



KWARTALNIK AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

TOM 34 · ZESZYT 2/1

Biogeologia 2008

**Polskie badania w Kanionie Colca
i Dolinie Wulkanów**

UCZELNIANE WYDAWNICTWA NAUKOWO-DYDAKTYCZNE

KRAKÓW 2008



TOM 34 · ZESZYT 2/1

KWARTALNIK AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE



geologia 2008



Polskie badania w Kanionie Colca i Dolinie Wulkanów

UCZELNIANE WYDAWNICTWA NAUKOWO-DYDAKTYCZNE

KRAKÓW 2008

Redaktor Naczelny Uczelnianych Wydawnictw Naukowo-Dydaktycznych AGH
Jan Sas

Z-ca Redaktora Naczelnego
Beata Barszczewska-Wojda

Komitet Redakcyjny

Redaktor
Michał Krobicki

Redaktorzy odpowiedzialni zeszytu:
Andrzej Paulo i Andrzej Galaś

Sekretarz
Teresa Wójcik

Członkowie:
*Witold Paweł Alexandrowicz, Jadwiga Jarzyna, Andrzej Krawczyk, Marek Muszyński,
Maria Sass-Gustkiewicz, Stanisław Witzak*

Komitet Naukowy:
*Stefan Witold Alexandrowicz, Roman Aubrecht, Nguyen Van Giang, Stanisław Lorenc,
Pál Müller, Nestor Oszczytko, Joanna Pinińska, Stanisław Speczik, Wacław Zuberek*

Zamieszczone w Kwartalniku Geologia artykuły przedstawiają dorobek Polskiej Wyprawy Naukowej Peru 2006. Celem prac jest stworzenie podwaliny naukowej pod powstający z inicjatywy Polaków przyszły Park Narodowy Kanionu Colca i Doliny Wulkanów.

Redakcja i redakcja techniczna: *Kazimiera Smolarek*

Projekt okładki i strony tytułowej: *Beata Barszczewska-Wojda i Michał Krobicki*

Fotografia na okładce: zejście do Kanionu Colca (fot. *Andrzej Paulo*)

Skład komputerowy: ARBOR, tel. 012 634 47 60

Druk: Drukplast

Oprawa: *Aleksandra Plewa*

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2008
ISSN 0138-0974

Redakcja Uczelnianych Wydawnictw Naukowo-Dydaktycznych AGH
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 012 617 32 28, tel./faks 012 636 40 38
e-mail: redakcja@wydawnictwoagh.pl
<http://www.WydawnictwoAGH.pl>

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	5
Magdalena GŁOGOWSKA & Joanna KRUPA Sprawozdanie z Polskiej Wyprawy Naukowej Peru 2006 <i>Report from Polish Scientific Expedition Peru 2006</i>	9
Andrzej GAŁAŚ & Andrzej PAULO Idea ochrony Kanionu Colca i Doliny Wulkanów <i>Idea of protection of Rio Colca Canyon and Valley of Volcanoes</i>	17
Andrzej PAULO Zarys budowy geologicznej Kordyliery Zachodniej południowego Peru <i>Geology of the Western Cordillera in Southern Peru – an outline</i>	35
Tomasz KALICKI & Józef KUKULAK Czwartorzędowa ewolucja Doliny i Kanionu Colca – raport z badań geomorfologicznych wykonanych w roku 2006 <i>Quaternary evolution of Valley and Canyon of Rio Colca – report from geomorphological studies done in 2006 year</i>	55
Jerzy ŻABA & Zbigniew MAŁOLEPSZY Aktywność uskoków w Dolinie Rio Colca w rejonie Pinchollo–Maca, Andy Środkowe, południowe Peru <i>Fault activity in the Rio Colca Valley in the Pinchollo–Maca Area, Central Andes, Southern Peru</i>	83
Andrzej GAŁAŚ Zasięg i budowlę wulkaniczne grupy Andahua <i>Extent and volcanic's constructions of Andahua group</i>	107
Andrzej PAULO & Andrzej GAŁAŚ Górnictwo i inne inwestycje w sąsiedztwie Kanionu Colca <i>Mining and other investments in the vicinity of Colca Canyon</i>	137
Barbara RADWANEK-BAK Atrakcje geoturystyczne Kanionu Rio Colca i jego otoczenia <i>Geotourism phenomena of Rio Colca Canyon and its surroundings</i>	173
Beata CYKOWSKA & Adam FLAKUS Flora mszaków i porostów Kanionu Colca (Peru) – badania rekonesansowe <i>Bryophyte and lichen flora of the Colca Canyon (Peru) – reconnaissance research</i>	193

Katarzyna SOBIECH-MATURA & Michał WĘGRZYN	
Wstępne opracowanie bioty porostowej w obrębie Kanionu Colca oraz Doliny Wulkanów (Peru)	
<i>Preliminary study on lichen biota of Colca Canyon and Valley of the Volcanoes (Peru)</i>	205
Zdzisław Jan RYN	
Medycyna konwencjonalna i medycyna tradycyjna w rejonie Kanionu Colca, Peru	
<i>Conventional and traditional medicine in Canyon Colca region, Peru</i>	211
Michał WASILEWSKI	
Mineralne leki w Chivay i Dolinie Colca (południowe Peru)	
<i>Mineral medicines in Chivay and Colca Valley (Southern Peru)</i>	223
Wskazówki dla Autorów	243

WPROWADZENIE

Niniejszy zeszyt *Kwartalnika AGH Geologia* jest w całości poświęcony rezultatom prac Polskiej Wyprawy Naukowej do Peru (PWNP), organizowanej pod patronatem JM Rektora AGH w Krakowie. Jest to zbiór artykułów prezentujących dorobek poszczególnych osób i zespołów, mający po części charakter raportu wstępnego.

Celem prac jest stworzenie podwaliny naukowej pod przyszły park narodowy w Peru, rozpoznanie budowy geologicznej i przyrody żywej, walorów krajobrazowych i kulturowych z zamiarem objęcia ich ochroną i stosownymi formami udostępnienia turystycznego. Publikacja ma charakter wielodyscyplinarnej monografii. Z tego powodu niektóre z zamieszczonych poniżej artykułów odbiegają od geologicznej linii czasopisma.

Historia

Wyprawa wpisuje się w bogate tradycje badań naukowych Polaków w Peru i eksploracji Andów. Przedstawili je Paradowska (1985)*, Dembicz & Smolana (1993) i Paulo (2007). Wśród odkryć geograficznych na czoło wysuwa się odkrycie Kanionu Rio Colca jako najgłębszego kanionu świata i pokonanie nurtu tej rzeki w 1981 roku przez wyprawę krakowskich studentów Canoandes (Majcherczyk *et al.* 1981). Trzeba przypominać i utrwalać ten dorobek.

W 2003 roku odbył się rekonesansowy wyjazd pracowników Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, dra A. Gałęsia i prof. A. Paulo do Doliny Wulkanów (Gałęsia & Paulo 2005), połączony z wizytą na krawędzi Kanionu Colca na zaproszenie J. Majcherczyka. W czasie tego rekonesansu poznano również dwie kopalnie złota, należące do CM Buenaventura, nawiązano kontakty naukowe z Uniwersytetem Państwowym San Agustin (UNSA) w Arequipa i Instytutem Geologiczno-Górnictwo-Metalurgicznym (INGEMMET) w Limie.

W roku 2004 otwarto na AGH dwa tematy badawcze: badania młodej grupy wulkanicznej Andahua oraz określenie walorów geoturystycznych w rejonie Kanionu Colca. Pierwszy realizowali Andrzej Gałęsia, Andrzej Paulo i Michał Wasilewski, a drugi Mariusz Krzak, Anna Kukuła-Góral i Sławomir Bębenek.

W roku 2005 Michał Wasilewski samotnie kontynuował badania nad pochodzeniem obsydianu w wyrobach prehistorycznych.

W roku 2006 poszerzył się znacznie krąg badaczy, do 15 osób z 7 ośrodków, oraz spektrum badanych zagadnień, które wyszły poza geologię obejmując również sferę przyrody żywej oraz zagadnienia kulturowe i medyczne. Skład i przebieg ostatnio wymienionej wyprawy jest omówiony w tym tomie (Głogowska & Krupa).

Tematyka badań w roku 2006

Ideę przygotowania projektu parku oraz niezbędnych prac badawczych przedstawili A. Paulo i A. Gałęsia. Zarys budowy obszaru na podstawie dostępnej literatury, jako tło do zagadnień szczegółowych przedstawia artykuł A. Paulo. Tymi zagadnieniami są ewolucja geomorfologiczna omawiana przez T. Kalickiego i J. Kukulaka, aktywność tektoniczna omawiana przez J. Żabę i Z. Małolepszego oraz współczesny wulkanizm prezentowany przez A. Gałęsia.

*) wszystkie pozycje bibliograficzne umieszczone zostały w artykule Gałęsia & Paulo – Idea ochrony Kanionu Colca i Doliny Wulkanów

Walory turystyczne i kulturowe Doliny Colca i otoczenia Kanionu były badane przez kilka osób. Dotychczasowym plonem jest artykuł B. Radwanek-Bąk o atrakcjach turystycznych tego regionu i wcześniejszy artykuł M. Krzaka (2005). M. Wasilewski opisał leki mineralne stosowane w medycynie tradycyjnej a Z. Ryn spostrzeżenia o medycynie konwencjonalnej i tradycyjnej w tym regionie. Wyniki rekonesansowych badań roślin pionierskich na tym obszarze omówili B. Cykowska i A. Flakus oraz K. Sobiech-Matura i M. Węgrzyn.

Tło gospodarcze przedstawia artykuł A. Paulo i A. Gałasia.

Plany

Rok 2007 przewidziany był na wstępne opracowanie wyników i skonkretyzowanie planów odnośnie badań terenowych.

W roku 2008 przewidywane jest wydanie niniejszego tomu w języku hiszpańskim w *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*. W teren uda się około 20-osobowa grupa geologów, geomorfologów i biologów by kontynuować prace w niezbadanych dotąd częściach Kanionu Colca i jego otoczenia, a także by nawiązać ściślejszą współpracę osobistą i instytucjonalną z Peru. Mamy nadzieję, że ten etap prac pozwoli na uzyskanie wystarczającego materiału do przedstawienia wstępnego projektu parku. Utworzenie Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów wydaje się być konieczne aby rozwój regionu, który nastąpił za przyczyną Polaków nie przyniósł niepożądanych skutków ubocznych.

Podziękowania

Badania PWNP spotkały się z niezwykle przychylnym przyjęciem władz departamentu Arequipa i samorządów lokalnych oraz INGEMMET i CM Buenaventura. Uczestnicy korzystali m.in. z bazy logistycznej i opracowań technicznych tych instytucji, za co należą się gorące słowa podziękowania. Wiele zawdzięczamy osobistemu zaangażowaniu wychowawcy pokoleń geologów peruwiańskich, prof. dr inż. Stanisławowi Dunin-Borkowskiemu (1931–2006), doświadczonemu we współpracy z Peru prof. Mariuszowi Ziółkowskiemu oraz życzliwym mieszkańcom Arequipy, Felixowi i Luisie Malaga. Dobry klimat wokół wyprawy tworzą też miejscowe środki przekazu.

Od roku 2004 uczestnicy PWNP korzystali z pomocy finansowej macierzystych instytucji, TBSP „Geosfera” oraz Polonii Zagranicznej – Polonijnego Klubu Podróżnika i Towarzystwa Przyjaciół Krakowa w Nowym Jorku. Koszty wydawnicze pokrył Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH. Wszystkim sponsorom tego ambitnego dzieła, dotychczasowym i przyszłym, gorąco dziękujemy.

Andrzej Paulo
Kierownik PWNP

FOREWORD

This issue is exclusively devoted to the results of the Polish Scientific Expedition to Peru (PSEP) which is organized under the auspices of Rector AGH – The University of Science and Technology in Kraków. The monography presenting an initial report contains panorama of special papers of individual persons and teams.

The works are aimed at laying foundations for future national park in Peru, recognition of its natural and cultural resources: geology, landscape, living nature as well as ethnic and historical heritage, which should be protected and adequately provided for tourists.

PSEP enriches Polish exploration of the Andes and scientific output in Peru which were described in papers of Paradowska (1985)*, Dembicz & Smolana (1993) and Paulo (2007). Among geographical discoveries first place should be given to Cracow Student Paddler Expedition CANOANDES (Majcherczyk *et al.* 1981) who pioneered in flowing down Rio Colca Canyon, measuring its dimensions, proclaiming worldwide that it is the deepest canyon of our planet and in effect made it popular target of visits. Being proud of these achievements we feel responsible for protection of outstanding environmental amenities and stimulation of sustainable development of the region, eliminating depreciatory side effects.

In 2003 A. Gałaś and A. Paulo, staff of the Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection AGH, performed a reconnaissance in the Valley of the Volcanoes (Gałaś & Paulo 2005), visited Canyon Colca, two Buenaventura gold mines, and established scientific relations with Universidad Nacional San Agustín in Arequipa (UNSA) and Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) in Lima.

In 2004 at the same Faculty two projects were opened: research of Andahua volcanic group (A. Gałaś, A. Paulo, M. Wasilewski) and definition of geotouristic values in Canyon Colca region (M. Krzak, A. Kukuła-Góral, S. Bębenek). In 2005 M. Wasilewski alone has continued exploration for obsidiane sources for prehistoric tools found in the area.

In 2006 the circle of investigators was enlarged embracing 15 scientists from 7 centres, their scope of interests included geology, botany, culture and medicine. The team and its field activities are overviewed in this issue in paper of M. Głogowska & J. Krupa. Following papers present: infrastructure and economic development of the study area (A. Paulo & A. Gałaś), idea of nature protection (A. Paulo & A. Gałaś), geological outline (A. Paulo), geomorphology (T. Kalicki & J. Kukulak), tectonic activity (J. Żaba & Z. Małolepszy), recent volcanism (A. Gałaś), touristic values (B. Radwanek-Bąk), mineral medicine (M. Wasilewski), traditional medicine (Z. Ryn), and pioneering plants in the area (B. Cykowska & A. Flakus, K. Sobiech-Matura & M. Węgrzyn).

Year 2007 was foreseen for preliminary reporting and planning next stage of field studies. For 2008 the Spanish edition of this issue in the Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima is intended as well as broadened geological, geomorphological and biological studies in new sectors of Colca Canyon and its envelope, and establishing closer cooperation with relevant institutions and individuals of Peru. This shall effect in presenting preliminary project of the Canyon Colca and Valley of Volcanoes National Park.

*) Bibliography is given in the paper of Gałaś & Paulo – Idea of protection of Canyon Colca and Valley of Volcanoes

A warm welcome given to PSEP team by INGEMMET and Arequipa and provincial authorities, as well as logistic support by CM Buenaventura is greatly acknowledged. We owe much to personal engagement of late Dr. S. Dunin-Borkowski, professor and tutor of generations of Peruvian geologists, Dr. M. Ziółkowski, professor of Arequipa and Warsaw Universities, kind-hearted Arequipa citizens Felix and Luisa Malaga and many others. Financial support of parental institutions, “Geosphere” Society, Polish-American Travelers Club and Friends of Kraków Society in New York facilitated organization of the expedition. The cost of present edition were covered by the Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection AGH. Deep gratitude is expressed to all sponsors of this ambitions work, both up to date and future.

Andrzej Paulo
PSEP Leader

SPRAWOZDANIE Z POLSKIEJ WYPRAWY NAUKOWEJ PERU 2006

Report from Polish Scientific Expedition Peru 2006

Magdalena GŁOGOWSKA & Joanna KRUPA

*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Zakład Analiz Środowiskowych i Kartografii;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: glogowska@geol.agh.edu.pl, joannakrupa@poczta.fm*

Treść: Polska Wyprawa Naukowa Peru 2006 odbyła się w okresie od 25 czerwca do 4 sierpnia. 15-osobowa grupa naukowców, pochodząca z kilku uczelni, kierowana była przez prof. Andrzeja Paulo (AGH), prowadzącego badania na tym terenie od kilku lat. Naukowcy pochodzili z następujących uczelni: Akademii Górniczo-Hutniczej, Akademii Pedagogicznej, Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Śląskiego, Państwowego Instytutu Geologicznego, Polskiej Akademii Nauk. Grupy badawcze, złożone z dwu lub trzech osób, realizowały tematy z dziedzin: wulkanologii, tektoniki, geomorfologii, geoturystyki, biologii, archeologii i medycyny naturalnej. Przebadany został teren należący do: Doliny Colca między Callalli a Madrigal, Kanionu Colca na wysokości wiosek Cabanaconde i Huambo, Doliny Wulkanów, a także obszar leżący pomiędzy miejscowościami Orcopampa a Caylloma. Celem badań była identyfikacja i dokumentacja walorów obszaru planowanego parku narodowego i jego strefy buforowej.

Słowa kluczowe: Peru, Kanion Colca, wyprawa

Abstract: Polish Scientific Expedition Peru 2006 was active from June 25 until August 4. A group of 15 scientific workers from several institutions was led by prof. Andrzej Paulo (AGH), working in the area in previous years also. The institutions involved: AGH University of Science and Technology, Pedagogical University, Jagiellonian University, University of Silesia, Polish Geological Institute, Polish Academy of Science. Research groups composed of two or three persons studied: volcanology, tectonism, geomorphology, geotourism, biology, archeology and natural medicine. The research area included: the Colca Valley from Callalli to Madrigal, Colca Canyon from Cabanaconde to Huambo, the Valley of the Volcanoes, as well as mountain area Orcopampa – Caylloma. The research is aimed to identify and document unique valors of the area which would form future national park and its envelope.

Key words: Peru, Colca Canyon, expedition

WSTĘP

Wyprawa Naukowa Peru 2006 organizowana była pod patronatem JM Rektora AGH, prof. dr hab. inż. Antoniego Tajdusia. Sponsorami wyprawy byli:

1. Uczelnie i instytucje macierzyste: AGH, AP, PAN, PIG, UJ, UŚ;
2. Polonijny Klub Podróżnika.

Patronat medialny przyjęło Radio Kraków.

25 czerwca 2006 roku ekipa w składzie 15-osobowym, pod kierownictwem prof. Andrzeja Paulo (AGH), wyruszyła do Peru (Fig. 1). Przelot na trasie Pyrzowice – Frankfurt – Caracas – Lima, trwał ponad 14 godzin, z czego około 5 godzin zajęły przesiadki we Frankfurcie i Caracas. W Limie wylądowaliśmy 25 czerwca o godzinie 20:00. Przejęliśmy bagaż w komplecie (co zdarza się dość rzadko) i zamówionymi przez internet taksówkami bagażowymi dotarliśmy do taniego hotelu, sprawdzonego podczas wcześniejszych wypraw AGH.



Fig. 1. Członkowie Wyprawy Naukowej Peru 2006. Od lewej: F. Malaga, A. Gałaś, J. Krupa, K. Sobiech, M. Tomalik, M. Głogowska, B. Radwanek-Bąk, Z. Małolepszy, A. Świerzowska, Z. Ryn, T. Kalicki, M. Holzer, M. Wasilewski, J. Kukulak, J. Żaba (fot. A. Paulo)

Fig. 1. Participants of the Polish Scientific Expedition Peru 2006. From the left: F. Malaga, A. Gałaś, J. Krupa, K. Sobiech, M. Tomalik, M. Głogowska, B. Radwanek-Bąk, Z. Małolepszy, A. Świerzowska, Z. Ryn, T. Kalicki, M. Holzer, M. Wasilewski, J. Kukulak, J. Żaba (photo of A. Paulo)

Krótki pobyt w Limie rozpoczął się od niecodziennej uroczystości. Prof. Z.J. Ryn, uczestnik wyprawy, odebrał godność doktora honoris causa Universidad Científica del Sur w Limie. Oczywiście wszyscy członkowie wyprawy uczestniczyli w tej podniosłej uroczystości. Przy

okazji zwiedzaliśmy Pachacamac z objaśnieniami archeologa K. Makowskiego. Dla kierownictwa wyprawy był to także czas bardzo intensywnych przygotowań. Zostały zakupione brakujące mapy, przeprowadzono uzgodnienia z partnerami peruwiańskimi, którzy pomogą w przyszłości w powstaniu parku narodowego. Partnerami tymi chętnie zostali: Sociedad Geologia del Peru, Sociedad Geografica de Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Niestety, nasz wielki promotor, prof. Stanisław Dunin-Borkowski wychowawca rzesz geologów peruwiańskich, zmarł nagle na 3 miesiące przed naszym przyjazdem do Limy. Uczestnicy niez zaangażowani bezpośrednio w sprawy organizacyjne wykorzystali wolne chwile na zwiedzanie zabytków, muzeów i niezwykłego klifu nad zamglonym Pacyfikiem.

Arequipa

Noc z 28 na 29 czerwca wykorzystaliśmy na przejazd autobusem do Arequipy, odległej od Limy o około 1100 km. Jest to blisko 800-tysięczne miasto, z kilkoma uniwersytetami. Arequipa jest często nawiedzana potężnymi trzęsieniami ziemi o magnitudzie VI–VIII w skali Mercalliego. Tak wielkie trzęsienia są rzadko spotykane na Ziemi. Po tego typu kataklizmach zabytkowa część z XVI–XVII wieku jest z pietyzmem restaurowana. Miasto leży na wysokości 2300–2400 m n.p.m., u stóp czynnego wulkanu Misti (5822 m n.p.m.), oraz wygasłych Chachani (6075 m n.p.m.) i Pichu Pichu (5571 m n.p.m.).

W Arequipie czekali na nas Felix Malaga z siostrą Luizą oraz grupa dziennikarzy i ekipa telewizyjna. Wywiadu udzielili hiszpańskojęzyczni profesorowie Andrzej Paulo i Zdzisław J. Ryn.

Felix Malaga jest od 16 lat Krakowianinem, samorzutnym organizatorem społeczeństwa latynoamerykańskiego w naszym mieście. Udało się skoordynować jego pierwszą od emigracji do Europy wizytę w rodzinnej Arequipie z naszym przyjazdem. Felix i Luisa wykorzystali swą znajomość środowiska i władz regionu do ułatwienia kontaktów. W następnych dniach odbyło się także spotkanie z gubernatorem Danielem Vera Ballon i z szefem AutoColca seniorem Taravera. Otrzymaliśmy zapewnienie dalszego zainteresowania władz utworzeniem parku narodowego oraz wsparcia w postaci możliwości wykorzystania bazy noclegowej w terenie. Pobyt w Arequipie sprzyjał też aklimatyzacji.

Achoma

1 lipca rozpoczęła się terenowa część wyprawy. Pierwszy etap badań realizowano w Dolinie Colca między Callalli a Madrigal (Fig. 2). Dojeżdża się tam około 100 km wysokogórską drogą (4000–4800 m), po części asfaltową. Bazą stał się opuszczony hotel robotników, budujących kiedyś kanał gigantycznego zespołu irygacyjnego Proyecto Majes. Leżał koło wioski Achoma niemal w centrum Doliny Colca. Wysokość 3300 m n.p.m. pozwalała na łagodną aklimatyzację.

W trakcie prac terenowych problemy badawcze realizowane były w następujących grupach:

- 1) badania formacji wulkanicznej Andahua – dr inż. A. Gałaś, prof. dr hab. inż. A. Paulo i studentka V roku J. Krupa (wszyscy Wydz. Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH);
- 2) walory geoturystyczne i kulturowe rejonu Kanionu Colca – dr inż. B. Radwanek-Bąk (Państwowy Instytut Geologiczny) i mgr inż. M. Głogowska (WGGiOŚ AGH);

- 3) pozycja tektoniczna Kanionu Colca – prof. dr hab. J. Żaba i dr Z. Małolepszy (obaj Uniwersytet Śląski);
- 4) czwartorzędowa ewolucja Kanionu Colca – dr hab. T. Kalicki (Polska Akademia Nauk) i dr hab. J. Kukulak (Akademia Pedagogiczna);
- 5) wstępne badania biologiczne – mgr K. Sobiech (Uniwersytet Jagielloński), mgr A. Flakus i mgr B. Cykowska (oboje PAN);
- 6) archeologia i kultura – mgr inż. M. Wasilewski (WGGiOŚ AGH) i dr A. Świerzowska (UJ);
- 7) medycyna naturalna – prof. dr hab. Z.J. Ryn (Colegium Medicum UJ).

Na wyprawie byli ponadto: fotoreporter polskiej edycji National Geographic M. Tomalik i wnuk prof. Ryna – licealista M. Holzer.

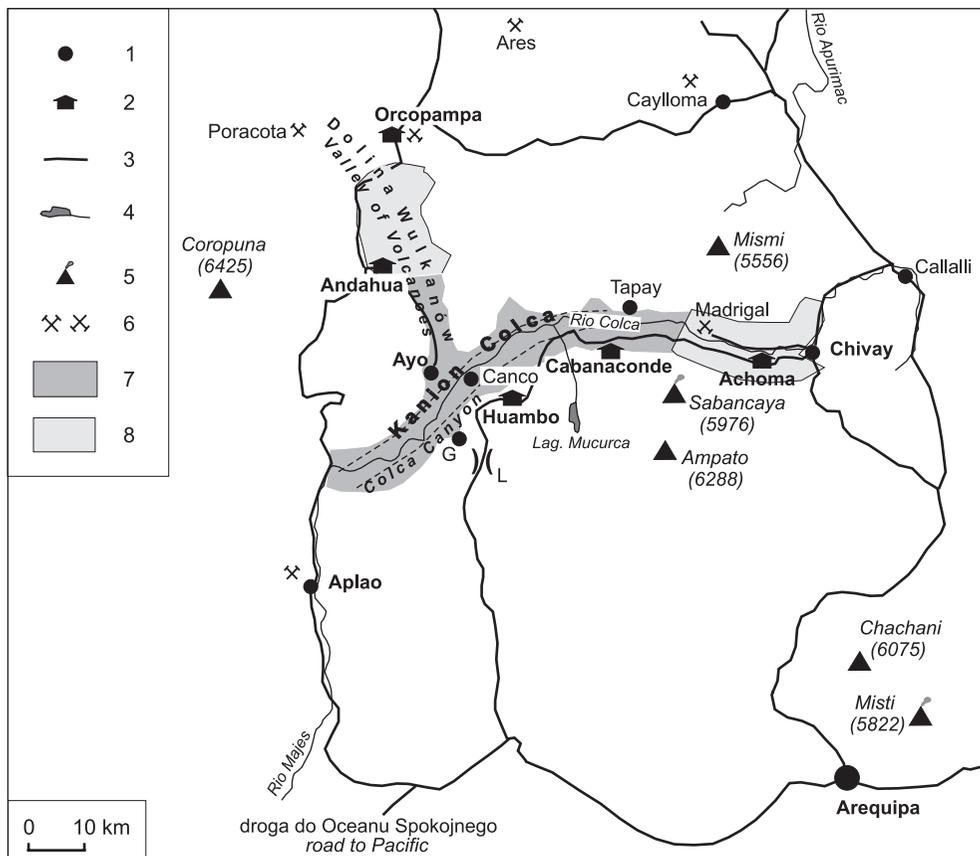


Fig. 2. Mapa okolic Kanionu Colca. 1 – miejscowości, 2 – bazy noclegowe, 3 – drogi, 4 – jeziora, rzeki, 5 – stratowulkany, 6 – czynne, nieczynne kopalnie Au, 7 – projektowany park narodowy, 8 – strefa buforowa; G – Gloriahuasi, L – Przełęcz Legunillas

Fig. 2. Canyon Colca region. 1 – places, 2 – base camp, 3 – road, 4 – lakes, rivers, 5 – stratovolcano, 6 – open, closed gold mine, 7 – national park in project, 8 – buffer zone; G – Gloriahuasi, L – Legunillas



Fig. 3. Widok na początkową część Kanionu Colca

Fig. 3. View on the Colca Canyon (the beginning part)

2 lipca doszło do spotkania z Andrzejem Piętowskim, jednym ze zdobywców Kanionu Colca przed 25 laty. Kanion okazał się najgłębszym na świecie i tak został zarejestrowany przez Księgę Guinnessa. Było to zarazem jedno z największych odkryć geograficznych XX wieku. Kanion rozpoczyna się koło Madrigal, 15 km od Achoma (Fig. 3).

