobczego przy kopalni *Shila*. Odległość powietrzna między tymi kopalniami wynosi tylko 10 km, ale obecnie wozi się rudę na trasie 35 km przez dwie śnieżne przełęcze o wysokości około 5200 m n.p.m.

Innym problemem jest wyznaczenie granic bloków eksploatacyjnych. Opróbowanie bruzdowe wykonywane jest co 2 metry po biegu żył. Z całej szerokości żyły (kwali-

fikowanej megaskopowo) oraz boku wiszącego i leżącego pobiera się próbki o ciężarze 4 kg i wysyła co tydzień do laboratorium w Limie. Po kolejnym tygodniu wyniki prze-lazowane są do kopalni. W praktyce więc dopiero po 2–3 tygodniach od odsłonięcia przodku wiadomo, co można zakwalifikować jako rudę (do urobku), a co jako skałę płoną (do podsadzania).

Złoże Madrigal

Madrigal jest najniższą położoną (3200 m n.p.m.) osadą górniczą omawianego regionu. Prawdopodobnie powstało wcześniej niż kopalnie, przed konkwestą, skupiając ludność rolniczą. Osada leży na skraju uprawnej doliny Colca, w miejscu, gdzie przechodzi ona w głęboki kanion. Zbiegają się tu spadające z gór strome wąwozy, głęboko wyżłobione w 300–400-metrowej serii mioceńskich andezytów i zlepieńców. Erozja w wąwozach odsłoniła niewielki pień dacytowy, intruzywny w andezyty, oraz sfałdowane podłoże — skały osadowe górnej jury i dolnej kredy. W dwóch wąwozach na wysokości 3200–3600 m n.p.m. erodowane jest złoże i tam poprowadzono sztolnie kopalniane. Żyły kruszcowe znajdują się w mioceńskich skałach wulkanicznych i subwulkanicznych, a jedna z nich wchodzi w niżejległe łupki mezozoiczne (Tumialán, 1991).

Warto tu zauważyć, że omawiane złoże znajduje się jednocześnie na przedłużeniu linii stratowulkanów Ampato–Sabancaya–Hualca Hualca i strefy asymetrycznych fałdów zębatach i skrzynkowych wzdłuż kanionu Colca. Jest to więc węzeł tektoniczny i miejsce wyraźnego osłabienia skorupy ziemskiej.

Do złoża należy kilka żył szczelinowych o biegu od WNW-ESE do W-E, nachylonych 40–75° ku północy. Największa z nich, Santa Rosa, ma długość 4 km i jest podłużnie przecięta przesuwczo-zrutowym uskokiem pomineralizacyjnym, ewidentnie reaktywowanym (Tumialán, 1991). W sąsiedztwie zidentyfikowano 5 innych uskoków grawitacyjnych i lewoprzesuwczych o zbliżonym kierunku oraz system późniejszych uskoków poprzecznych. Na skutek silnej erozji strefa utlenienia występuje szczątkowo.

Szczeliny wypełnia kwarc kilku generacji z siarczkami oraz późniejsze od nich kalcyt i rodochrozyt. Na głębszych poziomach dominują tekstury pasmowe żył, a na płytszych — brekcje kwarcu otoczone siarczkami i spojone węglanami. Wśród siarczków przeważa pirit, zwłaszcza w głębi, sfaleryt (marmatyt i odmiana czerwona), galena i chalkopiryt. Podrzednie występują tetraedryt i siarkosole srebra. Żyłom towarzyszy sylikacja, a w nieco większej odległości serycytyzacja i propilityzacja; lokalnie pojawia się granat (almandyn). W płaszczyźnie żyły Santa Rosa stwierdzono 3 pnie rudne, każdy o długości 200–400 m, pochylone 40–45° na W, związane z nabrzmieniami i prawdopodobnymi kanałami doprowadzającymi (Tumialán, 1991). W ich osi stwierdzono największą zawartość Cu i Ag, ku brzegom przybywa Zn (6–10%) i Pb (3–5%). Inne żyły są krótkie i gwałtownie zanikają. Od kilku lat kopalnia *Madrigal* jest nieczynna.