Badania w Dolinie Colca zmierzały do rozpoznania układu odniesienia dla przyrody i elementów kulturowych w przyszłym parku narodowym. Dolina Colca jest od wieków użytkowana rolniczo dzięki wspaniałemu systemowi nawadniania tarasowatych poletek i stosunkowo gęstego zaludnienia, ponad 20 mieszkańców na km². W ciągu roku odwiedza ją ponad 100 000 turystów, głównie zagranicznych. Teren ten kwalifikuje się na strefę buforową projektowanego parku.

Dzięki stosunkowo łatwej dostępności terenu, badania posuwały się szybko naprzód i już w okresie 4–8 lipca grupy przeniosły się w okolice Cabanaconde (Fig. 2).

Cabanaconde

Cabanaconde (3300 m n.p.m.) było kolejną bazą w okresie 4–12 lipca dla różnych grup. Wulkanolodzy skupiali się na badaniach masywu wulkanicznego pomiędzy jeziorem Mucurca a kanionem, tektonicy, geomorfolodzy i botanicy badali kanion między Cabanaconde, Tapay i wodospadami na Río Huaruro, a grupa geoturystyczna zbierała informacje o gejzerach, gorących źródłach, ziołach leczniczych, elementach etnograficznych i turystyczno-kulturowych. Profesor Z.J. Ryn po przeprowadzeniu badań w okolicy Chivay i w Kanionie Colca przeniósł się w rejon Amazonii.

Huambo

Z Cabanaconde, grupy przenieśli się do kolejnej bazy, którą była miejscowość Huambo (3320 m n.p.m.). Pierwsza grupa dotarła tam już 9, a ostatnia wyjechała z niej 16 lipca. Zespoły badawcze zamieszkały w jeszcze nieskończonym, ale tętniącym życiem hotelu robotniczym. Była to dla uczestników wyprawy najbardziej wymagająca pod względem kondycyjnym część pracy terenowej.

Grupa geoturystyczna nawiązała współpracę z miejscowym przewodnikiem oraz z prowadzącym badania w Kanionie Colca peruwiańskim geoturystą Borisem Vargas. Zebrane zostały materiały na temat atrakcji geologicznych, turystycznych oraz przyrodniczych tej części kanionu. Grupa tektoników i geomorfologów przeprowadziła badania najgłębszej i najbardziej niedostępnej części Kanionu Colca. Trasa prowadziła od miejscowości Huambo do wioski Canco (1400 m n.p.m.) (Fig. 4). Wulkanolodzy skupili się na badaniach wcześniej zaobserwowanych potoków lawowych w okolicy Przełęczy Legunillas (4430 m n.p.m.), a także „odciętej od cywilizacji” osady Gloriahuasi (2360 m n.p.m.) i położonego na SW od Huambo wulkanu Marbas Grande.



Fig. 4. Kanion Colca – Canco

Fig. 4. Colca Canyon – Canco

Andahua

W dniach 17–19 lipca grupy dotarły do położonej ponad 300 km na NW od Arequipy miejscowości Andahua (3600 m n.p.m.). Znajduje się ona w centralnej części Doliny Wulkanów. Aby się do niej dostać z wioski Huambo trzeba nadłożyć drogi objeżdżając naokoło kanion.

Grupy tematyczne przeprowadziły badania Doliny Wulkanów w okolicy Kanionu Rio Andahua i wioski Soporo.

Orcopampa

To górnicze miasteczko było celem badań w dniach 20–24 lipca głównie dla wulkanologów, którzy szukali kolejnych miejsc występowania formacji Andahua. Korzystając z udostępnionego przez kopalnię samochodu dotarli w okolice Poracota, Ares i Caylloma aby ustalić północny zasięg badanej formacji.

Grupy zakończyły prace terenowe z końcem lipca. Na przełomie lipca i sierpnia wszyscy dotarli do Limy. Tam cała grupa została zaproszona na wykład profesora Andrzeja Paulo wygłoszonego na forum Peruwiańskiego Towarzystwa Geologicznego. Tematem wykładu były przeprowadzone w Kanionie Colca badania. Był to czas na podsumowanie badań i określenie wspólnych celów.

4 sierpnia 2006 grupa powróciła do kraju.

Serdeczne dziękujemy w imieniu uczestników wyprawy władzom AutoColca za udzielenie pomocy i wsparcia podczas trwania ekspedycji. Dziękujemy także władzom uczelni i instytucji: AGH, AP, PAN, UJ, UŚ, PIG i Polonijnemu Klubowi Podróżnika za wsparcie finansowe wyprawy.

Summary

The Polish Scientific Expedition Peru 2006, including 15 members (Fig. 1), departed in June 25th and returned home on August 4th. It operated in the Colca Canyon region (Figs 2, 4) where previous Polish investigations (2003–2005) had been carried out. The expedition's principal aims were to make detailed research in geology, perspectives of geotourism, botany and culture (included traditional medicine and archeology).

The expedition began on June 25th as we arrived in Lima. Over short stay in capital city we participated in celebration on the Universidad Científica del Sur where prof. Z.J. Ryn (member of our group) were honoured doctor Honoris Causa. For leaders of the expedition it was also time of negotiations with Peruvian partners and organize formal details.

Overnight 27/28 June we spend on traveling to Arequipa. City situated 2300 m a.s.l. was for us the first step to get acclimatized.

The main part of the expedition research was concerned with field work and started on July 1st. First phase started in the Colca Valley (Fig. 3) between Callalli and Madrigal, with the base in Achoma.

The group was split up into thematic teams:

- 1) the volcanological program, prepared by the leaders of the expedition: prof. A. Paulo and dr A. Gałaś with student J. Krupa (all from AGH);
- 2) geotourism: dr B. Radwanek-Bąk (PIG) and mgr Magdalena Głogowska (AGH);
- 3) tectonics of Colca Canyon: prof. J. Żaba and dr Z. Małolepszy (both from UŚ);
- 4) quaternary evolution of Colca Canyon: dr T. Kalicki (PAN) and dr J. Kukulak (AP);

- 5) botany reconnaissance – mgr K. Sobiech (UJ), mgr A. Flakus and mgr B. Cykowska (both from PAN);
- 6) archeology and culture – mgr M. Wasilewski (AGH) and dr A. Świerzowska (UJ);
- 7) medicine – prof. Z.J. Ryn (Colegium Medicum UJ).

The expedition joined also photoreporter of the Polish edition of National Geographic – M. Tomalik and M. Holzer (grandson of prof. Ryn).

IDEA OCHRONY KANIONU COLCA I DOLINY WULKANÓW

Idea of protection of Rio Colca Canyon and Valley of Volcanoes

Andrzej GAŁAŚ & Andrzej PAULO

*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Analiz Środowiskowych, Kartografii i Geologii Gospodarczej;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: pollux@geol.agh.edu.pl, paulo@geol.agh.edu.pl*

Treść: Rozwój turystyki oraz towarzyszący mu rozwój infrastruktury stanowią zagrożenie dla walorów środowiska w Kanionie Colca, który jest najgłębszym kanionem na świecie. Istnieje pilna potrzeba równoważenia tego rozwoju przez ochronę najcenniejszych obszarów i wykazanie ich znaczenia dla światowego dziedzictwa przyrody. Badania Polskiej Wyprawy Naukowej do Peru, prowadzone od 2003 roku, zmierzają do zaprojektowania Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów. Park obejmie unikalny w skali świata przekrój pasma górskiego o długości ponad 100 km i wysokości 1–3 km, wspaniałe krajobrazy, zespoły aktywnych uskoków, fałdy, wulkany, gorące źródła oraz specyficzny świat roślin i zwierząt, w tym największe w Andach siedlisko kondorów. Utworzenie parku wzmocniłoby ubogi system obszarów chronionych w departamencie Arequipa, podwyższyło atrakcyjność turystyczną i wyznaczyło ramy rozwoju regionu. Władze regionalne są żywo zainteresowane rozwojem projektu.

Słowa kluczowe: park narodowy, ochrona środowiska, Peru, Kanion Colca, Dolina Wulkanów, strefa buforowa, rozwój zrównoważony

Abstract: Development of tourism and related infrastructure in the Rio Colca Canyon region endangers environment of this deepest canyon worldwide. There is urgent need of balancing landuse development by protection of the most valuable areas and proving their importance to the world heritage of nature. Studies performed by the Polish Scientific Expedition to Peru since 2003 are aimed at project of the Canyon Colca and Valley of Volcanoes National Park. This park should protect a unique section of the orogenic belt 100 km long and 1–3 km high, magnificent landscape, sets of active faults, volcanoes, hot springs and specific wildlife including the largest condor habitat in the Andes. New park would strenghten the state protected areas system in the Arequipa department, increase its tourist attractiveness and determine constraints of regional development. Local authorities show great interest in developing the project.

Key words: national park, environmental protection, Peru, Colca Canyon, Valley of Volcanoes, buffer zone, sustainable development

WSTĘP

W Peru wszystkie obszary chronione stanowią około 15% powierzchni kraju (dla porównania w Polsce 33%). W systemie ochrony przyrody wyróżnia się następujące kategorie obszarowe: park narodowy, sanktuarium narodowe, sanktuarium historyczne, rezerwat narodowy, schronisko życia leśnego, rezerwat krajobrazowy, rezerwat komunalny i lasy ochronne. Na ich obrzeżu tworzy się otuliny (*zonas de amortiguamiento*), a tam gdzie potrzebne są jeszcze dodatkowe badania – strefy zarezerwowane (*zonas reservadas*) (INRENA 2005). Jako cel, na pierwszym miejscu stawia się „znaczenie obszaru dla zachowania bioróżnorodności, a ponadto towarzyszących walorów kulturowych, krajobrazowych i naukowych oraz zrównoważonego rozwoju kraju”. Podobnie jak w Polsce najwyższą formą ochrony jest park narodowy brakuje jednak odpowiednika najbardziej rozprzestrzenionej kategorii – obszarów chronionego krajobrazu.

W Peru jest obecnie jedenaście parków narodowych (PN), a ich powierzchnia łączna – niemal 3 mln ha – zajmuje 2.2% powierzchni kraju. Z tego tylko trzy parki obejmują ochroną fragment Andów Peruwiańskich; są to: PN Huascarán, PN Cerros de Amotape i PN Cutervo. Obszarowo jest to zaledwie 1/6 łącznej powierzchni wszystkich parków. Pozostałe parki położone są na wschodnich zboczach Andów, które porasta las mgielny, jak np. znany z wielkiej bioróżnorodności PN Manu w dorzeczu Madre de Dios, w Amazonii.

Andy Peruwiańskie nie mają tak wielkiego bogactwa gatunków roślin i zwierząt jak obszar Amazonii. Ich walorem jest wyjątkowa budowa geologiczna, której odzwierciedleniem jest niesłychane bogactwo krajobrazu. Brak szaty roślinnej pozwala niekiedy zajrzeć w głąb Ziemi. W Kanionie Colca ciągły profil osadów, który można zobaczyć, przekracza 3.5 km wysokości i ciągnie się ponad 100 km.

OBSZARY CHRONIONE W DEPARTAMENCIE AREQUIPA

Departament Arequipa, jeden z najważniejszych gospodarczo w Peru, ma niewiele obszarów chronionych. Należą do nich *Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca* (rezerwat narodowy) utworzony w 1979 roku i *Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi* (rezerwat krajobrazowy) utworzony w 2005 roku. Leżą one w bliskim sąsiedztwie Doliny Wulkanów i Kanionu Colca (Fig. 1).

Pierwszy z nich obejmuje wulkany Misti (5821 m n.p.m.), Chachani (6075 m n.p.m.), Pichu Pichu (5440 m n.p.m.) i płaskowyż na północ od nich. Ma on powierzchnię 3670 km², chroni zlewnię Rio Chili, z której pochodzi woda pitna dla Arequipa, źródła wody mineralnej Socosani, relikty lasów *queñua* (*Polylepis australis*) i *kcapo* (*Parastrephia lepidophylla*) oraz step wysokogórski z yaretą (*Azorella compacta*), służące wcześniej jako opał w domowych gospodarstwach. Chroni także kilka gatunków ssaków i ptaków, zagrożonych wyginięciem, jak taruca (*Hippocamelus antisensis*), vicuña (*Vicugna vicugna*), guanaco (*Lama guanicoe*), lis (*Pseudalopex culpaeus*), flamingi (*Phoenicopterus jamesi*, *Phoenicopterus andinus* i *Phoenicopterus chilensis*) i inne ptaki wodne. Na zboczach Misti w Sumbay znajdują się jaskinie z malowidłami naskalnymi sprzed 6–8 tysięcy lat.

Drugi obszar obejmuje głęboką Dolinę Cotahuasi z najbliższym obrzeżeniem i Nevado Firura (5498 m n.p.m.). Ma on chronić i promować krajobraz oraz środowisko tego pięknego

zakątka. Gospodarcza działalność człowieka jest dopuszczona pod warunkiem harmonii z ideą ochrony. Ze względu na różnice wysokości dochodzące do 3500 m na krótkim dystansie, występuje tu kilkanaście pięter ekologicznych.

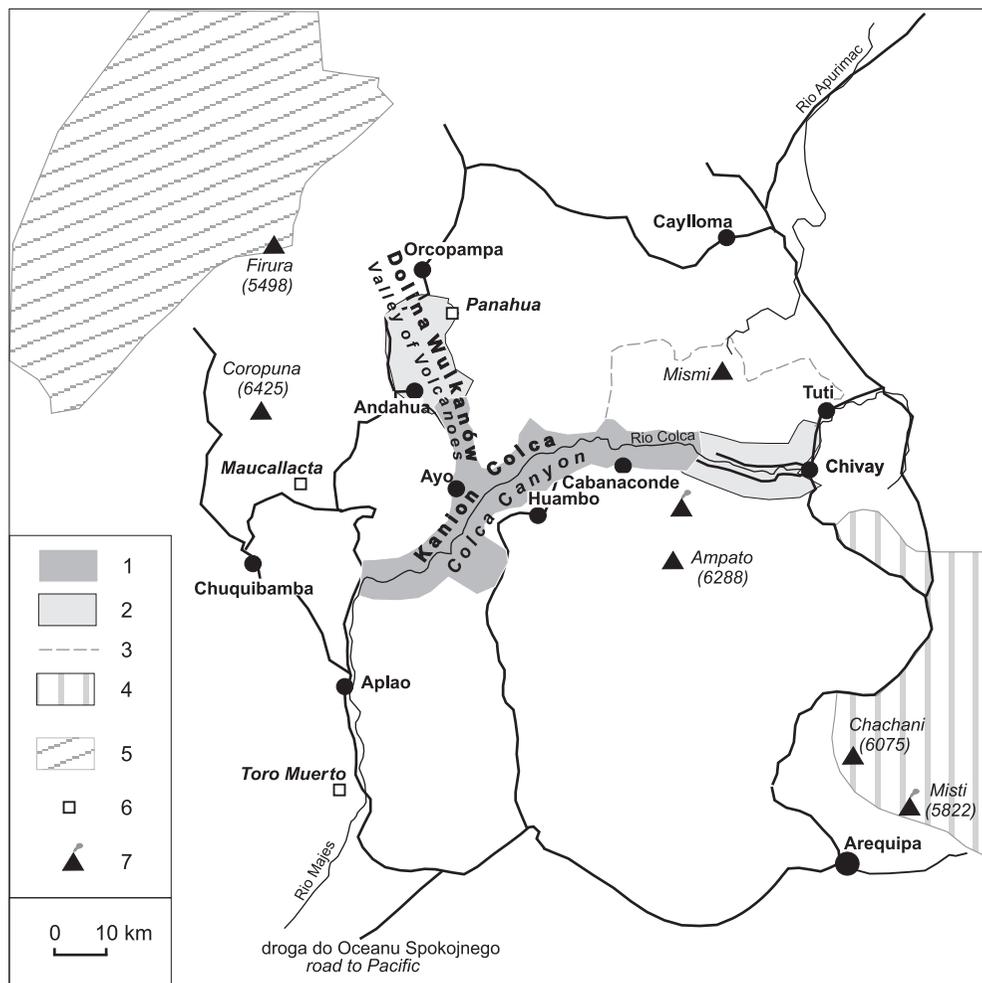


Fig. 1. Mapa okolic Kanionu Colca. 1 – projektowany park narodowy, 2 – strefa buforowa, 3 – strefa rezerwowa, 4 – Rezerwat Narodowy Salinas i Aguada Blanca, 5 – Rezerwat Krajobrazowy doliny Cotahuasi, 6 – punktowe formy ochrony przyrody i stanowiska archeologiczne, 7 – stratowulkany

Fig. 1. Canyon Colca region. 1 – national park in project, 2 – buffer zone, 3 – reserve zone, 4 – Reserve Nationale Salinas and Aguada Blanca, 5 – Reserve Landscape Cotahuasi Valley, 6 – monuments of nature and archeologic, 7 – stratovolcano

Poza obszarami chronionymi znajduje się Kanion Rio Colca, będący najgłębszym kanionem świata, oraz łącząca się z nim Dolina Wulkanów koło Andahua, która ma wyjątkowe walory krajobrazowe i naukowe. Są one dopiero rozpoznawane (Galaś & Paulo 2005).

W ostatnich latach dojrzewają inicjatywy lokalne tworzenia nowych obszarów chronionych, które nie uzyskały jeszcze statusu prawnego na szczeblu państwowym, ale są promowane przez władze samorządowe. Należą do nich rezerwy Catarata Panahua koło Orcopampa i Laguna Mamacocha koło Ayo. Bardzo interesujący, ale wymagający lepszej dokumentacji przyrodniczej jest obszar źródłowy Amazonki (Piętoski 2003). Należy też objąć ochroną konserwatorską tereny badań archeologicznych, np. stanowisko Maucallacta koło Pampacolca, osiedla inkaskie: Acchaimarca pod Coropuna, Antaymarca, Jello Jello i Ayo w Dolinie Wulkanów, petroglify Toro Muerto w dolinie Rio Majes, Chucu w Condesuyos (Ziółkowski & Belan 2001, Arana 2006, Kauffman 2006). Ochrona wielu tych małoobszarowych form będzie łatwiejsza w obrębie parku narodowego, krajobrazowego, strefy zarezerwowanej lub innego obszaru w otulinie parku narodowego, a z drugiej strony ich dokumentacja wzbogaci walory naukowe i turystyczne parku.

CEL OCHRONY

Podejście do ochrony środowiska ma różne tradycje i uwarunkowania prawno-kulturowe w różnych krajach. W polskim ustawodawstwie park narodowy: „obejmuje obszar wyróżniający się szczególnymi wartościami przyrodniczymi, naukowymi, społecznymi, kulturowymi i edukacyjnymi, o powierzchni nie mniejszej niż 1000 ha, na którym ochronie podlega cała przyroda oraz walory krajobrazowe. Park narodowy tworzy się w celu zachowania różnorodności biologicznej, zasobów, tworów i składników przyrody nieożywionej i walorów krajobrazowych, przywrócenia właściwego stanu zasobów i składników przyrody oraz odtworzenia zniekształconych siedlisk przyrodniczych, siedlisk roślin, siedlisk zwierząt lub siedlisk grzybów” (Ustawa 2004).

W kierunku utworzenia parku narodowego w rejonie Kanionu Colca zmierzają działania polskich naukowców i podróżników, rozpoczęte w inicjatywy Sekcji Polskiej „The Explorer’s Club”. Ponieważ kanion leży w regionie półpustynnym, a jednocześnie tworzy wyjątkowy przekrój przez skorupę ziemską, pierwsi do rozpoznania jego walorów przystąpili geolodzy. Od 2003 roku tron zespołu naukowego wywodzi się z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Od 2006 roku wspierają go przyrodnicy z innych ośrodków naukowych (Akademii Pedagogicznej w Krakowie, Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Śląskiego, Polskiej Akademii Nauk, Państwowego Instytutu Geologicznego). Część kosztów pokrywają polonijne organizacje podróżnicze i kulturalne (Polski Klub Podróżnika, Klub Przyjaciół Krakowa) oraz krajowe Towarzystwo Badań Przemian Środowiska „Geosfera”.

Polska obecność w tym regionie nie jest przypadkowa. Przepłynięcie przez krakowskich studentów z wyprawy CANOANDES’79 Kanionu Colca w 1981 roku otworzyło dla tego regionu przysłowiowe okno na świat (Majcherczyk *et al.* 1981, Majcherczyk 2000). Odkrycie przez nich najgłębszego kanionu na świecie spowodowało ogromne zainteresowanie i rozwój całego regionu. Z każdym rokiem napływają coraz liczniejsze rzesze turystów z całego świata. Odkrywanie kanionu trwa nadal. „Odkryły” go przede wszystkim agencje turystyczne, które czerpią zyski z obsługi rosnącej fali turystów. Głównym celem turystów jest obejrzenie rekordowego Kanionu Colca. Kanion ma długość 120 km, a jego głębokość według Księgi Guinnessa wynosi 3232 m. Leży on na zachód od szerokiej, malowniczej i od dawna uprawianej Doliny Colca; im dalej od niej, tym jest głębszy i bardziej niedostępny.

Wiele agencji turystycznych oferując najtańsze i najkrótsze wizyty organizuje jednak trasę objazdu tylko do miasteczka Chivay i miejsca widokowego Cruz del Condor na skraju kanionu. Chivay jest stolicą prowincji (odpowiednik polskiego powiatu), położoną w owej dolinie 40 km od początku kanionu. Cruz del Condor wznosi się na skraju przepaści, około 1000 m nad nurtem rzeki, a dotarcie tu o poranku zapewnia widok szybujących kondorów.

Główny cel utworzenia tu parku, to ochrona obszaru o niespotykanej georóżnorodności, wielkich walorach krajobrazowych (Fig. 2), kulturowych i mało jeszcze poznanych walorach przyrodniczych. Idea geoparków, nowej kategorii obszarów chronionych na potrzeby nauki i edukacji, jest omówiona w kolejnym rozdziale. Jednakże wydaje się potrzebne nadanie parkowi możliwie najwyższej rangi i nie pozostawienie jego powołania i funkcjonowania wyłącznie organom samorządowym i regionalnym. Należy połączyć inicjatywy oddolne i zasady podane przez Sekretariat Geoparków UNESCO w Paryżu (2004) z egidą Peruwiańskiego Instytutu Zasobów Naturalnych INRENA i mocą dekretu państwowego. Park gwarantowałby niezależność ochrony od zmieniających się politycznych koniunktur i doraźnych interesów grup społeczno-gospodarczych.



Fig. 2. Widok na Kanion Colca poniżej Tapay

Fig. 2. Canyon Colca below Tapay

Trudności w zagospodarowaniu tego obszaru wynikają z tego, że kanion dzieli świat nad swoją krawędzią na dwa regiony przedzielone czeluścią. Wewnątrz czeluści znajdują się małe półki, na które udało się doprowadzić wodę. Według legendy, wieść o uzyskaniu przez Peru niepodległości dotarła na drugą stronę Kanionu Colca 10 lat później. Potrzeby gospodar-

cze kraju wymuszają, a postęp techniczny umożliwi budowę dróg, linii energetycznych, inwestycji hydrotechnicznych oraz mostów. Już trwa budowa drogi pomiędzy Ayo i Huambo, zrealizowano ogromny projekt irygacyjny Majes, który spowodował zmniejszenie przepływu wód w Rio Colca (Paulo & Gałaś 2007), przystąpiono do budowy hydroelektrowni Molloco. Pojawiają się ekskluzywne hotele w atrakcyjnych widokowo miejscach.

Powołanie obszaru chronionego spowodowałoby ujęcie działań gospodarczych na jego obszarze w ramy kontroli i uzgodnień z władzami administracyjnymi parku w celu uniknięcia bezpowrotnej utraty walorów przyrodniczych regionu. Jednocześnie społeczności, które funkcjonują w granicach lub na obrzeżach obszarów chronionych, korzystają z ich popularności znajdując miejsca pracy w obsłudze ruchu turystycznego.

IDEA PARKU

Środowisko skalne wraz z klimatem determinuje rozwój gleb i przyrody żywej, całej bioróżnorodności. Rozpoznajemy je, dokumentujemy i powinniśmy zachować przynajmniej najbardziej charakterystyczne zespoły geologiczne w taki sam sposób, jak czynimy to względem żywej przyrody. Najlepiej, gdy obszar jest różnorodny zarówno pod względem geologiczno-krajobrazowym jak i biologicznym. W Peru na znaczenie podłoża geologicznego i geodynamiki dla rozwoju ekosystemów zwracał uwagę Tumialan de la Cruz (2004), a w Polsce m.in. Kozłowski (1994, 2004) i Alexandrowicz (2006).

Głębokie rozcięcie erozyjne w Kanionie Colca oraz nadbudowa Kordyliery Zachodniej i Altiplano przez wulkany skutkują bogactwem krajobrazów i obecnością wielu pięter klimatyczno-ekologicznych. Zachowanie charakterystycznych cech krajobrazu sprzyjać będzie harmonizowaniu procesów społecznych, gospodarczych i środowiskowych w regionie.

Ujawnienie w toku badań genezy zjawisk przyrodniczych, współzależności świata żywego i otoczenia skalnego sprzyja edukacji, a ochrona charakterystycznych profili i stanowisk – badaniom naukowym. Uświadomienie ogólnonarodowego, a nieraz światowego znaczenia obszaru chronionego, buduje dumę mieszkańców regionu i stwarza fundament współpracy pomiędzy naukowcami a lokalną społecznością.

Przyszły Park Narodowy Kanion Colca i Dolina Wulkanów ma wszelkie dane by stać się, wraz z istniejącymi już rezerwatami *Salinas y Aguada Blanca* oraz *Subcuenca del Cotahuasi*, ważnym ogniwem w tworzonej od niedawna przez UNESCO sieci geoparków (Alexandrowicz & Wimbledon 1999, Dingwall 2000, UNESCO 2004). Geoparki powinny spełniać dwa podstawowe zadania: ochrony dziedzictwa geologicznego i bezkonfliktowego wykorzystania naturalnych walorów krajobrazu w lokalnej polityce zrównoważonego rozwoju społecznego i gospodarczego. Ochrona dziedzictwa odbywa się poprzez zabezpieczenie stanowisk, popularyzację nauk geologicznych oraz propagowanie ich funkcji edukacyjnych i turystycznych.

Omawiany region obejmuje mozaikę formacji geologicznych (Paulo 2008), niezwykle i piękne formy rzeźby (Gałaś & Paulo 2005, Arana 2006, Radwanek-Bąk 2008), bogactwo struktur tektonicznych (Żaba & Małoplepsy 2008) i morfologicznych (Kalicki & Kukulak 2008). Badania prowadzone przez Polską Ekspedycję Naukową do Peru powinny wskazać jak można odczytać z nich procesy geologiczne i złożoną historię Ziemi. Powinny również wykazać wartość ekologiczną, archeologiczną, historyczną lub kulturową.

Inicjatywa utworzenia parku powinna być zgodna z dążeniem lokalnych władz i samorządów posiadających silne przekonanie do wprowadzenia planu gospodarczego, który sprosta potrzebom ekonomicznym lokalnej społeczności, chroniąc jednocześnie krajobraz, w którym ona żyje. Twórcy koncepcji geoparków zwracają uwagę, że potrzebna jest wola polityczna budowana stopniowo od dołu do góry, połączona z długoterminową pomocą finansową oraz profesjonalnymi strukturami zarządzania. Dla każdego regionu wypracowywana jest własna strategia, przewidująca jego zrównoważony rozwój socjalno-ekonomiczny i kulturalny. Sukces może być osiągnięty jedynie poprzez zaangażowanie lokalnych społeczności i środków.

OCHRONA I UDOSTĘPNIENIE

Ochrona i udostępnienie cennego przyrodniczo obszaru stanowią zwykle najbardziej drażliwy temat, bo pogodzenie obydwu funkcji jest trudne.

Ochrona powinna być realizowana w oparciu o zatwierdzony plan działań, których celem nadrzędnym jest ochrona zasobów i walorów obszaru. Do realizacji tych zadań powinna być powołana służba ochrony parku. Nowoczesne strategie ochrony przyjmują dwa główne kierunki działań: ochronę procesów przyrodniczych w strefie ochrony ścisłej oraz ochronę bioróżnorodności w strefie ochrony częściowej (Krzan 2002).

W strefie ochrony ścisłej obowiązuje zasada nieingerencji, a zabiegi ochronne dopuszczone są wyjątkowo w przypadku katastrof lub ze względów bezpieczeństwa. W tej strefie nie przewiduje się także gospodarczego wykorzystania zasobów środowiska. Dopuszczone mogą być prace badawcze, a nawet turystyka i użytkowanie rekreacyjno-sportowe z ograniczeniami czasowymi i przestrzennymi.

Na obszarze ochrony częściowej możliwe są działania mające na celu zabezpieczenie zasobów przyrodniczych, krajobrazowych i kulturowych. Dopuszczone są: turystyka, rekreacja, badania naukowe, edukacja i sport. Możliwy jest rozwój budownictwa i infrastruktury turystyczno-rekreacyjnej, ale tylko w rozmiarach nie powodujących trwałej utraty walorów środowiska (Krzan 2002).

O poziomie i sposobie ochrony konkretnych stanowisk geologicznych, archeologicznych, ekosystemów i walorów krajobrazowych w poszczególnych państwach decydują władze centralne. Zgodnie z państwowymi przepisami, park powinien współuczestniczyć w ochronie ważnych obiektów geologicznych, w tym: zasobów złóż mineralnych, reprezentatywnych skał, minerałów, skamieniałości, form rzeźby i krajobrazu, źródeł, profili glebowych i innych, które dostarczają informacji dla różnych dyscyplin naukowych. Zarząd parku powinien przeciwdziałać sprzedaży okazów stanowiących dziedzictwo geologiczne, natomiast może wyrażać zgodę na pozyskiwanie okazów do kolekcji naukowych i dydaktycznych. W ten sposób należy pokazać, że zachowawczy stosunek do wykorzystania takich zasobów prowadzi do wyższych korzyści ekonomicznych niż krótkotrwały zysk z wyprzedaży dziedzictwa geologicznego, minerałów i skamieniałości.

Władze parku powinny zadbać o przekazywanie społeczeństwu wiedzy o środowisku i koncepcji jego ochrony, np. poprzez muzea, centra edukacyjne, szlaki turystyczne, ścieżki dydaktyczne, mapy i przewodniki, informację internetową. Organizacja imprez ekologicznych dla szkół podstawowych i gimnazjów z wykorzystaniem miejscowych walorów przyro-

dy żywej, geologii, geomorfologii może wzmocnić poczucie znaczenia parku i pomóc w ochronie jego obszaru.

Utworzenie parku powinno stymulować rozwój lokalny, np. przez wyszkolenie przewodników, tworzenie warsztatów rękodzielniczych i małych przedsiębiorstw oferujących pamiątki skalne lub skamieniałości. Konieczne jest przystosowanie niektórych obiektów do zwiedzania i pełnienia funkcji edukacyjnych.

Udostępnienie parku powinno się odbyć na przyjętych z góry zasadach, z uwzględnieniem praw przyrody, przy wykluczeniu działań, które mogłyby obniżyć walory obszaru chronionego. Konieczna jest kontrola nad rozbudową infrastruktury turystycznej. Lokalizacja obiektów turystycznych odbywa się zwykle w miejscach krajobrazowo atrakcyjnych, często bez uwzględnienia estetycznych szkód w krajobrazie spowodowanych przez wzniesiony obiekt. Powinno się chronić przede wszystkim krawędź kanionu, która budzi największe zainteresowanie. Należy określić chłonność przyrodniczą, czyli granice natężenia obecności człowieka, która nie powoduje trwałych przekształceń w środowisku. Drugi parametr – pojemność turystyczną – wyznacza się określając komfort zwiedzania i możliwości spełnienia oczekiwań w zakresie odpoczynku, rekreacji i wrażeń estetycznych (Mirek 1996).

Potencjalnym zagrożeniem obszaru cennego przyrodniczo jest konflikt interesów między ekologami i mieszkańcami oraz przedsiębiorstwami poszukiwawczymi i górniczymi, które dążą do nieskrępowanego dostępu do złóż. Istotne znaczenie dla powodzenia projektu parku narodowego ma nastawienie społeczności lokalnej i konkurentów do wykorzystania terenu.

Próbowaliśmy wysondować to nastawienie u obydwu stron w trakcie licznych kontaktów bezpośrednich. Pomysł utworzenia parku narodowego na omawianym obszarze Kanionu Colca i Doliny Wulkanów był witany z zainteresowaniem kadry zarządzającej kopalniami i z entuzjazmem samorządowców. Warto podkreślić, że budując drogi dojazdowe, osiedla mieszkalne, szpitale i szkoły kompanie górnicze stwarzają podwaliny rozwoju gospodarczego w tej części Andów (Paulo & Gałaś 2006b). Po zamknięciu kopalń złota osiedla górników leżące w sąsiedztwie przyszłego parku mogłyby stać się schroniskami dla turystów odwiedzających najgłębszy kanion świata.

TURYSTYKA I REKREACJA

Głównym kierunkiem rozwoju gospodarczego Doliny Colca, a w przyszłości także obrzeżenia kanionu, jest turystyka. Turystyka może jednak nadmiernie obciążać środowisko i degradować cenne obszary. Europejskie doświadczenia związane z nadmiernym ruchem na niektórych szlakach parków narodowych, inwestycjami budowlanymi trwale zubożającymi cenne walory krajobrazowe, utratą wielu cennych gatunków flory i fauny powinniśmy wykorzystać przy tworzeniu zasad ochrony tego obszaru. Bogata infrastruktura, charakterystyczna dla społeczeństw konsumpcyjnych, umożliwia wygodny dojazd i komfortowy pobyt, ale pozbawia doznań płynących z obcowania z pierwotną naturą. W Alpach szacuje się, że liczba turystów na km² mieści się w granicach 126–916, a w Tatrach nawet 15 tysięcy osób (Mirek 1996).

Takich problemów w przypadku Kanionu Colca można będzie unikać ustalając wcześniej zasady zrównoważonego rozwoju turystyki dla tego obszaru. Za główną zasadę należy przyjąć ochronę szeroko rozumianego środowiska (w tym także nieożywionego) oraz dziedzictwa kulturowego mieszkańców. Plany zagospodarowania turystycznego muszą wynikać

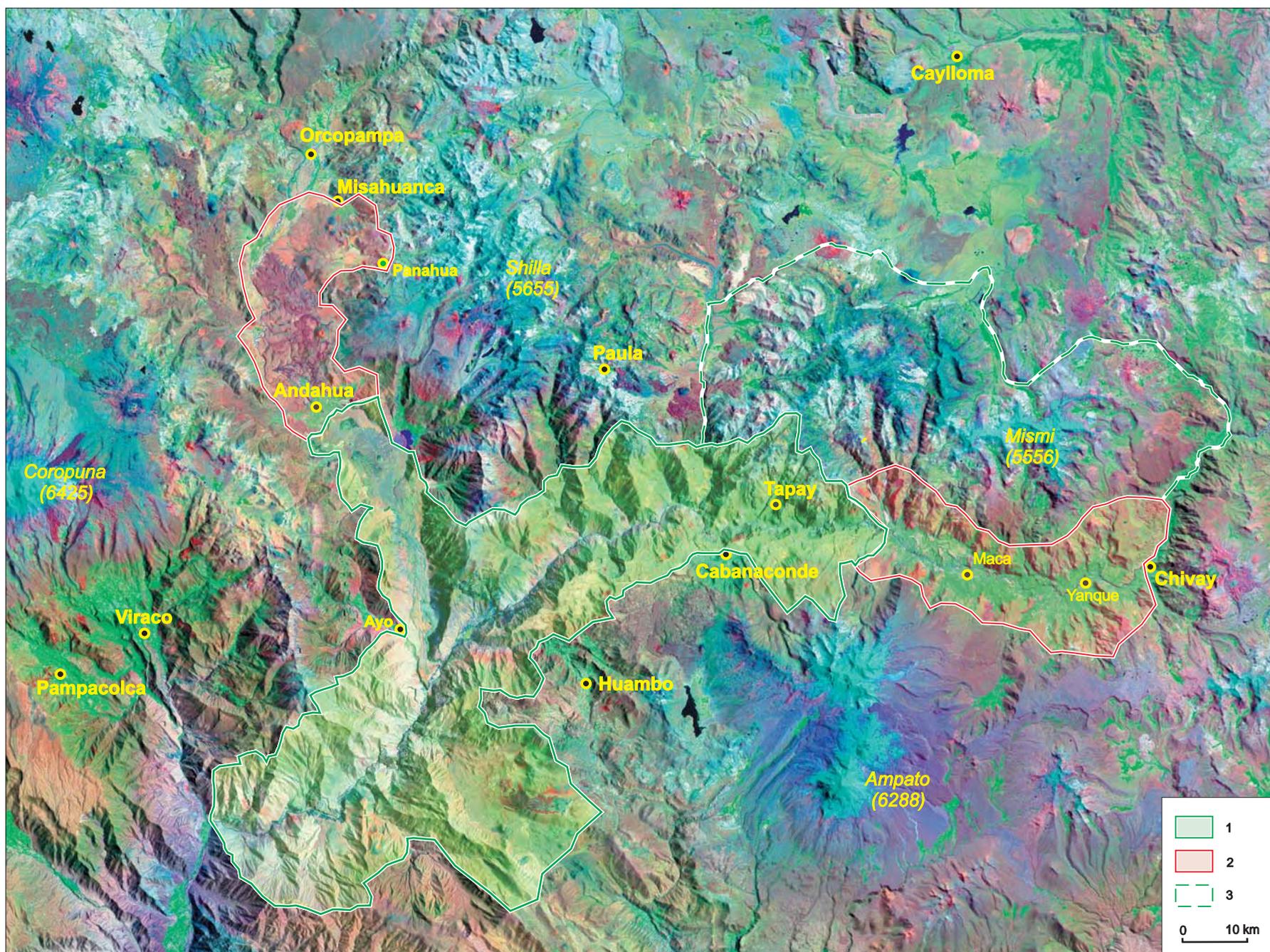


Fig. 3. Mapa projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów (Landsat 7). 1 – granice parku narodowego, 2 – strefa buforowa, 3 – strefa rezerwowa

Fig. 3. Map of future Canyon Colca and Valley of Volcanoes National Park (Landsat 7). 1 – borders of national park, 2 – buffer zone, 3 – reserve zone

ze współpracy służb przygotowujących ochronę oraz miejscowej ludności. Niezwykle istotne pozostaje zadanie zapewnienia środków do życia miejscowej ludności. Nie wystarczą bramki, w których pobiera się opłatę za przejazd. Należy kreować nowe źródła dochodów w oparciu o potencjał i kulturę mieszkańców okolic Rio Colca.

Rozbudowa bazy noclegowej i zaplecza turystycznego jest konieczna, ale można ją ograniczyć do stref buforowych, które proponuje się utworzyć na obrzeżach kanionu. Koniecznie należy wykształcić grupę przewodników górskich i pracowników biura obsługi ruchu turystycznego. Doświadczenia turystów korzystających z agencji turystycznych w Arequipa są bardzo różnorodne. Zdarzają się nierzetelne agencje, które w programie wycieczki „Kanion Rio Colca” zapewniają dojazd tylko do miejscowości w Dolinie Colca – standardowo do Chivay i ewentualnie Maca lub Yanque.

Dolina Rio Colca przed wiekami była spichlerzem imperium Inków (*colca* w języku keczua oznacza spichlerz) z tysiącami tarasów, do których misternie doprowadzano wodę (Gutiérrez *et al.* 1986). Nadają one swoisty koloryt dolinie. Nadal urodzajna Valle del Colca powinna dostarczać tradycyjnego pożywienia dla mieszkańców i turystów. Różnorodność lokalnych płodów rolnych jest duża, a dla przybysza spoza Ameryki Południowej stanowi o egzotyce. Należy zadbać o ograniczenie stosowania nawozów sztucznych i innych środków chemicznych i już teraz stworzyć motywacje dla rolnictwa ekologicznego. Rolnictwo wraz z hodowlą będzie w tym regionie drugim źródłem dochodów mieszkańców, obok turystyki.

Należy wskazać możliwości uprawiania określonych rodzajów turystyki i rekreacji, które będą dopuszczone na terenie parku i eliminować te, które mogą wpływać negatywnie na zasoby parku, np. motocrossy, helikopterowe wycieczki nad kanionem i Doliną Wulkanów, penetracja stanowisk archeologicznych. Trzeba roztoczyć panoramę różnych walorów regionu: krajobrazowych, geologicznych, etnograficznych, historycznych, zdrowotnych... Ale zanim przedstawi się bogatą ofertę dla turystyki poznawczej trzeba te walory poznać i kompetentnie opisać.

GRANICE PARKU NARODOWEGO

Wyznaczenie granic parku narodowego będzie etapem końcowym kilkuletnich prac nad stworzeniem dokumentacji chronionych walorów. W latach 2003–2005 badania terenowe ograniczały się do wulkanów grupy Andahua i walorów geoturystycznych w rejonie Kanionu Colca (Paulo 2007). Rozpoczęte w 2006 roku wielodyscyplinarne tematy badawcze (Głogowska & Krupa 2008) należy uznać za ważny krok do dokumentacji różnorodnych walorów Kanionu Colca i jego otoczenia.

Na podstawie wstępnych raportów z tych prac dokonano próby wyznaczenia granic przyszłego parku (Fig. 3). Przyjęto, że ochroną objęty będzie cały kanion od jego początku (na zachód od wioski Madrigal) do połączenia Rio Colca z Rio Capiza w Rio Majes, czyli na długości 120 km. Ustalając szerokość parku głównym motywem jest ominięcie terenów znajdujących się obecnie pod presją antropogeniczną – głównie użytkowanych rolniczo. Wydaje się, że na obecnym etapie stosowania agrotechniki (w Huambo w 2006 roku zakupiono pierwszy traktor) takie strefy mogłyby mieć charakter otuliny parku. Dotyczy to zwłaszcza rejonu Cabanaconde – Huambo. W najwęższym miejscu w Cabanaconde granica przebiegałaby w odległości poziomej zaledwie 2.5 km od dna kanionu. Po przeciwnej (północnej) stronie kanionu granica jest przesunięta do 10 km od Rio Colca.

Na północnych stokach kanionu istnieją tylko niewielkie osady ludzkie (Fig. 4) i wydaje się, że ich istnienie w obecnej formie nie zagraża w istotny sposób walorom parku. Osady te i przyległe tarasy pól uprawnych można zaliczyć do dziedzictwa kulturowego. Największą osadą, która znalazłaby się w granicach parku jest Tapay. Bardziej na zachód, aż po Rio Majes granica po obu stronach kanionu obejmowałaby obszar zbliżony do zlewni bezpośredniej Rio Colca. Oznaczałoby to rozszerzenie granic parku do około 25 km od Rio Colca jako osi parku. Jest to strefa o klimacie pustynnym, prawie bezwodna i bezludna, w której przyroda nie została ujarzmiona, a ludzie opuszczają pojedyncze zagrody.

W granicach projektowanego parku powinna się znaleźć południowa część Doliny Wulkanów, w której na małej powierzchni skupione są wyjątkowe walory krajobrazowe i naukowe. Są one przedmiotem osobnego projektu ze względu na bogactwo form wulkanicznych zachowanych praktycznie bez śladów erozji (Gałaś & Paulo 2005, Gałaś 2008). Są tu wyjątkowo atrakcyjne stożki piroklastyczne (Hoempler 1960, Cabrera & Thouret 2000, Delacour *et al.* 2002), kopuły lawowe i potoki lawy (Gałaś & Paulo 2005), które byłyby znakomitą urozmaicheniem georóżnorodności przyszłego obszaru ochrony (Fig. 5). W granicach parku znalazłoby się najmłodsze potoki law na południe od Andahua.

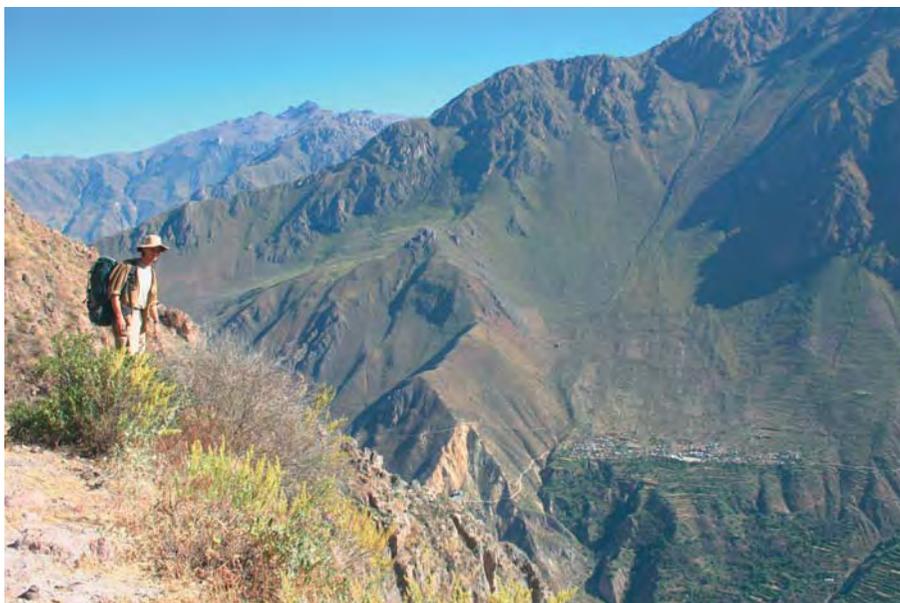


Fig. 4. Widok na Kanion Colca, na stoku widoczna wioska Cosnihua k. Tapay

Fig. 4. Canyon Colca, on the slope seen Cosnihua village near Tapay

Rozważane jest włączenie do parku narodowego wschodniej części Cordillera Shila (na wschód od Rio Molloco) obejmującej Nevado Mismi (5597 m n.p.m.) i sąsiednie szczyty pokryte wiecznym śniegiem, wyżynnej pampy z jeziorami, a przede wszystkim obszaru źródłowego Amazonki (Piętowski & Bzdak 2003). W przypadku Amazonki rozpoznanie wydajności i długości jej dopływów oraz ustalanie nazw przypada dopiero na ostatnie lata. Okazuje

się, że najdalej oddalone od ujścia Amazonki do Atlantyku są źródła rzeki Apurimac, który jest najdłuższym dopływem Ucayali i za jej pośrednictwem – najdłuższej rzeki świata, Amazonki.

Innymi walorami tej części Andów wydają się jeziora, będące siedliskami flamingów i innych ptaków. W okolicy Caylloma znajdują się relikty urządzeń górniczych z epoki kolonialnej. Określenie granic tego sektora wymaga dodatkowych badań terenowych, przewidzianych na rok 2008, uwzględnienia nowych projektów hydrotechnicznych, konsultacji z samorządem prowincji Caylloma i władzami departamentu Arequipa.

Park Narodowy Kanion Colca i Dolina Wulkanów tworzony jest z myślą o ochronie formacji geologicznych (profilu litostratygraficznych, klasycznych form tektonicznych, erozyjnych i wulkanicznych), geomorfologiczno-krajobrazowych, obszaru źródłowego najdłuższego dopływu Amazonki, pionierskich organizmów, ekosystemów, zabytków archeologicznych i obiektów kultury materialnej lokalnych społeczności. Mniejsze kaniony na świecie zostały już docenione i nierzadko stały się obszarami chronionymi, np. Kanion Colorado w Stanach Zjednoczonych, czy (najgłębszy w Europie) Kanion Tary w Czarnogórze.



Fig. 5. Krajobraz w Dolinie Wulkanów

Fig. 5. Landscape in Valley of Volcanoes

OTULINA

Otulina ma na celu ochronę granic parku przed nadmierną presją, przy zachowaniu pewnej swobody inwestycyjnej. W tym przypadku wyznaczenie takich stref buforowych (*zonas de amortiguamiento*) ma na celu uporządkowanie gospodarki przestrzennej w sąsiedztwie parku, w obszarach o dużych walorach przyrodniczych, pozostających jednak na wyższym stopniu

osadnictwa i zagospodarowania. Wyznaczono dwie strefy buforowe: Dolina Colca i północna część Doliny Wulkanów. Rozważana jest trzecia strefa u podnóża Nevado Coropuna (6425 m n.p.m.). Obfituje ona w zabytki archeologiczne, rozpoznawane przez polsko-peruwiański Proyecto Condesuyos (Ziółkowski & Belan 2001), a także zawiera odciski łap dinozaurów w Querullpa i petroglify Toro Muerto koło Corire. Potrzebna jest staranna ochrona tych stanowisk, zwłaszcza iż sąsiadują ze strefą znacznej aktywności gospodarczej.

Rejon Doliny Colca jest wyjątkowo korzystnie położony i stanowiłby znakomite zaplecze turystyczne dla udostępnienia parku. W planie ochrony Chivay znalazłoby się poza strefą buforową, co gwarantowałoby miastu nieskrępowany rozwój. Część doliny pomiędzy Chivay a początkiem kanionu w Madrigal obfituje w miejsca ciekawe dla turystów: zabytki kultury i techniki, termalne baseny, targowiska i inne. Ma dobrze rozwiniętą sieć komunikacyjną i zapewnia alternatywne, w stosunku do parku, sposoby rekreacji. Strefa uskokowa Maca–Layo i towarzyszące jej osuwiska i osady jeziorne (Kalicki & Kukulak 2007) tworzą wyjątkowo pięknie eksponowane obiekty, pozwalające zrozumieć skutki trzęsień ziemi i rozwój rzeźby. Warto ją ustanowić stanowiskiem dokumentacyjnym i włączyć do programu turystyki poznawczej, tym bardziej, że leży na drodze do tłumnie odwiedzanego punktu widokowego – Cruz del Condor.

Otulina Doliny Wulkanów, to rejon obejmujący okolice Andahua aż po wioskę Misahuanca na północy. W granicach tego obszaru znajdują się pola lawowe i stożki piroklastyczne grupy Andahua. Starsze potoki są pokryte uprawami rolniczymi lub skąpą roślinnością stref *suni* i *puna* (Pulgar 1943), monotonne i mało atrakcyjne dla turystyki. Młodsze, czytelne formy mogą zafascynować turystów, zwłaszcza tych którzy odwiedzą wcześniej południową część Doliny Wulkanów w granicach parku. Bardzo atrakcyjny turystycznie jest odcinek Misahuanca – lodospady Panahua, który obfituje w obiekty geologiczne, historyczne, etnograficzne i przyrodnicze, a został niedawno objęty częściową ochroną z inicjatywy samorządu Orcopampa i przyrodnika Mauricio de Romania (Krzak 2005, Arana 2006, Radwanek-Bąk 2008). W okolicy Andahua warto też zobaczyć niezwykle wąski kanion jednoimiennej rzeki i wodospady Izanquillay.