Kościół w Madrigal zbudowano z początkiem XVII w., a potem rekonstruowano po zniszczeniach przez trzęsienia ziemi (Gutiérrez, 1986). Osada ta jest niefortunnie zlokalizowana na aktywnym uskoku, który przed kilku laty zrujnował wieś Maca po drugiej stronie doliny Colca i powoduje osuwiska między tymi miejscowościami (Dávila i in., 1988). Powierzchnia osuwisk wynosi około 1,4 km². Biedny wystrój kościoła w Madrigal nie wskazuje na duże korzyści z

bliskości kopalń. W drugiej połowie XIX wieku kopalnie te były modernizowane przez polskiego uchodźcę, inżyniera Aleksandra Babińskiego (1823–1899). W latach 70. XX wieku podjęto budowę drogi z Arequipy do Madrigal, która obok projektu irygacyjnego *Majes*, przyczyniła się w walnie do udostępnienia doliny Colca.

Wnioski

Opisane złoża rud złota i srebra tworzą jeden z największych okręgów złóż epitermalnych na świecie, który jest intensywnie badany, lecz nie znalazł jeszcze miejsca w opracowaniach podręcznikowych.

Po stwierdzeniu, że kompleks wulkaniczny Andów Środkowych obejmuje nie tylko pomioceńskie centra eruptywne, nastąpiła radykalna zmiana poglądu o nieperspektywności tego sektora. Datowanie mineralizacji w Arcata i Ares, wykrycie plioceńskiej kaldery Caylloma, rozległych zmian hydrotermalnych w Cordillera Huanzo na północ od Orcopampy, przejawów okruszczenia w plejstocenie Cordillera del Barroso i w Mazo Cruz na SE od Arequipy (Chacon i in., 1997) sugeruje możliwość trwania procesów mineralizacji pod stratowulkanami w stadium solfatarowym i w systemach geotermalnych. Gorące źródła są znane nad Rio Colca, w Huancarama opodal Orcopampy i na przedłużeniu wycinka rozległej strefy wulkanicznej, który objęliśmy niniejszym opracowaniem. Odkrycia trwają i kolejne mogą nastąpić. Jednym z najbardziej perspektywicznych obszarów wydaje się Cordillera Huanzo na północ od Arcata, gdzie zidentyfikowano dwie kaldery i widoczne są kolorowe strefy przeobrażeń w kwaśnych lawach i tufach neogeńskich (Erickson i in., 1995).

Opisane złoża mają wiele cech wspólnych, co pozwala na opracowanie modelu służącego poszukiwaniom. Model opisowy, zaproponowany przez Heald i in. (1987), a uszczegółowiony dla Andów Środkowych przez Ericksona i in. (1995), sprawdził się w ogólności. Większość złóż należy do podtypu niskosiarkowego (adularowo-serycytowego), a pojedyncze — do powstającego płycej wysoki-siarkowego (endogenicznego siarczanowego). Trudno określić uprzywilejowany kierunek żył. Rozpoznanie szczegółowe złoża Poracota powinno dać odpowiedź na pytanie, czy model *manto* sprawdził się i czy można prognozować odkrycie kolejnych, podobnych złóż.

Autrzy składają podziękowanie dr. Stanisławowi Dunin-Borkowskiemu, profesorowi UNI w Limie i Uniwersytetu w Piura, za nieocenione kontakty z geologami peruwiańskimi. Dr Cesar Vidal udzielił zezwolenia na wstęp do kopalń okręgu Orcopampa, zapewnił gościnę w osiedlach górniczych i transport, a inżynierowie wymienionych kopalń towarzyszyli nam w terenie i udzieliли wyczerpujących informacji.