Na północnym krańcu tego obszaru znajduje się górnicze miasto Orcopampa. W jego pobliżu jest czynna kopalnia złota Chipmo, zakład wzbogacania wraz z infrastrukturą (osadniki, drogi techniczne) (Paulo & Gałaś 2005, 2006). Górnictwo potrzebuje znacznej przestrzeni i swobody w działaniach, dlatego strefa buforowa powinna stanowić przejście do obszaru o wysokich wymaganiach odnośnie ochrony środowiska. W otulinie dopuszczona byłaby także inna działalność gospodarcza, na tyle ograniczona, by nie doszło do zagrożenia obszaru parku z zewnątrz.

UWAGI KOŃCOWE

Idea utworzenia Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów zyskała aprobatę władz regionalnych w Peru. W propagandę tej idei, jeszcze niezbyt precyzyjnie zarysowanej, angażują się przedstawiciele miejscowego środowiska naukowego, politycznego i kulturalnego. Zadaniem, które powinniśmy sobie postawić jest stworzenie projektu parku, który służyłby zachowaniu geo- i bioróżnorodności oraz spuścizny kulturowej regionu Kanionu Colca przy jednoczesnym zapewnieniu rozwoju gospodarczego tego regionu.

Istotne jest uruchomienie procesu tworzenia parku i gotowość konsultacji z miejscowymi władzami. Sam protokół formalny powinien być realizowany wyłącznie w oparciu o instytucje centralne i regionalne Peru. Jednocześnie Polska ma niebywałą szansę promocji swojego potencjału naukowego oraz utrwalenia dorobku odkrywców kanionu. Aby inicjatywa i praca naukowców znalazła należyty odzew należałoby wzmocnić udział struktur rządu RP w Peru. Przykładem silnego zaangażowania w promocję swego kraju może być rząd i królowa Hiszpanii, która ufundowała już kilka obiektów publicznych (szkoła, baza turystyczna) w Dolinie Rio Colca. Działania Polskiej Wyprawy Naukowej Peru 2006 w rejonie kanionu Colca promują Polskę nie tylko wśród Peruwiańczyków, ale też wśród turystów przybywających tu z całego świata.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH, nr 11.11.140.560

LITERATURA

- Alexandrowicz Z., 2006. Geoparki – nowe wyzwanie dla ochrony dziedzictwa geologicznego. *Przegląd Geologiczny*, 54, 1, 36–41.
- Alexandrowicz Z. & Wimbledon W.A.P., 1999. The concept of world lithosphere reserve. *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 347–353.
- Arana E., (ed.), 2006. Un santuario natural en los volcanes. *Bienvenida*, 55, 58–68.
- Cabrera M. & Thouret J.-C., 2000. Volcanismo monogenético en el sur del Perú. *X Congr. Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú*, Lima Res., 186.
- Delacour A., Gerbe M.-Ch., Thouret J.-C., Wörner G. & Paquereau-Lebti P., 2007. Magma evolution of Quaternary minor volcanic centres in southern Peru, Central Andes. *Bulletin of Volcanology*, 69, 581–608.
- Delacour A., Paquereau P., Gerbe M.-Ch., Thouret J.-C. & Wörner G., 2002. Quaternary minor volcanic centres in Southern Peru: volcanology, petrology and geochemistry. 5th ISAG, Toulouse, 175–178.
- Dembicz A. & Smolana K., 1993. La presencia polaca en America Latina. CESLA, Warszawa.
- DESCO, 2005. Proyecto Vigila Peru: Vigilancia de las industrias extractivas. Reporte Regional de Arequipa Nº 2. *Grupo Propuesta Ciudadana & Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo*. Arequipa.
- Dingwall P.R., 2000. Legislation and international agreements: the integration of the geological heritage in nature conservation policies. [In:] Berettino D., Wimbledon W.A.P. & Gallego E. (eds.) Geological heritage: its conservation and management: 15–28. *Sociedad Geológica de España*, Madrid.
- Gałaś A., 2008. Budowle wulkaniczne grupy Andahua i jej zasięg. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, 2/1, 107–136.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 320–326.
- Głogowska M. & Krupa J., 2008. Sprawozdanie z Polskiej wyprawy naukowej Peru 2006. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, 2/1, 9–16.
- 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.

- Hoempler, 1962. Valle de volcanes de Andahua, Arequipa. *2° Congreso Nac. de Geología*, Sociedad Geológica del Perú, Lima, 37, 59–69.
- INRENA 2005. SINANPE: Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. www.inrena.gob.pe
- Kalicki T. & Kukulak J., 2007. Formowanie sieci rzecznej zachodniego skłonu Andów Peruwiańskich na przykładzie doliny Rio Colca. [In]: Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady. *Materiały Konferencyjne*, Warszawa, 245–257.
- Kauffman F., 2006. Las placas mágicas de Chuchu. *Bien Venida*, 55, 82–88.
- Kozłowski S., 1994. Ochrona przyrody nieożywionej w strategii ochrony litosfery w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 42, 158.
- Kozłowski S., 2004. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny*, 52, 833–837.
- Krzak M., 2005. Ruch turystyczny w rejonie Arequipy i możliwości jego rozwoju w Dolinie Wulkanów (prowincja Castilla) w południowym Peru. *Geoturystyka*, 2, 2, 3–22.
- Krzan Z., 2002. Relacje człowiek – przyroda w planie ochrony Tatrzańskiego Parku Narodowego. W: Borowiec W., Kotarba A., Kownacki A., Krzan Z. & Mirek Z. (eds), *Przemiany środowiska przyrodniczego Tatr*. Tatrzański Park Narodowy, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauki o Ziemi, Oddział Kraków, 327–332.
- Majcherczyk J., 2000. *The conquest of Rio Colca the world's deepest canyon*. Layconsa Impresiones, Arequipa, 269.
- Majcherczyk J., Piętowski A. & Chmieliński P., 1981. *In kayak through Peru*. Whitewater guide. Canoandes & Embajada de Viajero. Lima, 139.
- Mirek Z., 1996. Idea Tatrzańskiego Parku Narodowego – ochrona i udostępnianie. W: Mirek Z. (ed), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, TPN, Kraków–Zakopane, 27–34.
- Olko J., 1998. Sanktuaria Andów. *Wiedza i Życie*, 9, 42–54.
- Paradowska M., 1977. *Polacy w Ameryce Południowej*. Wydawnictwo Ossolineum, Wrocław.
- Paulo A., 2007. Historia polskich badań środowiska geologicznego Ameryki Łacińskiej. *Materiały Ogólnopolskiej Konf. Naukowej: „Polskie badania środowiska przyrodniczo-kulturowego w Ameryce Łacińskiej”*, Inst. Botaniki PAN i in., Kraków, 10–24.
- Paulo A., 2008. Wprowadzenie. *Kwartalnik AGH Geologia*. 34, 2/1, 5–8.
- Paulo A. & Gałaś A., 2006a. Górnictwo a rozwój zrównoważony i ryzyko inwestycyjne w Peru. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, Wyd. Inst. GSMiE PAN Kraków, 22, zesz. specj. 2, 145–166.
- Paulo A. & Gałaś A., 2006b. Górnictwo rud w południowym Peru a ochrona środowiska i zrównoważony rozwój regionu. *Mat. Konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Wyd. IGSMiE PAN Kraków, 617–630.
- Piętowski A. & Bzdak Z., 2003. Źródła Amazonki: Ostatnia audycja u królowej rzek. *National Geographic (Polska)*: 10, 49.
- Plan 2006. Plan de gobierno regional 2007–2010 (propuesta). Movimiento regional „Arequipa Tradicion y Futuro”. Arequipa.
- Radwanek-Bąk B., 2008. Atrakcje geoturystyczne Kanionu Rio Colca i jego otoczenia. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, 2/1, 173–192.
- Tumialan de la Cruz P.H., 2004. La Geología en relación al sistema ecológico en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación, Fac. minas metal cienc. geogr.*, 7, 13, 9–15.

- UNESCO, 2004. Operational Guideline for National Geoparks Seeking UNESCO's Assistance (Global UNESCO Network of Geoparks), 1–14. UNESCO, Paris.
- Ustawa, 2004. Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. Dz. Ustaw nr 92, poz. 880.
- www.worldgeopark.org – *Global Geoparks Network*
- Ziółkowski M. & Belan L.A. (eds.), 2001. Proyecto Arqueológico Condesuyos, vol. I. Andes *Boletín de la Misión Arqueológica Andina Univ. de Varsovia*, 3, 302.
- Żaba J. & Małolepszy Z., 2008. Aktywność uskoków w Dolinie Rio Colca w rejonie Pinchollo–Maca, Andy Środkowe, Południowe Peru. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, 2/1, 83–106.

Summary

Rio Colca Canyon and Valley of Volcanoes until recently were remote, hardly accessible, economically inactive regions, having unknown natural potential and deserving designation “A forgotten Valley of the Andes” (Shippee & Johnson 1934). Soon after brave canoeing down by a Polish team “Canoandes” (Majcherczyk *et al.* 1981) and discovery that this canyon appears the deepest worldwide it became one of the most popular tourist targets in Peru. That resulted in increased regional income and infrastructure development.

At the same time several major projects around Colca Canyon were executed: Pampa de Majes and Sigvas irrigation with Rio Colca and Nevado Mismi waters, hydroenergy, gold and silver mines, Socabaya–Mantaro and other transmission powerlines which imperil landscape and biotic resources. There is an urgent need of balancing landuse development by protection of the most valuable areas and proving their importance to the world heritage of nature.

Studies performed by the Polish Scientific Expedition to Peru since 2003 are aimed at project of the Colca Canyon and Valley of Volcanoes National Park. This park should protect a unique section of the orogenic belt 100 km long and 1–3 km high, magnificent landscape, sets of active faults, volcanoes, hot springs and specific wildlife including the largest condor habitat in the Andes. Research of the biotic resources started in 2006 and preliminary results are shown in the paper of Cykowska & Flakus (2007).

Of course, the category of protected area must fit Peruvian system of the natural areas protected by state, SINANPE (INRENA 2005). In Peru protection by state is devoted first of all to conservation of biodiversity, and then to protection of accompanying cultural, landscape and scientific values as well as sustainable development of the country. Among eleven national parks of Peru only three were created in the Andes and they cover only 1/6 of such parks' total area. SINANPE distinguishes following categories: national park, national sanctuary, historical sanctuary, national reserve, forest refugee, landscape reserve, communal reserve and protected forests. At their outskirts, where conflicting interests of local development and ecosystem stability exist, buffer zones (*zonas de amortiguamiento*), and where additional studies aimed to establish extension, category and important factors are necessary – reserved zones are declared.

Arequipa department, economically one of the most important in Peru, has only few protected areas, namely *Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca* created in 1979, and *Reserva Paisajística Subcuenca de Cotahuasi* proclaimed in 2005 (Fig. 1). They are located

close to the Colca Canyon and Valley of Volcanoes. In the last years local initiatives to create smaller protected areas become matured, e.g. Panahua waterfall and icefalls near Orcopampa, Laguna Mamacocha near Ayo (Arana 2006), sources of Amazon river at Nevado Mismi foothills (Piętowski & Bzdak 2003), Maucallacta ruins (Ziółkowski & Belan 2001), Toro Muerto and Chucu petroglyphs (Kauffmann 2006). Conservation of such relatively small forms should be easier within SINANPE system, on the other hand their documentation should enrich science and tourism assets of the park.

A section of the article discusses natural values of Colca Canyon and Valley of Volcanoes region against the fundamentals of Geoparks' network as expressed recently by Alexandrowicz & Wimbleton (1999) and UNESCO (2004). In any case protection shall be performed under the protectorate of INRENA and a state decree promulgated. These should guarantee independence of protection shield from violating political trends and short-term objectives of business and social groups.

The idea of creating Canyon Colca and Valley of Volcanoes National Park is protection of geological formations (lithostratigraphic profiles, classical tectonic, erosional and volcanic landforms) (Fig. 2), sources of the mightiest river worldwide, pioneering organisms, ecosystems, as well as archeological and historical objects of native people. Smaller canyons of the world were already appreciated and often were proclaimed protected areas, e.g. Colorado Canyon in USA, Canyon of Tara in Montenegro (deepest in Europe).

Reconciliation of double function of valuable nature asset – conservation and access is difficult. Conservation shall guarantee protection of local resources and values; it needs an accepted plan of actions, protection zoning and a service guarding the park. In the zone of strict conservation no interference in natural processes is allowed (except of catastrophic events and safety reasons) and no economic use is foreseen; however, scientific research and even tourism and educative actions in limited extent in time and space is admitted. In the zone of partial conservation the biodiversity is the main target. Actions leading to safeguarding natural, landscape and cultural resources are allowed, consequently tourism, recreation, research, education and sport admitted. Construction of buildings and tourist-recreation infrastructure in the zone cannot result in permanent loose of environmental assets (Krzan 2002). In the case of Colca Canyon the edge of cliff should be strictly protected as it attracts the major interest of hotel developers but has tremendous landscape effect.

Environmental and tourist capacities shall be determined to avoid permanent change in the environment and ensure comfort of visitors and full aesthetic and recreative pleasures (Mirek 1996). Development of mining camps and other infrastructure induced by mining and hydrotechnical projects at the buffer zones may increase scientific stations and tourist huts capacities at the stage of closing the mines or finishing construction of the projects. Plans of tourism development shall be prepared in the cooperation of nature conservation planners and local authorities. In this way new income sources based on folklore, manual skills and local agriculture are created, guides and tourist agents are professionally educated and engaged balancing disadvantage of barriers to unbound land-use development. Tourist and recreational forms are to be clearly determined and undesirable forms eliminated, which potentially degrade park resources, like motocrossing, penetration of archeological sites under study. Interest of tourists shall be directed to the forms and phenomena which are unique to the region and classically exposed. A panorama of regional values: landscape, geology, ethnography, history,

health *etc.* is worth to be unfolded. However, before displaying a wealthy offer for cognitive tourism, those values should be recognized and competently described.

Determination of borders of the national park will be final effect of valorization and documentation of protected areas and objects (Fig. 3). Early field survey in 2003–2005 was devoted to fascinating dwarf volcanic cones and lava fields of Andahua group, and geotourism assets in Colca Canyon and its vicinity (Paulo 2007). Multidisciplinary topics initiated in 2006 (Głogowska & Krupa 2007) are aimed to document a broader range of natural and cultural values. Early reports from those surveys allow to draw preliminary limits of the park as follows. All canyon shall be protected along its 120 course from natural entrance at Madrigal up to confluence of Rio Colca and Rio Capiza resulting in Rio Majes. Width of the park varies trying to pass by the agriculture and other lots under anthropopressure. In the narrowest section, i.e. in Cabanaconde, the borders would be distant only 2.5 km from the Rio Colca, but on the northern side (Fig. 4) they would include Tapay with its traditional agriculture. The park should comprise lower part of Valley of Volcanoes, south of Andahua, which displays exceptionally high landscape and scientific/educational values (Fig. 5) (Delacour *et al.* 2002, Gałaś & Paulo 2005).

Incorporation of the eastern part of Cordillera Shila including Nevado Mismi and Rio Amazon sources into planned park is considered. It is practically uninhabited area. Altiplano lakes abounding in flamingos and other avifauna, as well as remnants of colonial (?) mining mills present additional assets. Nevertheless determination of borders of this part needs additional fieldwork, previewed for 2008, taking into account new Rio Molloco hydrotechnical project, and consultations with Caylloma province and Arequipa department authorities.

Two buffer (lagging) zones are designed: Valley of Colca and northern part of Valley of Volcanoes. Third one is considered at the foothills of Nevado Coropuna (6425 m a.s.l.) abounding in archeological sites studied within Peruvian-Polish Condesuyos Project (Ziółkowski & Belan 2001), comprising dinosaur tracks in Querullpa and famous petroglyphs in Toro Muerto. Valley of Colca would be excellent tourist background, but Chivay is put apart the buffer zone to allow unbound development of the township. The valley displays multitude of places of tourist interest: Incaic corn magazines (*colcas*) early colonial culture monuments, thermal basins, colourful regional market places, exceptionally well exposed fault zone (Maca–Layo) with accompanying landslides and lake deposits (Kalicki & Kukulak 2007). Buffer zone of the Valley of Volcanoes comprises vast land strip between Andahua and Chachas in the south and Misahuanca in the north. It contains narrow canyon of Rio Andahua, waterfalls of Izanquillay, many interesting objects between Misahuanca and newly formed reserve of Panahua, and dozens of volcanic vents and lava flows representing earlier eruptions. Next to the north is mine town Orcopampa, its treatment plants and other installations, as well as mining leases which need much freedom in planning land-use.

New park would strengthen the state protected areas system in the Arequipa department, increase its tourist attractiveness and determine constraints of regional development. Local authorities show great interest in developing the project.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ KORDYLIERY ZACHODNIEJ POŁUDNIOWEGO PERU

Geology of the Western Cordillera in Southern Peru – an outline

Andrzej PAULO

*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Analiz Środowiskowych, Kartografii i Geologii Gospodarczej;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: paulo@geol.agh.edu.pl*

Treść: Na ścianach kanionu Rio Colca, długiego na 120 km i głębokiego na 1–3 km odsłania się wspaniały przekrój litosfery. Rio Colca, mająca źródła na Altiplano, po drodze do Pacyfiku wcina się głęboko w Kordylierę Zachodnią, a na jej przedpolu tworzy ogromny stożek napływowy, który przykrywa masyw metamorficzny Arequipa. Kordyljera Zachodnia jest najbardziej wypiętrzoną częścią w tej części Andów, zwieńczoną przez dziesiątki wielkich stratowulkanów. Jest zbudowana głównie z epikontynentalnych formacji jury i kredy, wulkanicznych i detrytycznych formacji kontynentalnych kenozoiku oraz pewnej ilości intruzji z okresu górna kreda – neogen. Warstwy przedplioceńskie są sfałdowane. Pięć faz kompresji, udokumentowanych różną orientacją fałdów od późnej kredy, silne wypiętrzanie od późnego miocenu oraz odpowiadające im szczeliny wypełnione po części żyłami kruszców lub lawą gardzieli wulkanów świadczą o rotacji regionalnego pola naprężeń.

Słowa kluczowe: Peru, Kordyljera Zachodnia, Kanion Rio Colca, środkowa strefa wulkaniczna Andów, grupa Tacaza

Abstract: Tremendous cross section of lithosphere is exposed in the walls of Rio Colca Canyon 120 km long and 1–3 high. Rio Colca begins at the edge of Altiplano and on the way to Pacific incises deeply into the Western Cordillera, then builds vast dejection cone at its foothills covering metamorphic Arequipa massif. Western Cordillera forms the most elevated horst of this segment of the Andes surmounted by dozens of huge stratovolcanoes. It is largely built of epicontinental Jurassic and Cretaceous formations, volcanic and detritic continental Cenozoic formations, and several Upper Cretaceous – Neogene intrusions. Pre-Pliocene strata are folded. Five compressive phases since Late Cretaceous differing by azimuth of fold axes, strong uplift since Late Miocene and relevant fractures filled in part by ore veins and volcanic necks evidence rotation of the regional strain field.

Key words: Peru, Western Cordillera, Rio Colca Canyon, Central Volcanic Zone of the Andes, Tacaza Group

WSTĘP

Kanion Rio Colca tworzy unikalny przez swe rozmiary, naturalny przekrój skorupy ziemskiej w niezwykle interesującym miejscu. Andy, zwłaszcza w części środkowej, którą żłobi Rio Colca, są uważane za model aktywnej krawędzi kontynentu. Kolejne badania weryfikują i precyzują ten model. Przedstawiony niżej zarys budowy geologicznej, oparty na dostępnej literaturze, służy jako tło odniesienia do osadzenia na nim zagadnień szczegółowych, badanych przez Polską Wyprawę Naukową Peru 2006 (PWNP) i omówionych w niniejszym tomie.

JEDNOSTKI GEOLOGICZNE I MORFOLOGICZNE

W południowym Peru szerokość Andów osiąga 500–700 km, a przewyższenie nad dnem pobliskiego rowu oceanicznego 12–14 km. Jest to region największych wysokości względnych na świecie i najgrubszej skorupy kontynentalnej, przewyższającej 70 km. Uważany jest za klasyczny obszar subdukcji i orogenu typu andyjskiego. Mniej więcej na szerokości geograficznej 15°S przebiega granica między dwoma segmentami strefy subdukcji płyty oceanicznej Nazca pod płytę Ameryki Południowej: stromszym (20–30°) południowym i połogo zapadającym, północnym segmentem strefy Benioffa (Jordan *et al.* 1983, Cahill & Isacks 1992, Quispe *et al.* 2003). Zmiana geometrii subdukowanej Płyty Nazca zbiega się ze zmianą rzeźby dna Pacyfiku: na północ od szerokości 15°S zanika rów oceaniczny, ryglowany podmorskim grzbietem Nazca. Na kontynencie granica ta odpowiada północnemu zasięgowi środkowoandyskiej strefy współczesnego wulkanizmu (Fidel *et al.* 1997) i znacznemu gradientowi grubości skorupy. Nad północnym segmentem jest ona znacznie cieńsza.

Przyjmuje się za Ringwoodem (1974), że ze stromszych segmentów Płyty Nazca, na skutek pograżenia na głębokość 100–300 km i metamorfizmu, uwalniana jest woda, alkalia i inne fluidy, działające jako topniki. Przenikają one do nadległego klina skał górnego płaszczu (astenosfery) i powodują tam wytapianie magmy. Brak lub nieciągłość klina astenosfery skutkuje brakiem wulkanizmu. Obraz sejsmiczny wskazuje na strefę obniżonych prędkości fal poprzecznych V_p i silne tłumienie fal objętościowych na południe od równoleżnika 15°S, co uważane jest za dowód półpłynnego stanu skorupy na pewnych głębokościach (Chowdhury & Whiteman 1986). Magmy środkowej strefy wulkanicznej Andów, które przenikały przez grubą skorupę, mają w przewodzie skład andezytowy i dacytowy oraz podwyższoną alkaliczność, podczas gdy te z pozostałych stref (Ekwador – Kolumbia i południowe Chile) podnosiły się przez cienką skorupę i mają skład bazaltowy do andezyto-bazaltów i w większości charakter wapieniowo-alkaliczny (Paulo 1988).

Kanion Rio Colca i Dolina Wulkanów oraz inne elementy, do których nawiązuje obecne studium, leżą w strefie południowych szerokości geograficznych 15–16°30', a więc w wulkanicznym segmencie, oraz pomiędzy wybrzeżem a południkiem 71°W. Strefa ta obejmuje kilka zrębowych kordylier, równoległych do krawędzi kontynentu, a więc mających w tej części kierunek WNW-ESE. Od wybrzeża ku wschodowi wyróżnia się (SERNAGEOMIN 2001): Kordylierę Nadbrzeżną (Cord. de la Costa), Obniżenie Pośrednie (Depresión Intermedia), Kordylierę Zachodnią, skraj Depresji Śródandyjskiej i Altiplano (Fig. 1). Już poza omawianym obszarem znajdują się Kordyliera Wschodnia i Sierras Subandinas.

Kanion Colca i Dolina Wulkanów leżą w obrębie Kordyliery Zachodniej. Kordyliera Zachodnia jest najwyższym zrębem Andów. Zwieńczają ją dziesiątki stratowulkanów, wznoszących się 5500–6500 m n.p.m. Kordyliera Nadbrzeżna wznosi się na 900–1200 m, a Obniżenie Pośrednie 50–1500 m n.p.m. Altiplano ma charakter płaskowyżu; w omawianej części leży na wysokości 3500–4000 m n.p.m.

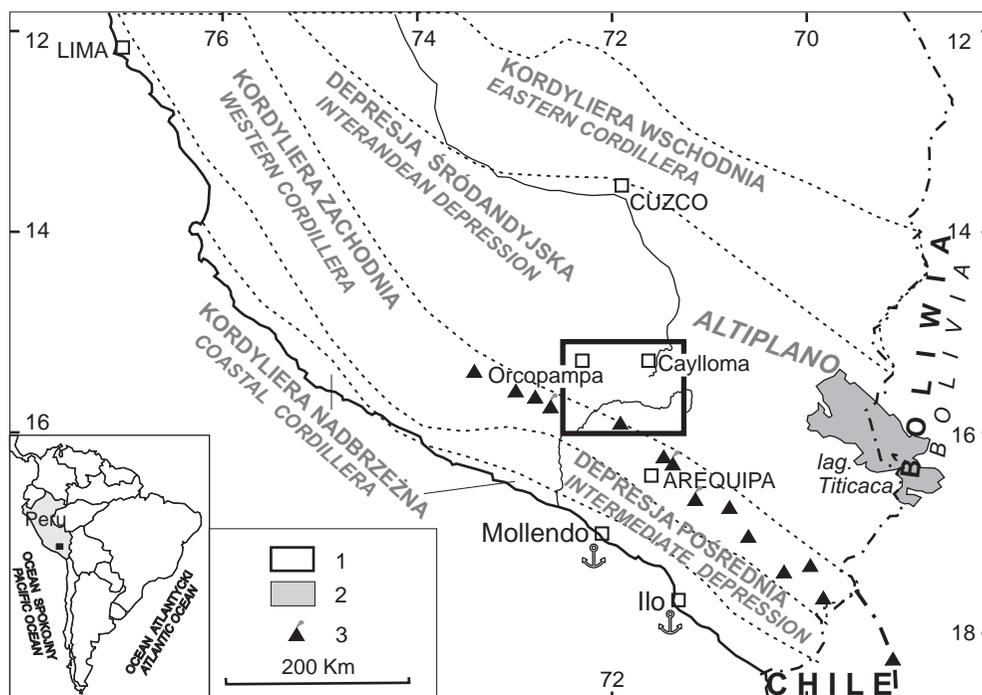


Fig. 1. Położenie obszaru badań na tle jednostek tektonicznych Andów w południowym Peru. 1 – obszar badań, 2 – masyw Arequipa, 3 – stratowulkany

Fig. 1. Location of the study area within tectonic units of the Andes in the South Peru. 1 – study area, 2 – Arequipa Massif, 3 – stratovolcanoes

Rio Colca ma źródła na pograniczu Depresji Śródandyjskiej i Altiplano. Płynąc do Pacyfiku wcina się głęboko w Kordyliere Zachodnią, po czym buduje rozległy stożek napływowy na przedpolu gór. Stratowulkany Cordillera Shila z kulminacją Nevado Mismi (5597 m n.p.m.) oddzielają nieckowatą Dolinę Colca od ogromnej zlewni Amazonki, której najdłuższy dopływ – Apurimac – ma swe źródła na północnych stokach Mismi.

STRATYGRAFIA I TEKTONIKA

Kordyliera Nadbrzeżna odsłania najstarsze skały Andów, budujące masyw metamorficzny Arequipa (Fig. 2). Masyw ten obejmuje również przedłukowe Obniżenie Pośrednie, gdzie przykrywają go potężne stożki napływowe, i odsłania się w Kanionie Colca przecinającym

Kordylerę Zachodnią koło Choco. Protolit masywu Arequipa datowany jest radiometrycznie na 1.8–1.95 mld lat (Cobbing *et al.* 1977, Shackleton *et al.* 1979), a zmiany metamorficzne w facji granulitowej na około 1–1.2 mld lat (Wasteneys *et al.* 1995, Martignole & Martelat 2003). W masywie Arequipa rejestrowana jest też aktywność magmowa w paleozoiku, pretektoniczna 440 Ma (Rb/Sr) w kompleksie Camaná–Atico (Shackleton *et al.* 1979) oraz posttektoniczna w batolicie granodiorytowym San Nicolás, datowanym (K/Ar) na 440/430 Ma (Wilson 1975), lecz ujawniającym izochronę Rb/Sr 329 Ma (Shackleton *et al.* 1979).

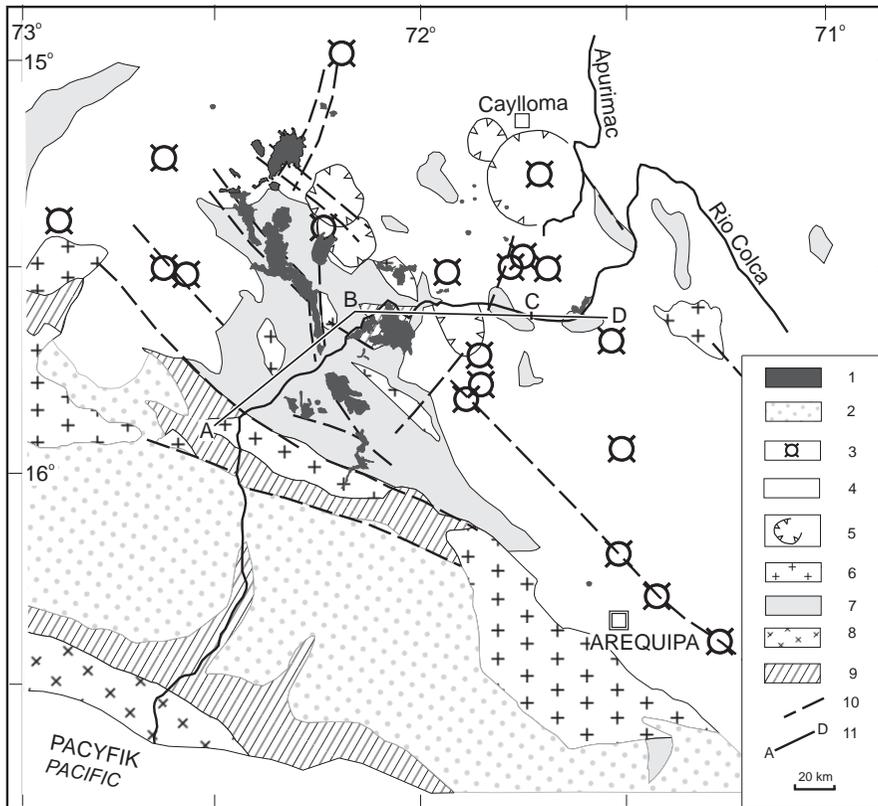


Fig. 2. Mapa geologiczna regionu Rio Colca (na podstawie Salcedo 2007 i badań PWNP 2003–2006). 1 – czwartorzęd: grupa Andahua, 2 – plejstocen: żwiry aluwialne, 3 – pliocen–czwartorzęd: stratowulkany grupy Barroso, 4 – neogen–czwartorzęd: osady piroklastyczne, jeziorne i deluwia, 5 – neogen: kaldery, 6 – jura, kreda, paleogen: plutony, 7 – jura, kreda: formacje osadowe, 8 – proterozoik, dolny paleozoik: intruzje magmowe, 9 – proterozoik: gnejsy masywu Arequipa, 10 – ważniejsze uskoki, 11 – linia przekroju (Fig. 3)

Fig. 2. Geological map of Rio Colca region (based on Salcedo 2007 and PSEP research 2003–2006). 1 – Quaternary: Andahua Group, 2 – Pleistocene: alluvial gravels, 3 – Pliocene–Quaternary: stratovolcanoes of Barroso Group, 4 – Neogene–Quaternary: pyroclastic and lacustrine deposits, deluvia, 5 – Neogene: caldera complexes, 6 – Jurassic, Cretaceous, Palaeogene: plutons, 7 – Jurassic, Cretaceous: sedimentary formations, 8 – Proterozoic, Palaeozoic: magmatic intrusions, 9 – Proterozoic: Arequipa massif gneisses, 10 – major faults, 11 – cross-section line (Fig. 3)

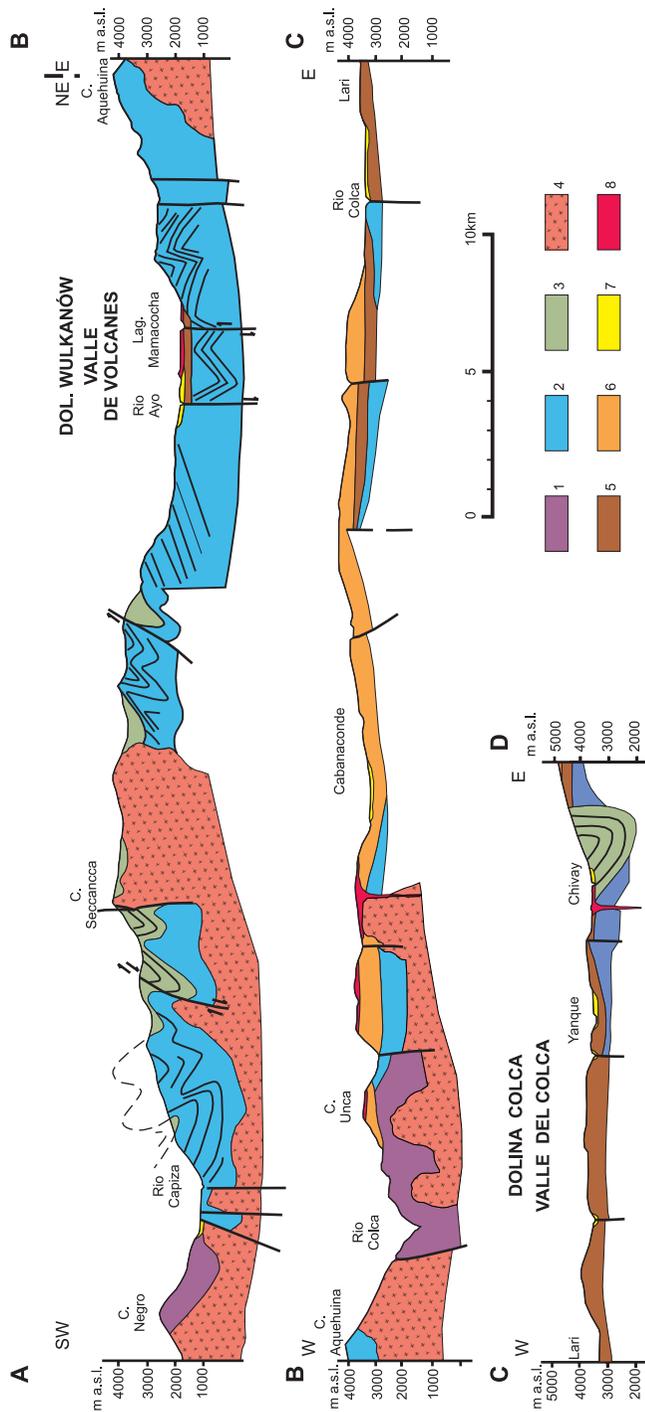


Fig. 3. Przekrój geologiczny przez Kordylierę Zachodnią w pobliżu Kanionu Colca. 1 – proterozoik: gnejsy masywu Arequipa, 2 – jura/kreda: grupa Yura, 3 – kreda: formacje osadowe, 4 – kreda–paleogen: intruzje granitoidowe, 5 – neogen: osady piroklastyczne i lawy, 6 – pliocen–czwartorzęd: stratowulkany grupy Barroso, 7 – plejstocen: aluwia, deluwia, 8 – czwartorzęd: grupa Andahua

Fig. 3. Geological cross-section of the Western Cordillera near Rio Colca Canyon. 1 – Proterozoic: Arequipa massif gneisses, 2 – Jurassic/Cretaceous: Yura Group, 3 – Cretaceous: sedimentary formations, 4 – Cretaceous and Palaeogene: granite intrusions, 5 – Neogene: pyroclastic and lava flows, 6 – Pliocene–Quaternary: stratovolcanoes of Barroso Group, 7 – Pleistocene: alluvia, deluvia, 8 – Quaternary: Andahua Group

Na przedłużeniu masywu Arequipa w kierunku NW występuje gruby pakiet wulkanitów bazaltowo-andezytowych z przełomu triasu i jury, a w kierunku SE andezytowo-dacytowych, przetkany batolitem nadbrzeżnym. Batolit ten intrudował w wielu fazach w ciągu jury i kredy (Thorpe *et al.* 1981) aż po paleogen (Cobbing & Pitcher 1972). W tym czasie znajdował się tu zatem łuk magmowy. Z czasem basen przedłukowy na krawędzi kontynentu został tektonicznie zerodowany. Masyw Arequipa uznawany jest za element paraautochtoniczny, nasunięty ku NE na brzeg Kordyliery Zachodniej (Loewy *et al.* 2004).

W Kordylierze Zachodniej na omawianym obszarze odsłaniają się formacje osadowe jury i kredy, wulkaniczne i detrytyczne formacje kenozoiku oraz intruzje plutoniczne i subwulkaniczne od górnej kredy po neogen. Są one w różnym stopniu sfałdowane i lokalnie nasunięte (Fig. 3).

Altiplano jest śródgórską wyżyną bezodpływową. Mieści Jezioro Titicaca, kilka dużych lecz płytkich jezior słodkowodnych Boliwii i rozległe młodokenozoiczne saliny, czyli niecki wypełnione ewaporatami, oraz łańcuch neogeńskich wulkanów. Najwyższą część budują stradowulkany andezytowe i dacytowe oraz ogromne kompleksy ignimbrytowe. Osady starsze od górnego miocenu są zdeformowane. Wszędzie pod Kordylierą Zachodnią, Depresją Śródanadyjską i Altiplano występuje podłoże proterozoiczne lub paleozoiczne. Wypiętrzanie tego obszaru i duża grubość skorupy tłumaczone są izostazją oraz dodawaniem objętości przez intrudującą i ekstrudującą magmę. Poprzedziło je podatne uginanie dolnej skorupy i pogrubianie osadów pod wpływem ściśnięcia pasma przez sztywne bloki po obu stronach. Kompresyjne zwężenie basenu objawia się tektoniką naskórkową, głównie pasmami fałdowo-nasunięciowymi w górnej skorupie. Zwężenie oceniane jest na około 150 km. Silne wypiętrzanie nastąpiło prawdopodobnie w okresie od eocenu do późnego miocenu (Kay *et al.* 2005), a na Altiplano w czwartorzędzie. Spowodowało to niewątpliwie zmiany w układzie sieci rzecznej.

W południowym Peru najstarszymi skałami osadzonymi na podłożu krystalicznym są jurajskie wulkanity dwóch formacji – Chocolate i Junerata (Tab. 1). Pierwsze zawierają wkładki wapieni rafowych z fauną synemuru, drugie podścielają warstwy łupkowo-wapienne formacji dolnej i środkowej jury. Płytkowodne wapienie formacji Socosani z fauną toarku i bajosu przykryte są szeroko rozprzestrzenioną, grubą na około 3000 m, sekwencją górnojurajskodolnokredowej grupy Yura. Składają się na nią głównie rytmiczne, szaro-czarne osady piaskowcowo-łupkowe z fauną keloweju w spągu, a wyżej w profilu występuje kilka serii łupkowych i kwarcytowych z wkładką wapieni z fauną tytonu–neokomu. Grupa Yura powstała po ruchach górotwórczych, które spowodowały wynurzenie dużej części obszaru Peru, a następnie rozwój oddzielnych basenów sedymentacji. Na północny zachód od Arequipa w Dolinie Rio Capiza i z przerwami po Dolinę Rio Tambo wyróżnia się dolnokredową formację Murco, leżącą na erozyjnej powierzchni grupy Yura i przechodzącą stopniowo w formację Arcurquina (przełom dolnej i górnej kredy) (Palacios 1995). Formacja Murco składa się głównie z szarych i czerwonych łupków i kwarcytów o miąższości do 300 m, z wkładkami szarogłazów, gipsu i margli w górnej części profilu. Inne równowiekowe formacje reprezentowane są w okolicy Jeziora Titicaca.

Od albu zarysowała się tendencja do łączenia tych basenów w wyniku transgresji (Jailard 1995). Górną kredę reprezentują szeroko rozprzestrzeniona formacja Arcurquina (o miąższości około 700 m) i raczej lokalna formacja Seraj, oddzielona od poprzedniej niezgodnością erozyjną w spągu, a od nadległej paleogeńskiej formacji Huanca niezgodnością kątową i ero-

zyjną. Pierwsza składa się z wapieni marglistych i łupków ilastych z czertami oraz fauną jeżowców i amonitów. Druga rozpoczyna się gruboziarnistymi, czerwonymi piaskowcami, przechodząc stopniowo w pstrę osady drobnoziarniste oraz soczewki wapienia, a lokalnie gipsu i soli kamiennej.

Tabela (Table) 1

Uproszczona stratygrafia mezozoiku i kenozoiku w okolicy Kanionu Colca i Orcopampa
(Caldas 1993, Palacios 1995, Mayta *et al.* 2002)

Simplified Mesozoic and Cenozoic stratigraphy in the area of Canyon Colca and Orcopampa, South Peru (Caldas 1993, Palacios 1995, Mayta et al. 2002)

Jednostka litostratygraficzna <i>Lithostratigraphic unit</i>		Wiek <i>Age</i>
Andahua	Lawy i scoria andezytowa (podrzędnie dacyty i bazalty); <i>Andesitic lavas and scoria (minor dacites and basalts)</i>	plejstocen – holocen <i>Pleistocene – Holocene</i>
bez nazwy	Żwiry aluwialne, koluwia, osuwiska, moreny, osady glacifluwialne <i>Alluvial gravels, colluvia, landslides, moraines, glacial deposits</i>	
Barroso	Andezytowe lawy i 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>	pliocen <i>Pliocene</i>
bez nazwy	Tufy ryolitowe i lawy andezytowe <i>Rhyolitic tuffs and andesitic lavas</i>	
Alpabamba	Tuf Chipmo: tuf ryolitowy, wkładki piaskowców i wapieni; ignimbryty z obsydianem <i>Rhyolitic tuff, sandstone and limestone intercalations, obsidiane ignimbrites</i>	
Ichucollo	Aglomeraty i lawy andezytowe <i>Andesitic agglomerates and lavas</i>	
Tacaza	Sarpane: dacyty, ryodacyty i andezyty – subwulkaniczne intruzje i potoki law <i>Dacites, rhyodacites and andesites – subvolcanic intrusions and lava flows</i>	
	Collpa i Fullchulna: tuf ryolitowy i lava andezytowa <i>Rhyolitic tuff and andesitic lava</i> La Lengua: tuf z wkładkami wapieni <i>Tuff, limestone intercalations</i>	miocen <i>Miocene</i>

Tabela (Table) 1 cd. (cont.)

Jednostka litostratygraficzna <i>Lithostratigraphic unit</i>		Wiek <i>Age</i>
Tacaza	Tuf Manto: ryolitowa pokrywa popiołowa; wulkanity Shila <i>Manto Tuff: rhyolitic ash; Shila volcanics</i>	miocen <i>Miocene</i>
	Santa Rosa: lawy andezytowe i tufy ryolitowe z wkładkami zlepieńców i mułowców <i>Andesitic lavas and rhyolitic tuffs, conglomerate and mudstone intercalations</i>	
	Tuf Pisaca: ignimbryt dacytowy i popiołowy tuf ryolitowy <i>Pisaca Tuff: dacitic ignimbrite and rhyolitic unwelded ash</i>	oligocen <i>Oligocene</i>
Huanca	Zlepienie polimiktyczne, wyżej zlepienie wapienne, piaskowce i mułowce <i>Polymictic conglomerates, passing up into limestone conglomerates, sandstones and mudstones</i>	paleocen – eocen <i>Paleocene – Eocene</i>
Seraj	Czerwone piaskowce, mułowce, ilowce, wapienie, gips i sól kamienna <i>Red sandstones, mudstones, claystones, limestones, locally gypsum and rock salt</i>	górną kreda <i>Uppermost Cretaceous</i>
Arcurquina	Wapienie margliste i łupki ilaste z czertami i bogatą fauną <i>Marly limestones and claystones with cherts, fossiliferous</i>	alb <i>Albian</i>
Murco	Ciemnoszare i czerwone łupki i kwarcyty z wkładkami szarogłazów, gipsu i margli w górnej części profilu <i>Dark grey to red shales and quartzites intercalated with grauwackes, gypsum and marls at the roof</i>	neokom – apt <i>Neocomian – Aptian</i>
Yura	Ciemnoszare piaskowce kwarcytowe i łupki, u góry wkładka wapienia <i>Dark grey sandstones and slates, limestone in upper portion</i>	górną jura – dolną kreda <i>Upper Jurassic – Lower Cretaceous</i>
Socosani	Wapienie obfitujące w faunę <i>Fossiliferous limestones</i>	toark – bajos <i>Toarcian – Bajocian</i>
Chocolate	Skały wulkaniczne <i>Volcanic rocks</i>	synemur <i>Sinemurian</i>

W paleogenie, wszędzie, poza wąskim pasem wybrzeża, panowały już warunki lądowe. Wyróżnia się wówczas szereg faz kompresyjnych: Mochica (105–95 Ma), peruwiańska (85–75 Ma) i inkaska (47–32 Ma), każda o nieco innym kierunku nacisku. Z tą ostatnią wiąże się nasunięcia w Kordylerze Zachodniej (Kay *et al.* 2005). Neogeńska historia Andów wiąże się z reorganizacją systemu subdukcji po rozpadzie Płyty Farallon na obecne Płyty Nazca i Cocos przed około 27 Ma. Wzrost szybkości konwergencji spowodował, zdaniem Kay *et al.*

(2005), szybsze wypiętrzanie Andów, które miało kulminację w późnym miocenie i pliocenie. W wielu miejscach stwierdzono niezgodności kątowe odpowiadające ruchom tektonicznym dwóch faz keczuąskich: I (zwanej również Paroche) 19–16 Ma, II 8–4 Ma.

Syntektonicznie z ruchami górotwórczymi w późnej kredzie–paleogenie powstały intruzje granitoidów tworzące potężny, wielofazowy batolit, ciągnący się wzdłuż wybrzeża Peru. W tej części kraju składa się on z diorytu (z ksenolitami mikrogabra), tonalitu i adamellitu. Skały te wykazują lineację minerałów. Poza batolitem nadbrzeżnym, bliżej osi Kordyliery Zachodniej i na wschód od niej, występują intruzje granitoidowe o mniejszej powierzchni odsłoneń (rzędu 100 km²), prawdopodobnie nieco późniejsze. Ich skład zmienia się w granicach adamellit – granodioryt i leukogranit – granit różowy. Powodują one zmiany metamorficzne skał grupy Yura, formacji kredy (tworząc miejscami złoża skarnowe; Sernageomin 2001), a niektóre masywy wpływają również na wygląd oligoceńsko-miocenijskiej grupy Tacaza. Z drugiej strony granitoidy te są przecięte przez dajki andezytów, a ich erozyjna powierzchnia bywa przykryta przez tufy grupy Tacaza (Palacios 1994).

Późniejsze od ruchów fałdowych wydają się pnie skał porfirowych intrudujące w formacje kredy oraz małe intruzje kominowych brekcji wulkanicznych asocjujących z porfirami ryodacytowymi wśród grupy Tacaza. Budują one szereg turni w Cordillera Shila (Caldas 1993).

Utwory paleogeńskie w tej części Kordyliery Zachodniej reprezentuje formacja Huanca. Obejmuje ona grubą serię zlepieńców polimiktycznych, tworzących malownicze skałki (warstwy z Querque) i zlepieńców wapiennych przechodzących ku górze w piaskowce i mułowce (warstwy Ashua)(Caldas 1993).

W okolicy Camaná nad Pacyfikiem, oligoceńskie konglomeraty i piaskowce z muszlami morskimi małży zawierają w górnej części profilu domieszkę materiału piroklastycznego. Dalej na południe, między Kordylierą Nadbrzeżną i Kordylierą Zachodnią powstała w miocenie niecka Moquegua z osadami jeziornymi, początkowo detrytycznymi, zasypywanymi następnie stożkami napływowymi i przykrytymi niezgodnie sekwencją ewaporatów, wapieni i tufów.

Wymienione jednostki trzeciorzędu mają w południowym Peru lokalne rozprzestrzenienie. W paśmie Kordyliery Zachodniej utwory trzeciorzędowe reprezentowane są przede wszystkim przez grupę Tacaza, która ma charakter wulkaniczny i wulkaniczno-osadowy, subaeralny. Skały wulkaniczne zawierają wkładki osadów kontynentalnych, często jeziornych (Palacios 1995). Stratygrafia tego kompleksu oparta jest na niezgodnościach między seriami nadległymi i spągowymi. Grupa Tacaza przykrywa niezgodnie warstwy czerwonych osadów kontynentalnych grupy San Jerónimo (eocen–oligocen?) sfałdowane w fazie inkaskiej, dolną część grupy Moquegua i zazębia się z osadami ewaporatowymi górnej części tej grupy. Składa się z grubej serii law, brekcji i tufów o składzie andezytowo-dacytowym, podrzędnie ryolitowym, dacytowym i bazaltowym. Część z nich była emitowana z kalder. Wiek jej zawarty jest prawdopodobnie w granicach 40–18 Ma (Palacios 1995), chociaż po nowszych datowaniach wymienia się przedział: późny oligocen – miocen. W okolicy Kanionu Colca uzyskano daty radiometryczne w przedziale 20–14 Ma (Fornari & Vilca 1979) i 30–18 Ma (Caldas 1993, Mayta *et al.* 2002). Pod koniec tego etapu powstały ekstruzje i płytkie kopuły dacytowe (Injoque *et al.* 1995). Grupa Tacaza jest ważnym metalotektem, lokalizującym okruszczenie metalami szlachetnymi i kolorowymi. Obserwuje się rozległe, barwne przeobrażenia hydrotermalne i zaburzenia tektoniczne skał, przede wszystkim uskokowe. Kopalnie rud złota i sre-

bra są czynne na północ od Kanionu Colca w Poracota, Orcopampa, Arcata, Ares, Shila, Paula i Caylloma. Kopalnia Madrigal niedawno wyczerpała złożę polimetaliczne, lecz nowe złoża są rozpoznawane i rokują powiększenie zasobów.

Na wulkanitach grupy Tacaza spoczywa gruba, ułożona poziomo seria piroklastyczna z wkładkami osadów jeziornych. Profile jej są zróżnicowane. Na północnym wschodzie omianego obszaru, w spągu, występują białe tufy ryolitowe grupy Palca przykryte lawami andezytowymi Sillapaca, datowanymi na 14–12 Ma (Palacios 1995). Odpowiada im ogniwo andezytów Ichucollo wyróżniane w Cordillera Shila (Caldas 1993). Na południowym wschodzie wyróżnia się wulkanity Huaylillas i grupę Maure z ignimbrytami, tufami i osadami epiklastycznymi (zlepieńce, piaskowce) środowisk jeziornego i rzecznoego. W górach Shila i Huanzo wyróżnia się szeroko rozpowszechnione formacje piroklastyczne Alpbamba (~14 Ma) (Fig. 4) i Sencca (6–7.5 Ma) przedzielone lawami andezytowymi i intrudowane kwaśnymi pniami subwulkanicznymi (Noble *et al.* 2003). Łączna miąższość neogeńskich wulkanitów przewyższa lokalnie 3000, a nawet 4000 m.



Fig. 4. Spieczone tufy formacji Alpbamba w okolicy Orcopampy (Fot. A. Kukuła-Góral)

Fig. 4. Welded tuffs of Alpbamba Formation near Orcopampa (Fot. A. Kukuła-Góral)

Kolejną jednostką rozwiniętą na dużym obszarze południowego Peru i północnego Chile jest grupa Barroso (Fig. 2). Wykazuje ona wyraźny związek przestrzenny ze stratowulkanami współczesnego łuku wulkanicznego strefy subdukcji. Powstała u schyłku pliocenu i w plejstocenie, uległa w różnym stopniu erozji lodowcowej. Grupa Barroso zazębia się z koluwiami, morenami, osadami glacyfluwialnymi, jeziornymi i aluwiami. Budują ją produkty

wielu centrów erupcji – lawy, tufy, potoki piroklastyczne i spływy gruzowo-błotne o składzie andezytowym i dacytowym, wypełniające relief górski (Fidel *et al.* 1997).

Na przedpolu Kordyliery Zachodniej rozwinęły się potężne stożki napływowe, a na wybrzeżu tarasy brzegowe Pacyfiku. Jedne i drugie są pokryte diunami piasku i rozcięte głębokimi dolinami rzek.