* * *

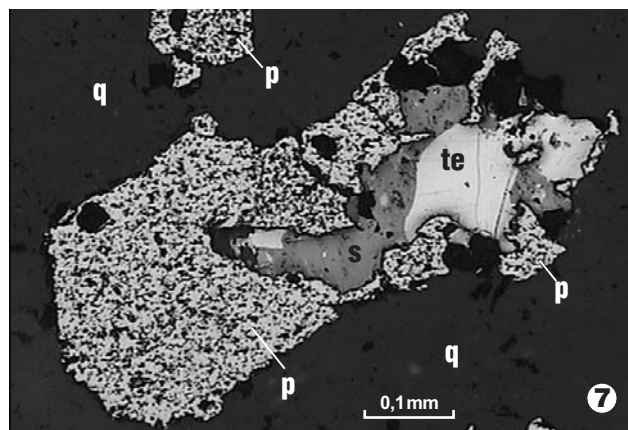
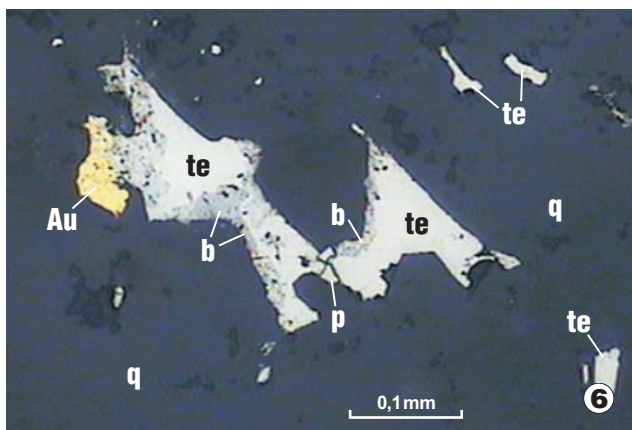
Praca została wykonana w ramach badań własnych AGH nr 10.10.140.037

Literatura

BLÈS J.L. 1989 — Contexte structural des minéralisations aurifères épithermales d'Orcopampa, Layo and Shila (département d'Arequipa, Pérou). Rapp. BRGM 89 PER 054 GEO, 61p.