Najmłodszą jednostką litostratygraficzną Peru jest wulkaniczna grupa Andahua. Budują ją czarne lawy z podrzędnymi wkładkami tufów, wypełniające doliny i pokrywające zbocza gór i przegradzające potoki. Wyróżnia się kilkadziesiąt stożków piroklastycznych, niekiedy nietkniętych erozją (Delacour *et al.* 2002, 2007, Gałaś & Paulo 2005). Odpowiadają jej morfologicznie wulkanity Paucarani koło Maure w Puno oraz Santo Tomas nad Rio Tambo, Quimsachata w Dolinie Rio Vilcanota koło Sicusani i Oropesa koło Cusco (Palacios 2005). Wiek tej grupy obejmuje plejstocen i holocen. Zazębia się ona ze żwirami i utworami fluwioglacjalnymi i morenowymi. Na znacznych obszarach płaskowyży i w dolinach polodowcowych rozwijają się torfowiska. Zawarte w nich wkładki tufów pozwalają na datowanie warstw późnego czwartorzędu i ocenę szybkości procesów glebotwórczych (Thouret *et al.* 2002). Koło Huambo od plejstocenu tworzy się martwica wapienna.

EWOLUCJA BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Utarty jest pogląd, że ewolucja Andów rozpoczęła się wraz z rozpadem Pangei w mezozoiku. Nowsze badania (Golonka & Ford 2000, Golonka 2007) wskazują, że aktywna krawędź kontynentu i subdukcja istnieją prawdopodobnie od paleozoiku. Na skutek erozji tektonicznej na krawędzi kontynentu w Andach zachowały się tylko baseny załukowe. Początkowo domino wało rozciąganie. Na przełomie triasu i jury zarysowały się ryfty kontynentalne o kierunku NW-SE, w których z czasem, w jurze i wczesnej kredzie rozwinęły się epikontynentalne baseny sedymentacyjne. Zaznaczyła się w nich powszechnie wczesnokredowa transgresja morska (Kay *et al.* 2005). W późnej kredzie, od około 80 mln lat temu, rozpoczęły się ruchy fałdowe i inwersja rzeźby. Od tego czasu dominują ruchy wypiętrzające, trwające do dziś. Częste są trzęsienia ziemi, których epicentra ciągną się wzdłuż Andów. W departamencie Arequipa lub w pobliżu w latach 1582–1868 zarejestrowano cztery bardzo silne trzęsienia, odpowiadające w skali Mercalliego natężeniu 11° i dwa o natężeniu 9° (Barriga 1951), a w okresie 1948–2001 sześć trzęsień o magnitudzie 6–7.5 mb (Lermo *et al.* 2002). Dowodzą one silnych naprężeń w górotworze.

Liczne niezgodności kątowe między sfałdowanymi formacjami mezozoicznymi i kenozoicznymi są po części następstwem różnej podatności gruboławicowych kompleksów kwarcytowych i cienkich warstw łupków, a niezgodności erozyjne wynikiem rozwoju rzeźby i pe-nplenizacji w ruchliwych blokach tektonicznych. W tej części Andów za główną fazę kompresji uważa się fazę peruwiańską (późna kreda). Powstały wtedy liczne fałdy i uskoki inwersyjne o kierunku NW-SE. W późnym oligocenie, pod wpływem kompresji w fazie inkaskiej, nastąpiła przebudowa struktur peruwiańskich na prostopadłe (NE). Później oś kompresji rotowała (Sebrier & Soler 1991). We wczesnym miocenie powstawały jeszcze struktury o kierunku NE, w późnym miocenie ENE, a na przełomie miocen/pliocen (4–8.2 Ma) 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. Część z nich ma liniowy układ sugerujący założenie na szczelinach tektonicznych.



Fig. 5. Sfałdowane utwory mezozoiczne w Kanionie Colca poniżej Ayo

Fig. 5. Folded Mesozoic strata exposed in Rio Colca Canyon below Ayo

Na omawianym obszarze można wyróżnić trzy strefy o różnym stylu dominującej tektoniki. W Kordylerze Nadbrzeżnej i Obniżeniu Pośrednim, pod pokrywą luźnych osadów czwartorzędowych, przeważają skały plutoniczne i metamorficzne o podatnym stylu deformacji oraz niezbyt czytelnej tektonice magmowej i dyslokacyjnej. W dolnej części Kanionu Rio Colca poniżej Ayo, na krawędzi Kordyliery Zachodniej wzdłuż kontaktu z masywem krystalicznym Arequipa biegnie strefa silnego sfałdowania i po części nasunięcia formacji mezozoicznych. Ma ona bieg NW-SE i szerokość 15–20 km. Dalej na północny wschód w Kordylerze Zachodniej i na Altiplano fałdy są szerokopromienne, za wyjątkiem fałdu załomowego na linii Ayo–Canco (Fig. 5). Brak zdecydowanego kierunku osi tych fałdów. Jednakże trzeba zaznaczyć, że warstwy grupy Yura w małych odsłonięciach na tym terenie ujawniają strome upady, lecz bez szczegółowego zdjęcia trudno rozpoznać ich formy tektoniczne. Główny wpływ na przemieszczenie skał, odsłaniających się na powierzchni, w tej części górotworu mają uskoki normalne i osuwiska. Taki styl dominuje w Dolinie Colca powyżej linii Madrigal–Maca.

W obrębie formacji wulkanicznych neogenu i grupy Barroso wyróżniono kilka kalder o średnicy 10–20 km (Ericksen *et al.* 1995, Gibson *et al.* 1995, Noble *et al.* 2003). Emitowane z nich pokrywy piroklastyczne są ułożone mniej więcej poziomo, częściowo spieczone w ignimbryty. Ich skład odpowiada ryolitom i dacytom. Lawy mają podrzędne znaczenie, a ich skład odpowiada andezytom i dacytom. W późniejszym okresie powstały dacytowe kopuły ekstruzywne, a w ich otoczeniu rozwinęła się działalność hydrotermalna, prowadząca do rozległego przeobrażenia skał. Lokalnie powstały epitermalne złoża srebra i złota, z domieszką miedzi, ołowiu, cynku i innych metali. Taki styl działalności dominował w miocenie i pliocenie.

W pliocenie i plejstocenie powstał 500-kilometrowy łańcuch potężnych andezytowych stożków wulkanicznych o średnicy 10–20 km i wysokości 4.5–6.4 km. Większość zachowała czytelną strukturę stratowulkanów, strome nachylenie potoków lawowych i duży krater przy wierzchołku, niekiedy zniszczony finalną eksplozją. Wiele wysokich stożków nosi głębokie ślady erozji lodowcowej, jak Firura (5498), Solimana (6093). Niektóre pobliskie centra erupcji stworzyły wulkany złożone z kilku stożków, jak Coropuna (6425), lub stożków i kopuł ekstruzywnych, jak Chachani (6057) z kopułą Horqueta. Do czasów historycznych aktywność zachowały wulkany Sabancaya (5796), Misti (5822), Ubinas (5675), Huaynaputina (4800) i Tutupaca (5815 m n.p.m.).

Od plejstocenu do czasów współczesnych tworzą się rozległe pola lawowe grupy Andahua z podrzędnymi stożkami piroklastycznymi. Porównując skład wulkanitów od wczesnego neogenu do czasów współczesnych dostrzeżemy ewolucję chemizmu od członów kwaśnych do zasadowych, a w ślad za nią spadek udziału produktów piroklastycznych na rzecz law. Prawdopodobnie komory magmowe rozwijają się coraz głębiej.

CZYTELNOŚĆ BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Kanion Rio Colca i mniejsze kaniony potoków, strome stoki wzdłuż młodych uskoków oraz znikome pokrycie skał przez roślinność, a także kopalnie złota odsłaniające żyły kwarcowe, które wypełniają różne systemy spękań, wszystko to stwarza idealny poligon do szczegółowych studiów tektoniki w różnych formacjach i śledzenia stref tektonicznych na rozległym

obszarze. Liczne lineamenty są widoczne na zdjęciach satelitarnych. Z drugiej strony młode pokrywy wulkaniczne, rozległe koluwia i moreny maskują budowę wgłębną.

Naturalny przekrój przez skorupę ziemską w Kanionie Colca jest jednym z najwspanialszych na naszej planecie. Ma ponad 120 km długości i 1–3 km wysokości. Można go podziwiać z przeciwstoków w kilku kilkunastokilometrowych odcinkach rozdzielonych piargami.

Na stokach Kanionu Colca i w jego pobliżu, w obrębie projektowanego parku, można zobaczyć odsłonięcia niemal wszystkich formacji skalnych: proterozoiczne gnejsy masywu Arequipa, formacje jurajskie Socosani i należące do grupy Yura, komplet formacji kredowych i kenozoicznych oraz zróżnicowane intruzje magmowe. Można podziwiać kilka rodzajów fałdów, efekty uskoków (Fig. 6) i formy erozyjne.

Jeśliby wyjść nieco poza ramy kanionu, to pierwszoplanowym obiektem staną się osuwiska w Dolinie Colca w strefie Madrigal–Lari–Maca, liczne gorące źródła oraz karłowate wulkany grupy Andahua w Dolinie Wulkanów (Hoempler 1962, Weibel *et al.* 1978, Gałaś 2007). Oczywiście, wiele z tych form i zespołów skalnych wymaga fachowego i przystępnego objaśnienia dla zainteresowanego turysty.



Fig. 6. Ujście Doliny Wulkanów do kanionu Colca. Uskoki rozcinają neogeńskie ignimbryty przykryte holocenijskimi lawami grupy Andahua (Fot. A. Gałaś)

Fig. 6. Merger of the Valley of Volcanoes into Colca Canyon. Faults cut Neogene ignimbrites covered by lava flow of Andahua Group (Fot. A. Gałaś)

LITERATURA

- Barriga V., 1951. Los terremotos en Arequipa, 1582–1868: Documentos de los archivos de Arequipa y de Sevilla. *Biblioteca Arequipa*, 7. Arequipa.
- Cahill T.A. & Isacks B.L., 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. *Journal of Geophysical Research*., 97, 17503–17529.
- Caldas J., 1993. Geología de los cuadrangulos de Huambo y Orcopampa. *INGEMMET Boletín* 46. Lima.
- Chowdhury D.K. & Whiteman S.K., 1986. Structure of the Benioff Zone under Southern Peru to Central Chile. *Tectonophysics*, 134, 215–226.
- Cobbing E.J., Ozard J.M. & Snelling N.J., 1977. Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of the Coastal Cordillera of southern Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 88, 2, 241–246.
- Cobbing E.J. & Pitcher W.S., 1972. The Coastal Batolith of central Peru. *Journal of the Geological Society*, London, 128, 3, 421–460.
- Delacour A., Paquereau P., Gerbe M.-Ch., Thouret J.-C. & Wörner G., 2002. Quaternary minor volcanic centres in Southern Peru: volcanology, petrology and geochemistry. 5th ISAG: 175–178. Toulouse.
- Delacour A., Paquereau P., Gerbe M.-Ch., Thouret J.-C. & Wörner G., 2007. Magma evolution of Quaternary minor volcanic centres in southern Peru, Central Andes. *Bulletin of Volcanology*, 69, 581–608.
- 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. *Sociedad Geológica del Perú*, Vol. Jubilar A. Benavides: 103–125.
- Fidel S.L., Morche W. & Nuñez J.S., 1997. *Inventario de volcanes del Peru*. INGEMMET Boletín. 15, Lima.
- Fornari M., Vilca C., 1979. Mineralización argentífera asociada al vulcanismo cenozoico en la faja Puquio-Cailloma. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 60, 101–128.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 265–266, 320–326.
- Gałaś A., 2008. Zasięg i budowie wulkaniczne grupy Andahua. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, 2/1, 107–136.
- 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. *Economic Geology*, 90, 2317–2325.
- Golonka J., 2007. Phanerozoic Palaeoenvironment and Paleolithofacies Maps. Late Paleozoic. Mapy paleośrodowiska i paleolitofacje fanerozoiku. Późny paleozoik. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 2, 145–209.
- Golonka J. & Ford D., 2000. Pangean (Late Carboniferous, Middle Jurassic) paleoenvironment and lithofacies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161, 1–34. Amsterdam.
- Hoempler A., 1962. Valle de volcanes de Andahua, Arequipa. Segundo Congreso Nacional de Geología. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 37, 59–69, Lima.
- Injoque J., Valera J., Mayta O., García J.L., Valdivia J., Minaya R., Meza J. & Barrionuevo H., 1995. El complejo volcánico Sarpane y su relación a la mineralización epitermal, distri-

- to minero de Orcopampa, Arequipa, Perú. *Boletín Sociedad Geológica del Perú* – Vol. Jubilar A. Benavides, 127–133.
- Jaillard E., 1995. La sedimentación albiana-turoniana en el sur del Perú (Arequipa–Puno–Putina). *Boletín Sociedad Geológica del Perú* – Vol. Jubilar Alberto Benavides, 135–157.
- Jordan T.E., Isacks B.L., Allmendinger R.W., Brewer J.A., Ramos V.A. & Ando C.J. 1983. Andean tectonics related to geometry of the subducted Nazca Plate. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 341–361.
- Kay S.M., Mpozodis C. & Ramos V.A., 2005. Andes. [In:] Selley R.C. *et al. eds.* Encyclopedia of geology, 1, 118–131. Elsevier. Oxford.
- Lajo A., Diaz J. & Umpire L., 2001. *Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa, 1:100 000* (actualizado). INGEMMET Lima.
- Lermo J., Lázares F., Cuenca J., 2002. El terremoto de Arequipa, Perú del 23 de junio de 2001 (Mw=8.4): Observaciones sismológicas, atenuación sísmica y efectos de sitio en las ciudades de Arequipa, Camaná, Moquegua, Ilo y Tacna. [In:] Tavera H. – El terremoto de la region sur de Perú del 23 de junio de 2001. Lima.
- Loewy S.L., Connelly J.N., Dalziel I.W.D., 2004. An orphaned basement block: The Arequipa–Antofalla basement of the central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*, 116, 1–2, 171–187.
- Martignole J., Martelat J.-E., 2003. Regional scale Grenvillian-age UHT metamorphism in the Mollendo-Camana block (basement of the Peruvian Andes). *Journal of Metamorphic Geology*, 21, 99–120.
- 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 Congreso Peruano de Geología. *Sociedad Geológica del Perú*, Lima.
- 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. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 95, 7, 33–38.
- Palacios O., 1995. Geología histórica y evolución tectónica. Estratigrafía [In:] Geología del Perú. INGEMMET, Boletín 55, 9–31.
- Paulo A., 1988. Współczesny wulkanizm i główne rysy metalogenii Północnych Andów. *Kwartalnik AGH Geologia*, 14, 4, 1–117.
- Quispe R., Tavera H. & Bernal I., 2003. Geometría de la placa de Nazca en el borde occidental de Sudamérica a partir de la tendencias medias de sismicidad. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 95, 93–110.
- Ringwood A.E., 1974. Petrological evolution of island arc systems. *Journal of the Geological Society*, London, 130, 183–204.
- Rivera N., 1997. Tectónica de la placa Nazca, magmatismo y épocas metalogenéticas. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 86, 1–10.
- Salcedo C.J., 2007. Mapa Geológico Departamental de Arequipa 1:500 000 (digital). INGEMMET, Lima.
- Sebrier M. & Soler P., 1991. Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from late Oligocene time to Present. *Geological Society of America Special Paper*, 265, 259–278.

- Shackleton R.M., Ries A.C., Coward M.P. & Cobbold P.R., 1979. Structure, metamorphism and geochronology of the Arequipa Massif of coastal Peru. *Journal of the Geological Society*, 136, 2, 195–214
- Schildgen T.F., Whipple K.X., Hodges K.V. & Pringle M.S., 2005. Geochronological constraints on tectonics and uplift of the Western Cordillera in southern Peru. 6th Int. *Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona)*. Extended Abstracts: 651–654.
- SERNAGEOMIN, INGEMMET & SEGEMAR, 2001. Mapa metalogénico de la region fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Peru (14°S y 28°S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile – Multinational Andean Project, 2.
- Soulas J.P., 1977. Las fases tectonicas del Terciario Superior en Perú – corte Ayacucho-Pisco. *Boletin Sociedad Geológica del Perú*, 57–58, 59–72.
- Thorpe R.S., Francis P.W., Harmon R.S., 1981. Andean andesites and crustal growth. [In:] The origin and evolution of the Earth's continental crust. *Philosophical Transactions of Royal Society*, London. ser. A, 301, 1461, 305–320.
- Thouret J.-C., Juvigne E., Mariño J., Moscol M., Loutsch I., Davila J., Legeley-Padovani A., Lamadon S. & Rivera M., 2002. Late Pleistocene and Holocene tephro-stratigraphy and chronology in Southern Peru. *Boletin Sociedad Geológica del Perú*, 93, 45–61.
- Wasteneys H.A., Clark A.H., Farrar E., Langridge R.J., 1995. Grenvillian granulite-facies metamorphism in the Arequipa Massif, Peru: a Laurentia-Gondwana link. *Earth and Planetary Science Letters*, 132, 1–4, 63–73.
- Weibel M., Frangipane M., Fejer Z., 1978. Rezentner Vulkanismus im Tal von Andagua (Dept. Arequipa, Süd-Peru). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 58, 1–2, 157–161.

Summary

Rio Colca Canyon presents an unique cross section of lithosphere in a very interesting site. Rocks of different origin, age, lithology, and tectonic structures outcrop continuously there in 120 km long and 1–3 high walls. The Andes, and especially their middle sector grooved by Rio Colca, are considered to be a model of an active continental margin. The resume of geology outlined here is aimed to form a background to specific studies of the Polish Scientific Expedition to Peru in 2006 presented in this volume.

The Andes of south Peru reveal the greatest thickness of lithosphere worldwide and the maximum denivelation of 12–14 km relative to the nearby oceanic trench. Subducting Nazca plate splits there in two segments: a flat dipping in the north and steeper one to the south of latitude 15°S (Jordan *et al.* 1983, Cahill & Isacks 1992, Quispe *et al.* 2003). On the continent this boundary expresses as the northern limit of the Andean Central Volcanic Zone (CVZ) (Fidel *et al.* 1997) and rapid thinning of the earth crust from over 70 km in the south to some 50 km and less in the north. The magmas of CVZ ascending across thick crust display mostly andesitic and dacitic compositions and elevated alkalinity whereas these from the Northern Volcanic Zone (Ecuador–Columbia) and the Southern Volcanic Zone (South Chile) penetrating thinner crust are generally calc-alkaline basalts and andesitic-basalts (Paulo 1988).

Rio Colca Canyon, the Valley of the Volcanoes and other structures described in the present volume are situated in between latitudes 15–16°30'S, therefore within CVZ, and be-

tween the Pacific coast and the meridian 71°W (Fig. 1). This segment of the Andes consists of several tectonic horsts – cordilleras parallel to the continental margin, running WNW-ESE. Passing from the coast eastwards one may distinguish here (SERNAGEOMIN 2001): Coastal Cordillera, Intermediate Depression, Western Cordillera, an edge of Interandean Depression, and the Altiplano. Next Andean belts – Eastern Cordillera and the Sierras Subandinas stretch behind studied area. Rio Colca Canyon and the Valley of the Volcanoes belong to the Western Cordillera. It forms the most elevated horst of this segment of the Andes surmounted by dozens of stratovolcanoes reaching 5500–6500 m a.s.l. Coastal Cordillera rises 900–1200 m a.s.l., Intermediate Depression 50–1500 m a.s.l. The Altiplano forms a highland rising 3500–4000 m in this segment.

Rio Colca has its sources at the edge of Interandean Depression and Altiplano. On the way to The Pacific Ocean it incises deeply into Western Cordillera and builds vast dejection cones down its course. Stratovolcanoes of Cordillera Shila, culminating in the Nevado Mismi (5597 m a.s.l.) separate relatively shallow Valle de Colca in the upper course of the river from the vast Amazon Basin and its longest tributary – Apurimac, which springs are located just at the northern slopes of Mismi.

Stratigraphical range of rock formations outcropping in the Andean segment under study is quite broad, from Proterozoic, 1.8–1.95 Ga old protolith of the Arequipa metamorphic massif (Cobbing *et al.* 1977, Shackleton *et al.* 1979) up to recent volcanic activity, however Palaeozoic events are registered in some plutons only (Fig. 2). The Arequipa massif is considered an individual old terrane or paraautochthone (Loevy *et al.* 2004) influencing tectonic development of Central Andes. It outcrops in the Coastal Cordillera and locally in the Intermediate Depression and Rio Colca Canyon. The first one was intruded by polyphase Coastal Batolith since Jurassic up to Paleogene time (Thorpe *et al.* 1981, Cobbing & Pitcher 1972).

The Western Cordillera is built of epicontinental formations of Jurassic and Cretaceous, volcanic and detritic continental formations of Cenozoic (Tab. 1), and several plutonic bodies intruded in Late Cretaceous – Neogene time span. Most of the plutons are syntectonic, and porphyry stocks in the Cordillera Shila seem to postdate major folding (Caldas 1993). Pre-Pliocene strata are folded, and Mesozoic one locally overthrust (Fig. 3). Within the Colca Canyon the following Mesozoic formations are the most widespread: Yura, Murco, and Arcurquina (Palacios 1995). Palaeogene marks transition into continental environments due to following compressive events Mochica (105–95 Ma), Peruvian (85–75 Ma), Inkaic (47–32 Ma), Quechua I (19–16 Ma), and Quechua II (8–4 Ma) each differing in direction of stress (Sebrier & Soler 1991). Neogene history of the Andes reflects reorganization of the subduction system after splitting Farallon Plate into Nazca and Cocos some 27 Ma ago, and increase of convergence rate with South America which caused increased uplift of the Andes in Late Miocene and Pliocene (Kay *et al.* 2005).

Tertiary is represented by widespread Tacaza Group of volcano-sedimentary, subaerial series, mostly of andesitic and dacitic compositions. Some pyroclastic materials were emitted from large calderas (Ericksen *et al.* 1995, Gibson *et al.* 1995, Noble *et al.* 2003). The age of the group is usually given for 40–18 Ma (Palacios 1995) however, around the Colca Canyon different radiometric ages were obtained: 20–14 Ma (Fornari & Vilca 1979) and 30–18 Ma (Caldas 1993, Mayta *et al.* 2002). At the end of the period extrusions and shallow dacitic domes were formed (Injoque *et al.* 1995). Tacaza group forms a major metallotect localizing

noble and base metal ore deposits, surrounded by colour hydrothermal alterations of host rocks. Gold and silver mines are active to the north of Colca Canyon in Poracota, Orcopampa, Arcata, Ares, Shila, Paula and Caylloma; Madrigal mine was recently abandoned.

Tacaza Group is covered by a series of horizontal pyroclastic and limnic sediments of rather limited extent. In the Shila and Huanzo ridges pyroclastic formations Alpbamba (~14 Ma) (Fig. 4) and Sencca (6–7.5 Ma) should be mentioned which are intruded by acid subvolcanic stocks (Noble *et al.* 2003). Total thickness of Neogene volcanics surpasses 3000 and in places 4000 m.

Next widely spread unit in South Peru and Northern Chile appears Barroso Group, related to stratovolcanoes of recent volcanic arc. It has developed mostly in Pliocene and Pleistocene, bearing evidences of glacial erosion and redeposition (Fidel *et al.* 1997). At the Western Cordillera foothills extensive alluvial cones were formed, consequently covered with sand dunes and dissected by deep river gorges.

The youngest lithostratigraphic unit in this part of Peru is represented by Andahua volcanic group and biogenic accumulations. The Andahua group consists of dark lavas and sub-ordinary tephra layers. They fill valleys and dam rivers, some pyroclastic cones remain untouched by erosion (Delacour *et al.* 2002, Gałaś & Paulo 2005). Similar morphology is displayed by young volcanics of Paucarani near Maure in Puno, Santo Tomas at Rio Tambo and Quimsachata in Rio Vilcanota Valley at Sicusani, and Oropesa near Cusco (Palacios 2005). The age of the group represents Pleistocene and Holocene. Large Puna highlands and glacial valleys are covered by peatbogs. Tuff intercalations in them allow for dating Younger Quaternary events and approximating the rate of soil formation process (Thouret *et al.* 2002). Extensive layers of travertine precipitate at Huambo since Pleistocene.

High earthquake activity evidences strains in the lithosphere and progressing mountain forming process. In the written history period of Arequipa, in 1582–1868 four very strong quakes of 11° and two of 9° Mercalli (Barriga 1951), and in 1948–2001 six quakes of magnitude 6–7.5 mb (Lermo *et al.* 2002) were registered.

Three belts differing in tectonic style are distinguished. Plutonic and metamorphic massifs of Coastal Cordillera and Intermediary Depression display ductile deformation style and hardly readable magmatic and dislocation tectonics. In the lower segment of Rio Colca Canyon, below Ayo, along the edge of Western Cordillera and contact of Arequipa massif a belt of intense folding and thrusting of Mesozoic formations is clear. It runs NW-SE being 15–20 km wide. Farther to the NW the folds are broadangle and differing in azimuth, except kinkfold Ayo-Canco (Fig. 5). It is worth to mention that Yura Formation displays high angles there however, its small and dispersed outcrops need detailed survey. Gravitational faults and landslides eastward of Madrigal-Maca line play major role in local tectonics.

In Pliocene and Pleistocene a 500 km long row of huge andesitic stratovolcanoes formed. Up to historic times activity was registered in Sabancaya (5796), Misti (5822), Ubinas (5675), Huaynaputina (4800), and Tutupaca (5815) volcanoes. Apart of this belt since Pleistocene times vast lava fields (Fig. 6) outpoured from numerous fissures and minor scoria cones of Andahua Group are formed. Hot springs are numerous in the area.

**CZwartorzędowa ewolucja
DOLINY I KANIONU COLCA
– RAPORT Z BADAŃ GEOMORFOLOGICZNYCH
WYKONANYCH W ROKU 2006**

**Quaternary evolution of Valley and Canyon of Rio Colca
– report from geomorphological studies done in 2006 year**

Tomasz KALICKI¹ & Józef KUKULAK²

¹ *Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego, Instytut Geografii;
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce;*

*PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania;
ul. Św. Jana 22, 31-018 Kraków; e-mail: kalicki@zg.pan.krakow.pl*

² *Akademia Pedagogiczna, Instytut Geografii;
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków; e-mail: jkukulak@ap.krakow.pl*

Treść: Kartowanie geomorfologiczne wykonano w Dolinie Colca pomiędzy Chivay i Madrigal (30 km) oraz w Kanionie Colca powyżej Canco (trzy przekroje). Zarówno Dolina jak i Kanion mają założenia tektoniczne. W Dolinie Colca wyraźnie wyodrębniają się trzy odcinki z odmiennym zestawem form i procesów modelujących dno i zbocza. Okresowe blokowanie odpływu przez osuwiska (Dolina Colca) i potoki lawowe (Kanion) powodowało powstawanie jezior zaporowych. Współczesna dolina rzeki Colca powstała w środkowym plejstocenie wskutek kaptażu przez ciek należący do zlewiska Oceanu Spokojnego bezodpływowego systemu śródgórskich rowów tektonicznych, zajętego u schyłku pliocenu i w dolnym plejstocenie przez jezioro wypełniane pyłami wulkanicznymi. Kaptaż nastąpił w miejscu uwarunkowanym tektonicznie, na zrzuconym skrzydle uskoku i linii tektonicznej. Brak odmłodzenia profilu podłużnego w Dolinie Colca związany jest z młodym wiekiem kaptażu, ruchami neotektonicznymi, a także przeciążeniem rzeki koluwiami bezpośrednio powyżej miejsca kaptażu.

Słowa kluczowe: Peru, Kanion Colca, geomorfologia, neogen, czwartorzęd

Abstract: Geomorphological mapping was carried out in Colca Valley between Chivay and Madrigal (section of 30 km length) and in Colca Canyon upstream of Canco (three cross sections). Both the valley and the canyon are conditioned by tectonic structures. Three sections with different morphology and processes modelling bottom and sides of the valley could be distinguished in the Colca Valley. A water-course was periodically obstructed by landslides (Colca Valley) or lava flows (Colca Canyon) and dam lakes occurred. The recent Colca Valley is a result of the Middle Pleistocene capture of endorheic system of intermountain grabens by a river which belongs to the Pacific Ocean drainage basin. Lake filling by volcanic ashes occurred in these grabens in the end of Pliocene and the beginning of Quaternary. Capture happened in tectonically determined place on downthrow at block and fracture line. A lack of rejuvenation of longitudinal profile of the Colca Valley can result from young age of capture, neotectonic movements and also river overloading by colluvia directly upstream of the capture place.

Key words: Peru, Colca Canyon, geomorphology, Neogene, Quaternary

WSTĘP

Andy należą do najdłuższych łańcuchów górskich na Ziemi (ponad 8500 km). Są one położone na aktywnym brzegu Płyty Południowoamerykańskiej, a na zachód od nich, wzdłuż zachodniego wybrzeża kontynentu, ciągnie się Rów Peruwiański, będący strefą subdukcji Płyty Nazca (Megard 1984, Kissel *et al.* 1992, Jaillard & Soler 1996, Beck 1998, Hampel 2002). Powoduje to, również współczesne, bardzo duże zaangażowanie tektoniczne obszaru, obejmujące zarówno wypiętrzanie, jak i ruchy zrzutowo-przesuwowe (Serbier *et al.* 1985, Goy *et al.* 1992, Hsu 1992, Leffler *et al.* 1997). Dlatego pierwotna laramijska struktura fałdowa pasma uległa znacznej przebudowie wskutek późniejszych ruchów wypiętrzających (Macedo-Sanchez *et al.* 1992, Mercier *et al.* 1992). Ruchy tektoniczne w czasie ostatnich 20 mln lat spowodowały utworzenie wielkich, wysoko podniesionych zrębów i rozdzielających je rowów tektonicznych, a wzdłuż ograniczających uskoków nastąpiły na dużą skalę wylewy wulkaniczne (Serbier *et al.* 1988, Thouret *et al.* 2001). W obniżeniach były akumulowane molasy trzecio- i czwartorzędowe (Ollier 1987).

Obszar badań ($\varphi=15-17^{\circ}\text{S}$; $\lambda=71-73^{\circ}\text{W}$) położony jest w Andach Centralnych, które tworzą najszerzą (do 800 km) i najbardziej różnorodną część tego systemu górskiego (Fig. 1A). Główne ruchy tektoniczne, które sformowały obecną rzeźbę, wystąpiły w młodszym neogenie i czwartorzędzie (ostatnie 20 mln lat). W tym okresie kordyliery zostały podniesione do 5000 m n.p.m., natomiast w rozdzielających je depresjach wystąpiły ruchy wginające. Zapadliska te zostały wypełnione lądowymi seriami osadów detrytycznych i grubodetrytycznych o miąższości do kilku kilometrów, z wulkanitami w górnej części. Serie te zostały później sfałdowane i pocięte uskokami. W miarę upływu czasu następowało przesuwanie się sedymentacji i zjawisk tektonicznych ze wschodu na zachód (Megard 1984).

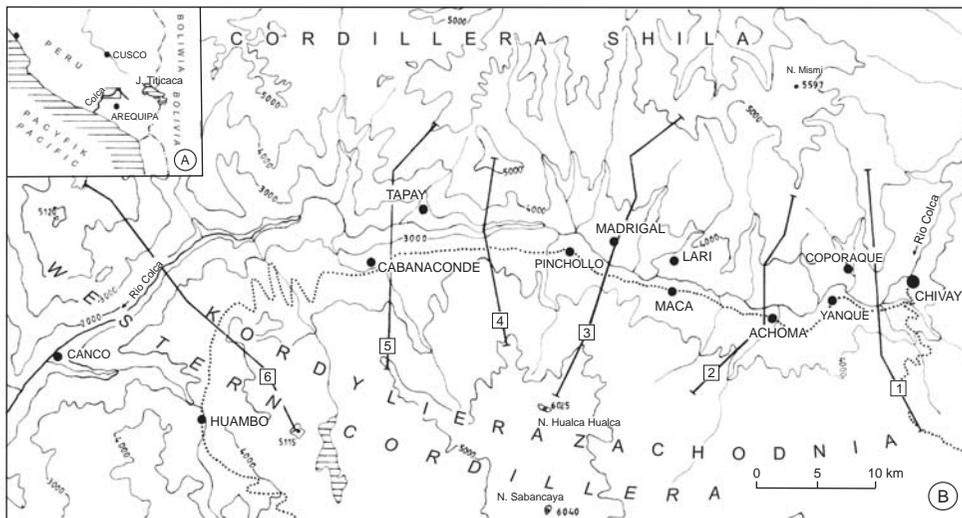


Fig. 1. Położenie (A) i mapa obszaru badań z liniami przekrojów (patrz Fig. 2) – (B). Główna droga oznaczona linią kropkowaną

Fig. 1. Location (A) and map of study area with lines of cross sections (see Fig. 2) – (B). Dotted line marks main road

Cechą charakterystyczną tej części Andów jest zanik Kordyliery Środkowej, która urywa się tutaj w rozległym obszarze wewnętrznym. Jest to strefa wczesnotrzeciorzędowych depresji śródgórskich wypełnionych górnomiocenijskimi molasami, czwartorzędowymi seriami fluwialno-limnicznymi i wulkanicznymi (Zeilinger & Schlunegger 2007). Ten wysoko położony (ok. 3500–4500 m n.p.m.) półpustynny płaskowyż (Puna), otoczony Kordyliera Wschodnią i Zachodnią, w północnej części na obszarze Boliwii i Peru nazywany jest Altiplano. Jest to równocześnie główna powierzchnia zrównania (Puna) powstała tuż po deformacjach środkowomiocenijskich (Ollier 1987). Na płaskowyżu, poprzecinany krótkimi pasmami górskimi, położone są liczne, często bezodpływowe, jeziora, w tym największe jezioro tektoniczne Titicaca (3812 m n.p.m.) (Kubiawicz 1975, Słownik... 1977, Dembicz *et al.* 1979, Kaszowski 1992).

Wraz z postępującym kenozoicznym wypiętrzaniem Andów zmieniał się klimat obszaru (Abele 1992, Lamb & Davis 2003). Współcześnie Andy Centralne znajdują się w obszarze międzyzwrotnikowej cyrkulacji wschodniej. Dlatego stoki dowietrzne Kordyliery Wschodniej otrzymują opady do 1000 mm/rok, natomiast ku zachodowi, w cieniu opadowym suma ta gwałtownie spada do 200 mm (Puna), a na południe od 15°S nawet do poniżej 50 mm/rok. Na wybrzeżu, u podnóża Andów, ciągnie się nadbrzeżna pustynia Atacama, której powstanie wiąże się z zimnym Prądem Peruwiańskim (Humboldta) płynącym wzdłuż wybrzeża. Na obszarach pustynnych prawie całkowicie brakuje opadów, a wilgoć dostarczana jest głównie w okresie zimowym w postaci osadów z gęstej mgły (garua). Na obszarach wyżej położonych wyraźna pora sucha przypada na okres zimowy. Średnia temperatura lipca na Altiplano wynosi od –2 do 6°C, a temperatura stycznia od 5 do 10°C, jednak powyżej 4500 m n.p.m. w ciągu 3–4 miesięcy zimowych średnie temperatury miesięczne utrzymują się poniżej 0°C. Znaczna suchość klimatu powoduje, że linia wiecznego śniegu położona jest bardzo wysoko na około 6300 m n.p.m. (Kubiawicz 1975, Słownik... 1977, Dembicz *et al.* 1979). Według Okołowicza (1969) jest to klimat zwrotnikowy, kontynentalny, skrajnie suchy (wybrzeże) i suchy z odmianą górską, z wyraźnie zaznaczoną piętrowością w Andach Centralnych.

Tak duże kontrasty klimatyczne pomiędzy wybrzeżem i wysoko położonym Altiplano były charakterystyczne dla całego holocenu i zmiany wilgotności notowane dla obszarów wysokogórskich nie mogą być automatycznie przenoszone na tereny nadbrzeżne (Holmgren *et al.* 2001). Sytuacja taka miała miejsce prawdopodobnie w czasie całego czwartorzędu, w którym stosunki termiczno-wilgotnościowe wykazywały wyraźne wahania, z chłodniejszymi i wilgotniejszymi okresami glacialnymi (Messerli *et al.* 1993, Seltzer 1993, Veit 1993, Baker *et al.* 2001). Zmiany te następowały również w krótszych okresach (Seltzer *et al.* 2002), co znalazło swoje odbicie w środowisku limnicznym, fluwialnym i glacialnym (np. Abbott *et al.* 1997, 2000, Seltzer 1990, 1992, Seltzer *et al.* 1998, 2002, Baucom & Rigsby 1999, Cross *et al.* 2000, 2001, Goodman *et al.* 2001, Dornbusch 2005, Farabaugh & Rigsby 2005).

Jednak dla klimatu tego obszaru, oprócz czwartorzędowych globalnych wahań, charakterystyczne jest cykliczne (3–5 lat) występowanie zespołu zjawisk El Niño/Oscylacje Południowe (ENSO) (np. Kane 1999, Lorenc 1999). Związane z nimi obfite opady na zachodnich skłonach Andów powodują wezbrania rzek oraz uruchamiają spływy gruzowo-błotne, które mogą przybierać olbrzymie rozmiary (np. Wells 1987, 1990, Magilligan & Goldstein 2001, Keefer *et al.* 2003, Rigsby *et al.* 2003). Najsilniejsze zjawiska El Niño w ostatnich 150 latach wystąpiły na przełomie lat 1877/78, 1940/41, 1982/83 i 1997/98. Jednak echa wcześniejszych

zjawisk o podobnym charakterze znajdujemy w mitologii inkaskiej i innych ludów andyjskich (Bogowie ... 1985, Sandweiss *et al.* 2001, Szemiński & Ziółkowski 2006), gdzie bogowie niszczą kolejne światy wskutek ulewnych opadów powodujących spływy gruzowo-błotne i osuwiska blokujące odpływ rzeczny w dnach dolin. Na obszarze andyjskim znajdujemy jednak również geologiczne i geomorfologiczne ślady ENSO (Devries 1987), którego częstość była jednak zmienna zarówno w cyklach glacialno-interglacialnych (Tudhope *et al.* 2001), jak i w krótszych okresach (Fontugne *et al.* 1999, Cobb *et al.* 2003, Carre *et al.* 2005, Rein *et al.* 2005).

Suchość klimatu sprawia, że w niższych położeniach występują gleby pustynne i półpustynne, a wyżej, gleby stepów i półpustyn wysokogórskich. Do piętrowości klimatycznej nawiązuje piętrowość roślinna, która kształtowała się od schyłku plejstocenu (Baied & Wheeler 1993, Lauer 1993). Współcześnie jednak pokrycie terenu we wszystkich piętrach jest bardzo słabe, a często wręcz znikome. Na zachodnich skłonach wulkanu Ampato można wyróżnić siedem pięter: nadbrzeżna roślinność pustynna (do około 500 m), wilgotna loma (500–1200 m), sucha loma (1200–2400 m), suche zarośla i widne lasy mezofityczne (2400–3000 m), puna (3000–4800 m), porosty i murawy naskalne (4800–5300 m) i powyżej granicy wiecznego śniegu piętro niwalne wiecznych śniegów i lodowców (powyżej 5300 m n.p.m.) (Balon 1999). Nieco inny układ pięter podaje praca Dembicza *et al.* (1979). Loma jest to wielogatunkowa formacja roślinna, która swoje istnienie na pustynnych stokach zawdzięcza występowaniu wiosenno-zimowych mgieł garua. Do 400 m są to luźne zbiorowiska efemerycznych roślin (zima, wiosna). Wyżej, gdzie mgły utrzymują się najdłużej, oprócz roślin efemerycznych pojawiają się drzewa i krzewy. Powyżej 1000 m, gdzie mgły są rzadsze roślinność staje się uboższa, a powyżej 2000 m loma przechodzi stopniowo w formację wysokogórską. Powyżej 3000 m występuje trawiasta formacja wysokogórska jalca, która jest typem przejściowym pomiędzy puną i paramo, gdyż występują gatunki typowe zarówno dla tej pierwszej (np. trawy ichu), jak i dla drugiej (np. espelecje) formacji roślinnej.

Colca należy do krótkich i bystrych rzek zlewiska Oceanu Spokojnego na zachodnich skłonach Andów. Mając swe źródła powyżej 4500 m koło przełęczy Abra Toroya (4690 m n.p.m.), niedaleko jeziora Lagunillas, płynie ona początkowo (ponad 100 km) po Altiplano w kierunku NW. Jednak napotykając na przeszkodę w postaci gór Cordillera de Chila (z kulminacją wulkanu Mismi – 5601 m n.p.m.), które stanowią wododział pomiędzy Atlantykiem a Pacyfikiem, gwałtownie skręca na SW. Płynąc u podnóża tego pasma na odcinku kolejnych 100 km stanowi jego południowe ograniczenie (Dolina Colca na odcinku Sibayo–Madrigal). Poniżej (od wysokości około 3050 m n.p.m.) rozpoczyna się kanion rzeki Colca, który przecina Kordylierę Zachodnią stanowiącą wysoki łańcuch fałdowy (skały mezozoiczne) z licznymi szczytami wulkanicznymi i czynnymi wulkanami często przekraczającymi 5000, a nawet 6000 m, np. Coropuna (6425 m n.p.m.), Ampato (6314 m n.p.m.), Chachani (6079 m n.p.m.), Misti (5835 m n.p.m.). Odcinek przełomowy o długości około 300 km kończy się poniżej Aplao, gdzie rzeka, już jako Majes (Camaña), płynie przez około 100 km wcięta w rozległe pedymenty z barchanami na powierzchni i uchodzi do Oceanu Spokojnego koło Camaña. Reżim hydrograficzny rzeki jest deszczowy i nawiązuje do rozkładu opadów w ciągu roku, z maksymalnymi przepływami w okresie letnim.

Dane meteorologiczne ze stacji w Chivay wskazują, że 75% rocznych opadów, których suma wynosi 400 mm, przypada na okres letni. Średnia roczna temperatura wynosi około

10°C, amplituda roczna około 4°C, dzienna około 24°C, a przymrozki występują przez cały rok (Eash & Sandor 1995). Roślinność naturalna, głównie zespoły trawiaste (np. *Festuca*), krzewy i kaktusy, jest odbiciem półsuchego klimatu.

Występujące na tym obszarze gleby, molisole, wykazują postępujący z upływem czasu coraz lepszy rozwój poziomów glebowych, co wskazuje na silne wietrzenie chemiczne i pedogenezę zachodzące w tropikalnych obszarach wysokogórskich w przeciwieństwie do innych stref klimatycznych (Eash & Sandor 1995).

CEL I METODY BADAŃ

W ramach realizacji programu „Czwartorzędowa ewolucja Kanionu Colca (Andy Peruwiańskie) – rola struktury, neotektoniki i wahań klimatycznych” przeglądowe badania geomorfologiczne obejmowały zarówno górną, nieodmłodzoną część Doliny Colca, jak i sam kanion rzeki Colca o długości ponad 100 km i głębokości do 3000 m (Kalicki & Kukulak 2007a, b).

Do głównych, długofalowych celów należą:

- określenie wieku i tempa rozwoju kanionu, a także związków jego rzeźby ze strukturą podłoża i neotektoniczną mobilnością tej części Andów,
- rozpoznanie młodoczwartorzędowych wahań klimatycznych, w tym cyklicznych oscylacji (ENSO) zapisanych w osadach powodziowych (*slack water deposits*) kanionu,
- kompleksowe rozpoznanie rzeźby kanionu w celu waloryzacji turystycznej obszaru przyszłego parku narodowego (m.in. ustalenia walorów przyrodniczych poszczególnych odcinków, ich dostępności, wyznaczenie odcinków i miejsc szczególnie atrakcyjnych przyrodniczo i turystycznie).

W ramach przeglądowego kartowania geomorfologicznego w 2006 roku wykonano dokumentację poziomów terasowych i dolinnych, wraz z profilami geologicznymi charakteryzującymi ich budowę. Szczególną uwagę zwracano na rozpoznanie spłaszczeń na ścianach kanionu (strukturalnych, tektonicznych, teras erozyjnych i skalno-osadowych), ustalenie ich rozciągłości przestrzennej i zmienności hipsometrycznej oraz genezy i chronologii. Badaniem objęto odcinek Doliny Colca o długości około 30 km pomiędzy Chivay i Madrigal. W kanionie tej rzeki, gdzie deniwelacje dochodzą do 1000–3000 m, wykonano trzy profile marszrutowe przez zbocza oraz rekonesansowe przejścia wzdłuż rzeki Colca na odcinku około 10 km oraz dolin bocznych Huaruro (Llatica), Huambo (Huambo-Canco) i Andahua/Ayo (rejon Andahua). Trwają prace kameralne nad korelacją poziomów w obrębie doliny i kanionu, a także pomiędzy tymi dwoma odcinkami.

W trakcie badań dotychczas nie zostały znalezione w kanionie profile osadów powodziowych (*slack water deposits*), które byłyby podstawą do studiów paleohydrologicznych i paleoklimatycznych. Możliwość przeprowadzenia takich badań stwarzają trawertyny wytrącane w Dolinie Huambo na odcinku kilkunastu kilometrów i osiągające miąższość kilkudziesięciu metrów.

Pobrane zostały próbki osadów limnicznych i gleb kopalnych, które zostaną poddane analizom laboratoryjnym.

W prezentowanym raporcie przedstawione zostaną tylko najciekawsze wyniki badań terenowych.

DOLINA COLCA

Dolina na badanym odcinku Chivay–Madrigal ma założenia tektoniczne i rozdziela od siebie dwa masywy trzeciorzędowych stratowulkanów Mismi (5597 m n.p.m.) na północy i Hualca Hualca (6025 m n.p.m.) – Sabancaya (5976 m n.p.m.) – Ampato (6288 m n.p.m.) na południu (Fig. 1B). Dlatego w podłożu na całym obszarze zdecydowanie dominują różnowiekowe kompleksy kenozoicznych skał wulkanicznych, a mezozoiczne (jura–kreda) skały osadowe odsłaniają się tylko lokalnie na niewielkich obszarach (np. Chivay, Maca) (Mapa ... 2001). Powstanie doliny można wiązać z intensywnymi neogeńskimi ruchami tektonicznymi, które doprowadziły do utworzenia ciągu obniżeń, generalnie równoległych do strefy subdukcji oraz stratowulkanów na liniach uskoków. Czwartorzędowe wulkanity (np. grupa Andahua w dnie doliny powyżej Chivay) wskazują na utrzymującą się dużą aktywność neotektoniczną (Galaś & Paulo 2005).

Dolina pomiędzy Chivay i Madrigal ma generalny przebieg równoleżnikowy (E-W), a średni spadek rzeki wynosi 16.7‰ (Fig. 2). Jednak na krótkim odcinku w rejonie wsi Yanque–Ichupampa–Achoma następuje wyraźne zwężenie i przesunięcie jej osi na południe związane prawdopodobnie z uskokiem przesuwczym o przebiegu NNE-SSW. Kolejny uskok o podobnym kierunku przecina dolinę w Madrigal–Pinchollo. Wskazują na to różnice w wysokości jednowiekowych zrównań morfologicznych ciągnących się nad Kanionem i Doliną Colca dochodzące do 400 m (Fig. 2), a także stromy zachodni stok grzbietu odchodzącego od wulkanu Hualca Hualca na NNE (z wierzchołkami Achumani–Huancorane–Villuca), mający charakter krawędzi rozwiniętej na powierzchni uskoku normalnego. Uskok ten w rejonie Madrigal i Pinchollo krzyżuje się z kolejnym o przebiegu NNW-SSE, na którym powstało lewe zbocze doliny.

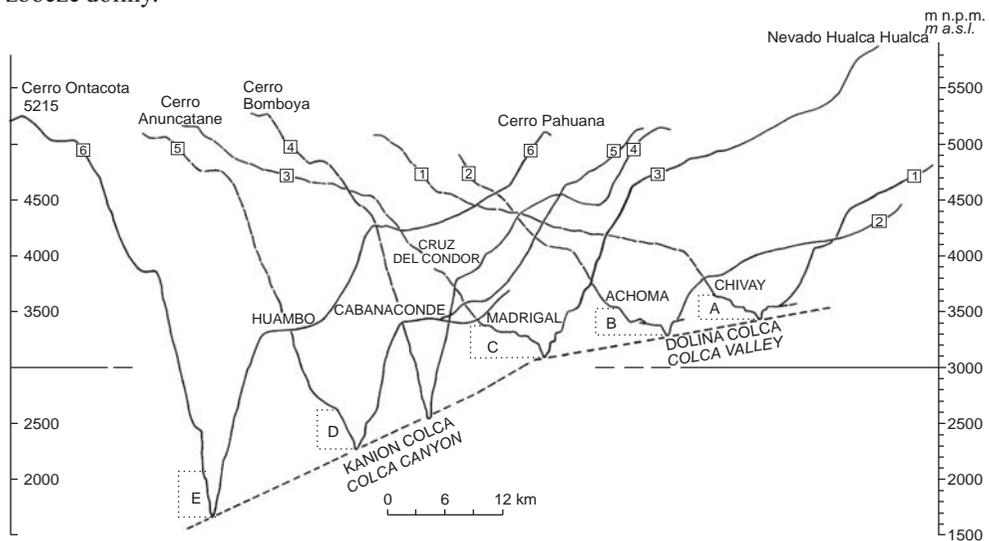


Fig. 2. Przekroje poprzeczne (1–6) przez dolinę i kanion rzeki Colca oraz lokalizacja przekrojów szczegółowych (A–E) – (patrz Fig. 3, 5, 13, 14, 17)

Fig. 2. Section (1–6) across the valley and canyon of Colca River and location of detailed cross sections (A–E) – (see Figs 3, 5, 13, 14, 17)

Do „skrzyżowania” uskoku koło Madrigal dochodzi jeszcze uskok Kanionu Colca o przebiegu W-E. Niewykluczone, że również prawe zbocze Doliny Colca rozwinęło się na linii tektonicznej, na co mogą wskazywać trapezoidalne czoła stoków pomiędzy bocznymi dolinami. Wydaje się więc, że w sensie tektonicznym Dolinę Colca tworzą dwa rowy tektoniczne o układzie litery V, jeden powyżej Chivay o kierunku NNE-SSW i drugi poniżej Achoma (Achoma–Madrigal) o przebiegu NW-SE, połączone odcinkiem przełomowym Yanque–Achoma, powstałym na strefie dyslokacyjnej.

W badanym odcinku Doliny Colca wyraźnie wyodrębniają się trzy odcinki charakteryzujące się odmiennym zestawem form i procesów modelujących dno i zbocza.

Pierwszy z nich koło Chivay obejmuje końcowy fragment „rowu Chivay”, do którego od wschodu i południa uchodzą boczne doliny o dużych spadkach. Są one erozyjnymi rozcięciami krawędzi płaskowyżu położonego na wysokości 4800–4900 m n.p.m. (Fig. 1, 2 – przekrój 1). Potężne spływy gruzowe powstające w tych dolinach prawdopodobnie w okresach silnych opadów związanych ze zjawiskiem El Niño spowodowały, że u ich wylotów na stożkach torrencjalnych zostały złożone wysokie (2–10 m) wały gruzowe. Wielkość głazów transportowanych przez te spływy może dochodzić nawet do 7 m. Osady koluwalne są współcześnie rozcięte przez dopływy rzeki Colca, jednak wielkość materiału powoduje, że ciekły te mają zbyt małą siłę transportową i zachodzi głównie przemywanie osadów oraz pozostawianie na miejscu grubszych frakcji. Osady stożków torrencjalnych złożone w dnie doliny przykrywają lokalnie żwirowe aluwia rzeki Colca (Fig. 3).