- CALDAS J. 1993 — Geología de los cuadrangulos de Huambo y Orcopampa. INGEMMET Bul. 46, Lima.
- CALDAS J., LA TORRE V., LAJO A., DÍAZ J. & UMPIRE L. 2001 — Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa (actualizado), 1:100 000 (digital). INGEMMET.
- CANDIOTTI DE LOS RIOS H., NOBLE D.C. & MCKEE E.H. 1990 — Geologic setting and epithermal silver veins of the Arcata district, Southern Peru. Econ. Geol., 85: 1473–1490.
- CHADWICK J. 2000 — Latin gold. Mining Magazine 8: 66–74.
- CHACÓN N., CANCHAYA S., MORCHE W. & ARANDA A. 1997 — Metalogenia como guía para la prospección minera en el Perú. Bol. Soc. Geol. Perú, 87: 15–37.
- CM Buenaventura** — www.buenaventura.com
- DÁVILA D., DÍAZ G. & MONTOYA M. 1988 — Mapa geológico del cuadrángulo de Cailloma, 1:100 000. INGEMMET.
- ERICKSEN G.E., CUNNINGHAM C.G. & EYZAGUIRRE V.R. 1995 — Models of precious-metals deposits in the Neogene and Quaternary volcanic complex of the Central Andes. Soc. Geol. Peru., Vol. Jubilar A. Benavides, 103–125.
- Estudio** de los recursos minerales del Perú, franja No 2. Bol. 11, serie B: Geología Económica. INGEMMET, Lima 2002.
- FORNARI M. & VILCA C. 1979 — Mineralización argentífera asociada al volcanismo cenozoico en la faja Puquio-Cailloma. Bol. Soc. Geol. Peru, 60 (4): 101–128.
- GAŁAŚ A. & PAULO A. 2005 — Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. Prz. Geol. 53: 320–326.
- GIBSON P.C., NOBLE D.C., BENAVIDES R. & MAYTA O. 1993 — Discovery, development, and production of a blind Ag-Au bonanza in the Calera vein, Orcopampa district, Peru. Int. Geology Rev., 35: 780–796.
- GIBSON P.C., MCKEE E.H., NOBLE D.C. & SWANSON K.E. 1995 — Timing and interrelation of magmatic, tectonic and hydrothermal activity at the Orcopampa district, Southern Peru. Econ. Geol., 90: 2317–2325.
- GUTIÉRREZ R., ESTERAZ C. & MÁLAGA A. 1986 — El Valle del Colca (Arequipa). Inst. Argentino de Invest. en Historia de Arquitect. y del Urbanismo, Buenos Aires, 185.
- HEALD P., FOLEY N. & HAYBA D. 1987 — Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulphate and adularia-sericite types. Economic Geology, 82 (1): 1–25.
- HENLEY R.W. 1986 — The geothermal framework of epithermal deposits. Rev. Econ. Geology, 2: 1–24.
- LLOSA F., ROSAS J., BAILLY L. & CHAUVET A. 2002 — Control estructural y modelo de formación de las vetas epitermales Au-Ag de Mina Paula — Arequipa. XI Congr. Peruano de Geología, Lima.
- Mapa** metalogénico de la región fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S x 28°S). Serv. Nac. de Geol y Minería, Publ. Geol. Multinacional ? 2. SERNAGEOMIN, Santiago de Chile 2001.
- MARCOUX E., CASSARD D., FAURE M., LLOSA F., ANDRÉ A.-S. & LEROY J. 1998 — Formación y evolución de las vetas epitermales Au-Ag en la Cordillera Shila, al sur del Perú.
- MAYTA O., BARRIONUEVO H., NOBLE D., PETERSEN U. & VIDAL C. 2002 — Vetas de oro nativo y telururos de oro en el sector Chipmo, distrito minero de Orcopampa, sur del Perú. XI Congr. Peruano de Geología. Soc. Geol. Perú, Lima.
- MAYTA O., GAMARRA L. & SALAZAR J.C. 2003 — Mineralización de oro en veta Nazareño. XXVI Convención minera. Arequipa.
- MAYTA O. & LAVADO M. 1995 — Controles estructurales de la mineralización de la veta Calera — Orcopampa — Arequipa, Sur Perú. Soc. Geol. Peru., Vol. Jubilar A. Benavides, 193–204.
- NOBLE D., NAVARRO P., QUISPESIVANA L., PETERS L. & MCKEE E. 2003 — Ash flow sheets of Early Miocene and Early Pliocene age are present in the Castillo de Callali, Arequipa department, Southern Peru. Bol. Soc. Geol. Peru., 95 (7): 33–38.
- PIĘTOWSKI A. & BZDAK Z. 2003 — Źródła Amazonki: Ostatnia audjencia u królowej rzek. National Geographic (Polska), 10 (49).
- ROSAS J. 2001 — Proyecto Paula 49. CEDIMIN S.A.C.
- SÉBRIER M. & SOLER P. 1991 — Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from late Oligocene time to Present. [In:] Harmon R.W. & Rapela C.W. (eds.) — Andean magmatism and its tectonic setting. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 265: 259–278.
- SILBERMAN M.L., MCKEE E.H. & NOBLE D.C. 1985 — Age of mineralization at the Cailloma and Orcopampa silver districts, southern Peru. Isochron/West, 43: 17–18.
- SOULAS J.P. 1977 — Las fases tectónicas del Terciario Superior en Perú — corte Ayacucho-Pisco. Bol. Soc. Geol. Perú, 57–58: 59–72.
- TUMIALÁN P. 1991 — Consideraciones geológicas de la veta Santa Rosa (Mina Madrigal — Arequipa). Bol. Soc. Geol. Perú., 82 (12): 99–104.
- U.S. Geological Survey** — www.usgs.gov
- VIKRE P.G. 1989 — Fluid-mineral relations in the Comstock Lode. Econ. Geol., 84: 1574–1613.

Epitermalne złoża złota i srebra w okolicy Orcopampa i Caylloma, południowe Peru (patrz str. 639)



Ryc. 6. Tellurki złota i srebra (te), złoto rodzime (Au), bizmutyn (b) i piryt (p) w kwarcu żyłowym (q). Kopalnia *Chipmo*, żyła Nazareño. Światło odbite. Wszystkie fot. A. Paulo

Fig. 6. Gold-silver tellurides (te), native gold (Au), bismuthinite (b) and pyrite (p) in quartz (q). Nazareño vein, *Chipmo* gold mine. Reflected light. All photographs by A. Paulo

Ryc. 7. Piryt (p), sfaleryt (s) i tellurki złota i srebra (te), w kwarcu żyłowym (q). Kopalnia *Chipmo*, żyła Nazareño. Światło odbite

Fig. 7. Pyrite (p), sphalerite (s) and gold-silver tellurides (te) in quartz (q). Nazareño vein, *Chipmo* gold mine. Reflected light

Ryc. 8. Złotonośna żyła rodochryzowo-kwarcowa Sando Alcalde w kopalni *Shila*

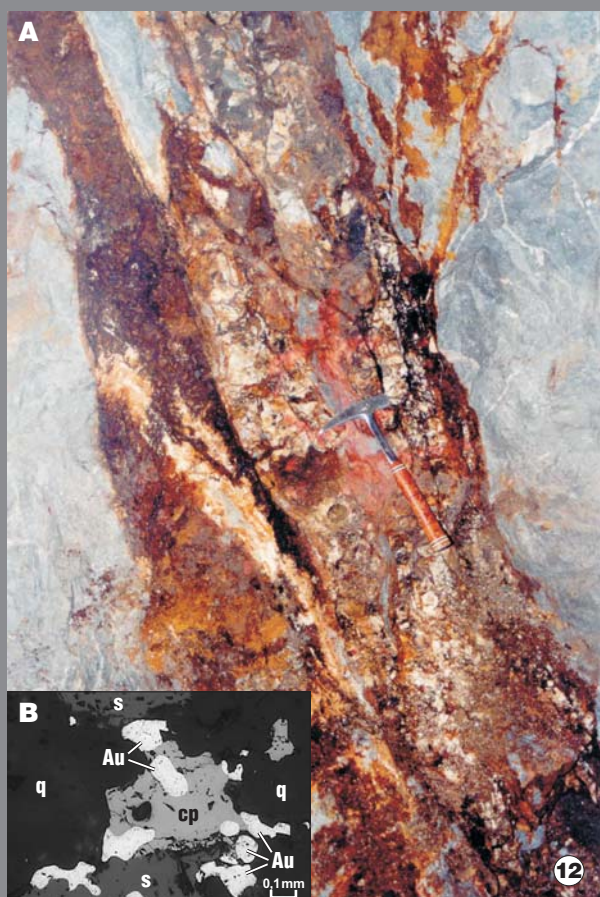
Fig. 8. Gold-bearing rodochrosite-quartz vein Sando Alcalde in *Shila* mine

Ryc. 9. Wejście do sztolni na poziomie 5225 m n.p.m. w kopalni *Paula*

Fig. 9. Adit entrance at the level 5225 m a.s.l. to the *Paula* mine



Epitermalne złoża złota i srebra w okolicy Orcopampa i Caylloma, południowe Peru
(patrz str. 639)



Ryc. 10. Krajobraz wokół kopalni Paula. Na pierwszym planie planie skały hydrotermalnie przeobrażone, w tle stratowulkany Sabancaya i Ampato. Fot. A. Gałaś

Fig. 10. Landscape around the Paula mine. In the foreground hydrothermally altered rocks, at the horizon Sabancaya and Ampato stratovolcanoes. Photo A. Gałaś

Ryc. 11. Złotośna żyła kwarcowa Española w kopalni Paula. Ryc. 11 i 12 fot. A. Paulo

Fig. 11. Gold-bearing quartz vein Española in Paula mine. Fig. 11 and 12 photo A. Paulo

Ryc. 12. Złotośna żyła węglanowo-kwarcowa Nazareño w kopalni Paula: A — w przypowierzchniowej części występują żółto-brązowe skupienia wtórnego limonitu po pirycie; B — złoto rodzime (Au), chalkopiryt (cp) i sfaleryt (sp) w kwarcu żyłowym (q). Światło odbite, fot. czarno-biała

Fig. 12. The gold-bearing carbonate-quartz vein Nazareño in Paula mine: A — near surface section note yellow-brown secondary limonite; B — native gold (Au), chalcopyrite (cp) and sphalerite (sp) in quartz (q). Reflected light, black and white photo