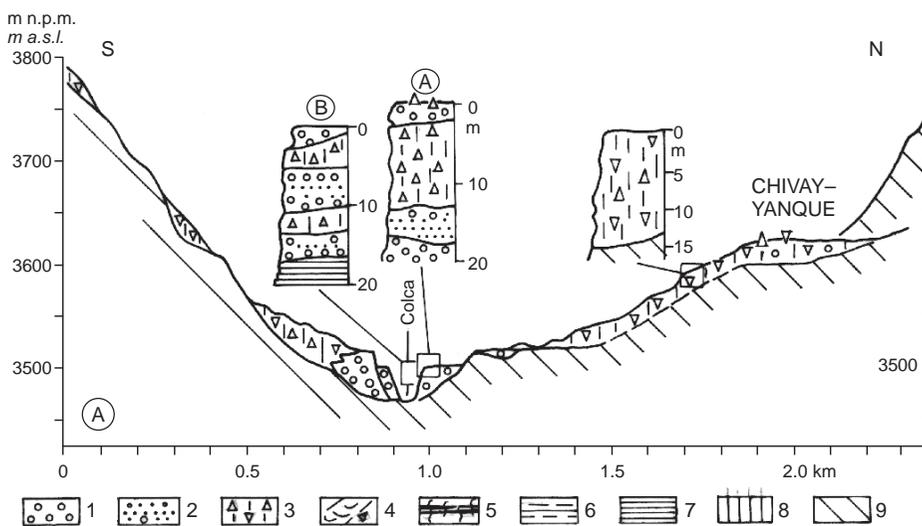


Fig. 3. Przekrój poprzeczny doliny koło Chivay (A). 1 – aluwia gruboklastyczne, 2 – aluwia żwirowo-piaszczyste, 3 – osady spływów gruzowo-błotnych i rumosz zwietrzelinowy, 4 – koluwia, 5 – gleba kopalna w utworach pylastych, 6 – pylaste osady jezior osuwiskowych, 7 – drobnoklastyczna seria limniczna, 8 – wulkanity, 9 – skały starszego podłoża

Fig. 3. Section across the valley near Chivay (A). 1 – coarse-grained alluvium, 2 – sandy-gravel alluvium, 3 – sediments of debris flows and weathering cover, 4 – colluvium, 5 – buried soil in silty sediments, 6 – silty sediments of lake on the landslide, 7 – fine grained lacustrine series, 8 – volcanic rocks, 9 – rocks of older basement

Okolo 3 km poniżej Chivay po raz pierwszy w dnie doliny pojawia się seria limniczna, a w jej obrębie występuje kilka serii gruboklastycznych aluwiów przewarstwionych osadami jeziornymi (Fig. 4). Stanowi to zapis okresowego wsypywania do zbiornika żwirowej delty przez Pra-Colce.



Fig. 4. Zazębienie się osadów jeziornych i gruboklastycznych aluwiów deltowych pomiędzy Chivay i Yanque

Fig. 4. Intercalation of lacustrine sediments and coarse grained alluvia (deltic deposits) between Chivay and Yanque

Drugi odcinek Yanque–Achoma niemal pokrywa się z przełomem rzeki pomiędzy dwoma rowami tektonicznymi (Fig. 1, 2 – przekrój 2). Najbardziej charakterystyczne jest występowanie tu miększej (ponad 200 m) serii limnicznej, odsłaniającej się w wielu miejscach, w korycie i na zboczach doliny (Fig. 5). Są to białe, zwykle pylaste osady (jedynie w części spągowej drobnopiaszczyste), lokalnie margliste, o poziomym warstwowaniu, makroskopowo identyfikowane jako tufity. Najczęściej są one zaburzone tektonicznie, dlatego poszczególne pakiety są w wielu miejscach (Maca, Lari, Yanque) wychylone w różne strony (Fig. 6). W przeciwieństwie do odcinka poprzedniego w serii tej brak jest przewarstwień aluwiów gruboklastycznych. Dla określenia wieku tej serii najistotniejszy jest profil w podcięciu drogowym koło Achoma na wysokości około 3450 m n.p.m., gdzie bezpośrednio na serii jeziornej leży język lawowy spękany słupowo (Fig. 5, 7). Kontakt tych dwóch serii (wkładka lawowa przykryta

ponownie tufitami jeziornymi) wskazuje na to, że potok lawowy wkraczał do istniejącego jeszcze jeziora. Musiało to nastąpić na przełomie pliocenu i czwartorzędu (około 1.8 mln lat), gdyż seria limniczna (Qpl-cvm/tbk) związana jest z wybuchem Mismi, natomiast potok lawowy z następującym bezpośrednio potem andezytowym (Qpl-hh/an1) kompleksem wulkanicznym Hualca–Hualca (Mapa... 2001).

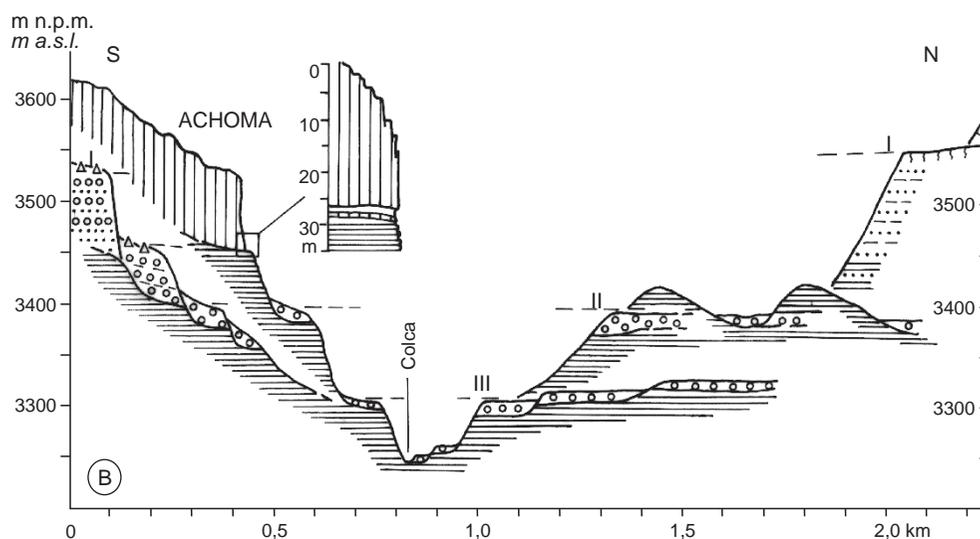


Fig. 5. Przekrój poprzeczny doliny koło Achoma (B). Objasnienia jak na figurze 3

Fig. 5. Section across the valley near Achoma (B). Explanations as in figure 3

Powyżej serii limnicznej występuje najwyższy, jak wynika z datowania serii limnicznej, plioceński poziom dolinny (I – 3550 m n.p.m.) (Fig. 5, 8), zbudowany z poziomo warstwowanych osadów żwirowo-piaszczystych. Kolejne erozyjno-akumulacyjne poziomy terasowe wycięte są już w osadach jeziornych. Ich bardzo duża liczba, a także wysokości, które zostały lokalnie zaburzone prawdopodobnie przez ruchy neotektoniczne, stwarzają znaczne trudności przy ich korelacji. Wydaje się jednak, że można wydzielić dwa główne poziomy wyższe (II – 3400 m i III – 3300–3320 m n.p.m.) oraz kilka (3–4) niższych (m.in. IV – 3270–3250 m n.p.m.) towarzyszących bezpośrednio rzece (Fig. 9). Wcześniej Eash & Sandor (1995) wydziłili w rejonie Coporaque do wysokości 3350 m n.p.m. siedem poziomów: współczesna równina zalewowa (A1), terasy aluwialne (A2 i A3) i wyższe poziomy mające prawdopodobnie charakter teras sandrowych. Poziomy A2–A7 są głównie akumulacyjne, zbudowane najczęściej z gruboklastycznych osadów, zwykle o dużej miąższości, np. A4 koło Coporaque i Yanque (100 m), czy A6 koło ujścia Rio Picomayo (200–250 m). Część wysokich poziomów (A5–A7), wyciętych w skałach wulkanicznych, ma charakter erozyjny i niewielką miąższość osadów (poniżej 5 m). Najwyżej znajdują się zrównania (HP) będące częścią Altiplano, które ścinają skały wulkaniczne i są przykryte osadami glacialnymi, fluwialnymi, jeziornymi i eolicznymi. Osady budujące poziomy wykazują wyraźne zróżnicowanie facjalne, zarówno pionowe jak i lateralne.



Fig. 6. Seria osadów jeziornych w Yanque

Fig. 6. Sediments of lacustrine series at Yanque



Fig. 7. Wulkanity z ciosem słupowym na serii jeziornej koło Achoma

Fig. 7. Volcanic rocks with hexagonal columns overlying lacustrine series near Achoma



Fig. 8. Wysokie poziomy dolinne w rejonie Achoma

Fig. 8. High erosional-accumulational morphological levels (“valley levels”) near Achoma



Fig. 9. Terasy erozyjno-akumulacyjne pomiędzy Achoma i Maca

Fig. 9. Erosional-accumulational terraces between Achoma and Maca

Lokalnie, szczególnie na poziomie A3, wskutek lateralnego przesiąkania występują obszary słabo drenowane. Wzdłuż zboczy doliny koluwia zazębiają się z aluwiami, a stożki napływowe i pedymenty nachylone są w kierunku poziomów A4 i A5, natomiast erozyjne pedymenty w kierunku A6 i A7. Rytmicznie laminowane drobne piaski i pyły podścielają aluwialne i koluwialne poziomy od poziomu współczesnej rzeki, aż lokalnie po A6. Swoim wykształceniem przypominają one osady fluwioglacjalne, choć mogą być także osadami pozakorytowymi (*slack water deposits*), zdeponowanymi przy zwolnionych przyptywach związanych z epizodycznym blokowaniem koryta Rio Colca przez osuwiska lub inne czynniki.

Pierwsze publikowane datowania pozwalają na uchwycenie relacji chronologicznych pomiędzy poziomami. Andezytowe dajki koło Achoma były datowane na 0.2–1.0 Ma BP (Sérbier *et al.* 1985), co wskazuje na neogeńską lub wczesnoczwartorzędową fazę erozji, która sformowała dolinę i najwyższe poziomy (Eash & Sandor 1995). Dwa andezytowe potoki, przykrywające aluwia nieco na północ od Chivay i położone poniżej poziomu A6, były datowane metodą potasowo-argonową na 172 ka±14 ka BP i 64 ka±14 ka BP. Młodszy z nich tworzy powierzchnię o wysokości zbliżonej do poziomu A5 i wydaje się być tym samym poziomem, co stwierdzony na wschód od Coporaque. Poziom A4 jest włożony w oba datowane potoki andezytowe, natomiast materia organiczna z kopalnego poziomu próchnicznego (głęb. 1.12–1.23 m) na poziomie A2 była datowana na 1610±70 BP (Eash & Sandor 1995).

W trzecim odcinku Maca–Madrigal, który zlokalizowany jest w obrębie drugiego rowu tektonicznego, w rozwoju doliny olbrzymie znaczenie odgrywają procesy osuwiskowe (Fig. 1, 2 – przekrój 3, Fig. 10). Największe osuwisko, uwarunkowane prawdopodobnie wspomnianą wyżej linią tektoniczną, rozwinięte jest na lewym zboczu doliny, w Maca (Fig. 11). Nisza osuwiskowa, o półkolistym zarysie i promieniu około 2 km, na dużym odcinku pokrywa się z powierzchnią uskoku normalnego, stosunkowo nieznacznie rozcięta prostoliniowymi rynnami erozyjnymi. Ruchy osuwiskowe objęły również zalegające w dnie doliny osady jeziorne, analogiczne jak opisane na poprzednim odcinku. Jednak na znacznym obszarze osuwiska ta drobnoziarnista seria została już całkowicie wyprątnięta przez rzekę, dlatego w korycie i na osuwisku występują głazy i skały zalegające pierwotnie na zboczu doliny powyżej Maca. W obrębie jezora osuwiskowego częste są wtórne skarpy, szczeliny, jeziorka osuwiskowe, itp. – świadczące, że w dolnej części jest on nadal aktywny, prawdopodobnie głównie w okresie pory deszczowej. W części bliższej niszy osuwisko ma jednak od dłuższego czasu utrwaloną rzeźbę, gdyż bezpośrednio we wsi Maca znajduje się stary zbiornik osuwiskowy wypełniony białymi drobnoklastycznymi osadami (diatomitami?), o miąższości przekraczającej 2 m, z dobrze wykształconą glebą w stropie osadów limnicznych. Również z drugiej strony rzeki Colca w Lari i Madrigal rozwinięte są rozległe osuwiska, obejmujące tylko osady jeziorne wyścielające dno doliny (Fig. 12). Ich jęzory osuwiskowe docierają do koryta i bieg rzeki jest wymuszony, a woda przepłykuje koluwia. W warunkach stałego przeciążenia rzeki materiałem osuwiskowym, przy jednoczesnym pozostawianiu na miejscu najgrubszych głazów z przemytych koluwiów, postępuje uzbrajanie dna rzeki, co zapobiega erozji dennej. Osuwiska doprowadziły do zupełnego zniszczenia lub uniemożliwiły powstanie na tym odcinku niskich teras erozyjno-akumulacyjnych wyciętych w serii limnicznej (Fig. 13). Strop tej serii jeziornej koło Madrigal sięga około 3220 m n.p.m. i przykryty jest koluwiami oraz żwirami. Powyżej serii limnicznej występuje kilka teras erozyjno-akumulacyjnych wyciętych w koluwiach. Jednak wszystkie te poziomy terasowe nachylone są przeciwnie do współczesnego spadku doliny, co wskazuje, że odpływ i transport fluwialny był ukierunkowany na wschód.



Fig. 10. Widok z Pinchollo na osuwiska na odcinku doliny pomiędzy Maca i Madrigal

Fig. 10. View from Pinchollo on landslides in the valley section between Maca and Madrigal

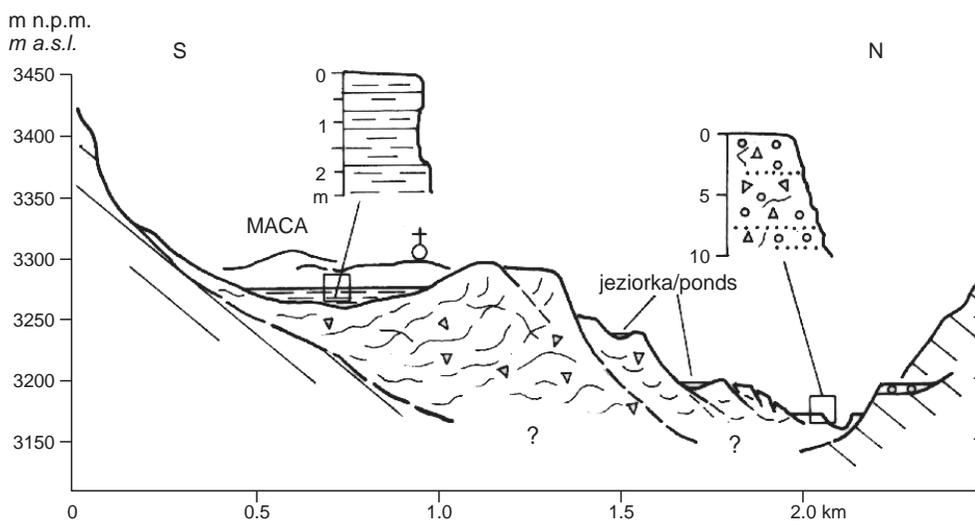


Fig. 11. Przekrój poprzeczny przez osuwisko na lewym zboczu doliny koło Maca. Objaśnienia jak na figurze 3

Fig. 11. Section across landslide on left site of the valley near Maca. Explanations as in figure 3



Fig. 12. Osuwisko w Madrigal, odmłodzone w części dolnej

Fig. 12. Landslide at Madrigal, rejuvenated in lower part

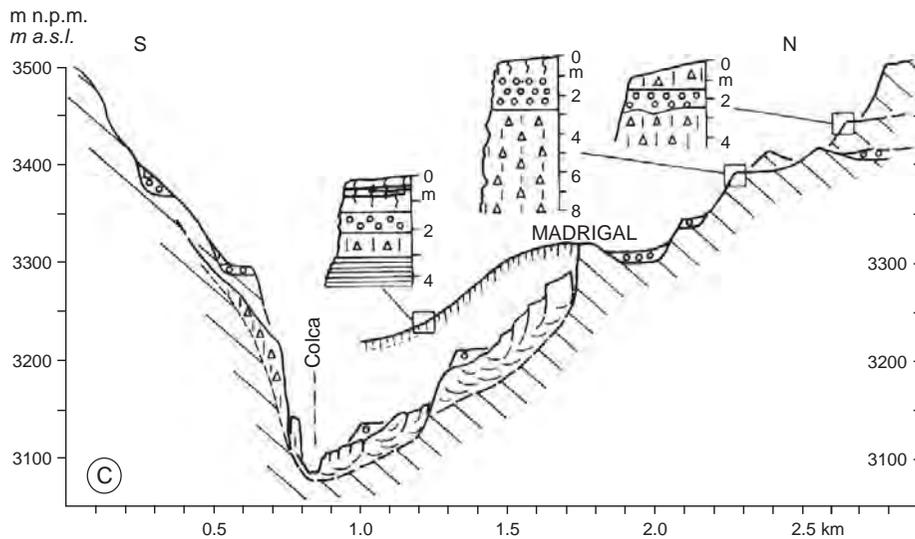


Fig. 13. Przekrój poprzeczny doliny koło Madrigal (C). Objasnienia jak na figurze 3

Fig. 13. Section across the valley near Madrigal (C). Explanations as in figure 3

KANION COLCA

Na analizowanym odcinku średni spadek rzeki wynosi 42.5%. Kanion początkowo ma przebieg E-W, a poniżej Cabanaconde zmienia kierunek na NE-SW (Fig. 1B). Jego prostolinijny przebieg na obu odcinkach wskazuje, że ma on założenia tektoniczne. Lewe zbocze kanionu tworzy krawędź o wysokości 1000–1700 m, opadającą prawdopodobnie z jednowiekowego spłaszczenia morfologicznego (3300–3400 m n.p.m.), na którym leżą Cabanaconde i Huambo (Fig. 1, 2; przekroje 4–6).

Na dwóch przekrojach Cabanaconde–Tapay stwierdzone zostały, na lewym zbocz kanionu, szczerbko zachowane cztery listwy aluwii gruboklastycznych, z których najwyższa położona jest około 150 m nad rzeką (Fig. 14).

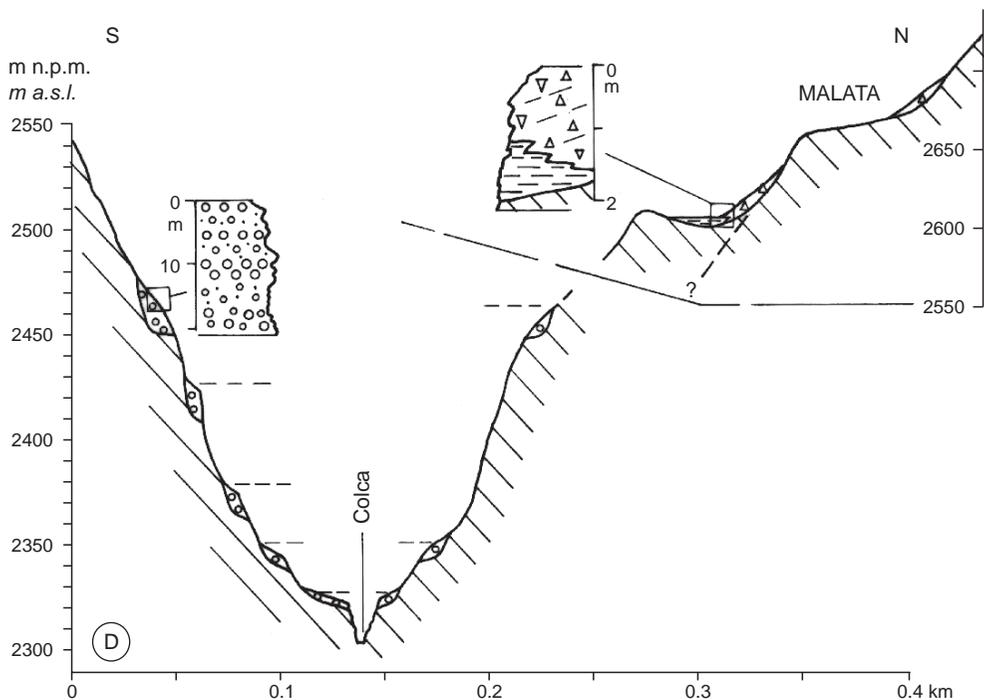


Fig. 14. Przekrój poprzeczny kanionu na linii Cabanaconde – Malata (D).
Objaśnienia jak na figurze 3

Fig. 14. Section across the canyon between Cabanaconde and Malata (D).
Explanations as in figure 3

Lepiej zachowane poziomy dawnych den występują jedynie w ujściowych częściach bocznych dolin (Fig. 15), które niżej przechodzą w systemy stromo nachylonych i włożonych w siebie stożków napływowych. Budują je osady żwirowo-piaszczyste z pojedynczymi głazami, słabo obrobionymi, co wskazuje na krótki transport oraz dostawę materiału z blisko położonych stoków o deniwelacjach przekraczających kilka tysięcy metrów. Selektowne wietrzenie i ruchy masowe, trwające wystarczająco długo, doprowadziły do powstania w tych

osadach dobrze wykształconych piramid ziemnych. Aluwia samej rzeki Colca, budujące terasę zachowaną na prawym brzegu koło mostu w Tapay, są wyraźnie zróżnicowane. Bardzo grube aluwia (głazy) występują na przemian z drobniejszymi żwirami, co może wskazywać na okresowe istotne różnice przepływów.



Fig. 15. Poziom dawnego dna bocznej Doliny Huaruro (Llatica), prawego dopływu rzeki Colca

Fig. 15. Level of old valley bottom in the Huaruro (Llatica) Valley, right tributary of the Colca River

Najgrubsze frakcje mogły być raczej transportowane przez spływy gruzowe, związane prawdopodobnie z cyklicznym występowaniem El Niño. Bardzo interesująca jest forma stwierdzona po prawej stronie rzeki nad ośrodkiem turystycznym Paradise (Fig. 16). Jest to wyraźny załom na stoku z okrągłą misą na spłaszczeniu, wypełnioną drobnymi osadami o nieznannej miąższości (Fig. 14). Typ osadu wskazuje na występowanie w tym zagłębieniu zbiornika, a misa powstała na strukturze, która może mieć genezę osuwiskową.

W przekroju kanionu, w Canco, stwierdzone zostały na lewym zboczu osady limniczne o miąższości około 40 m, które są zawieszane około 200 m nad rzeką (Fig. 17, 18). Powstanie zaporowego, stosunkowo krótkotrwałego jeziora, w tym miejscu, związane było prawdopodobnie z zatamowaniem odpływu przez język lawowy, widoczny na prawym zboczu kanionu (Fig. 19).

Po przepiętowaniu bariery, rzeka wciniała się w dwóch głównych etapach, czego śladem jest poziom Canco (100 m powyżej poziomu rzeki) oraz terasy towarzyszące współczesnej rzece o wysokości nie przekraczającej 20 m.



Fig. 16. Misa na spłaszczeniu w Kanionie Colca koło Malata

Fig. 16. “Dish” on the slope in the Colca Canyon at Malata

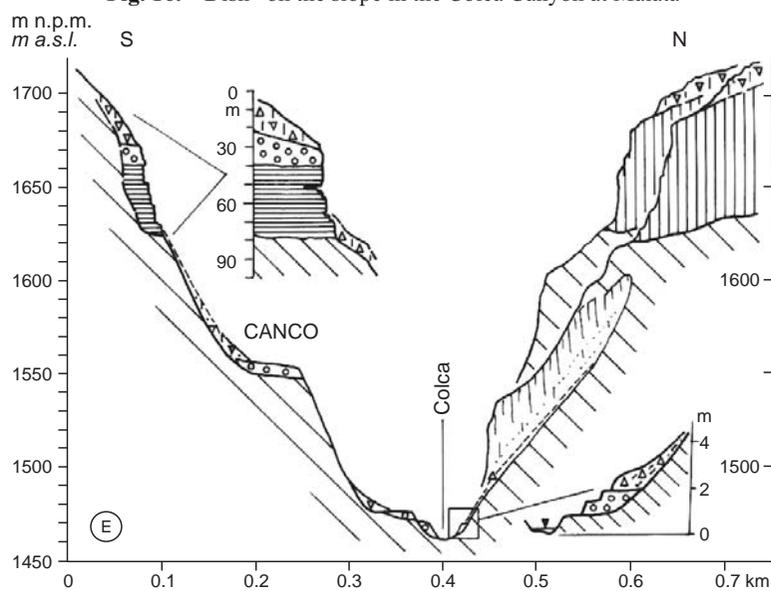


Fig. 17. Przekrój poprzeczny kanionu koło Canco (E). Objasnienia jak na figurze 3

Fig. 17. Section across the canyon near Canco (E). Explanations as in figure 3



Fig. 18. Osady jeziorne na lewym zboczu kanionu, nad Canco

Fig. 18. Lacustrine sediments on left site of the canyon over Canco



Fig. 19. Kanion w Canco z potokiem lawowym na prawym zboczu

Fig. 19. Canyon at Canco with lava flow on right site

WNIOSKI

Wstępna analiza zebranych materiałów w nawiązaniu do istniejącej literatury (Huaman-Rodrigo *et al.* 1993, Eash & Sandor 1995) pozwala na postawienie kilku hipotez. Dolina rzeki Colca powstała wskutek kaptażu i połączenia dwóch niezależnych subsystemów (Fig. 20).



Fig. 20. Zakończenie nieodmłodzonej części doliny i początek Kanionu Colca (strefa kaptażu)

Fig. 20. End of the “non-rejuvenated” section of the valley and beginning of Colca Canyon (capture zone)

Pierwszym był bezodpływowy subsystem tektonicznych rowów śródgórskich, który powstał prawdopodobnie we wczesnym pliocenie (rozcina on późnomioceną powierzchnię zrównania Puna/Altiplano, a wczesnoczwartorzędowe dajki wulkaniczne sprzed około 1 miliona lat występują już w jego obrębie). Do formującego się obniżenia nawiązują najwyższe erozyjne, a później akumulacyjne poziomy zachowane na zboczach i w ujściowych odcinkach bocznych dolin. Wraz z postępującym wypiętrzaniem Andów, co prowadziło do aridyzacji klimatu i nasilania się kontrastów klimatycznych, transport poprzeczny osadów spadał, a wzrastała ewapotranspiracja. Dlatego u schyłku pliocenu i we wczesnym plejstocenie obniżenia te mogły być zajęte przez dłuższy czas, prawdopodobnie przez bezodpływowe jezioro, w którym w okresie erupcji wulkanicznych (Mismi) następowała sedymentacja pyłów, a lokalnie dochodziło do wlewania się potoków lawowych do zbiornika (kompleks Hualca Hualca).

Drugim subsystemem była zlewnia cieków należąca do zlewiska Oceanu Spokojnego. W wyniku erozji wstecznej nastąpiło włączenie bezodpływowej kotliny (pierwszy subsystem) wraz z jej całą siecią hydrograficzną do zlewiska Pacyfiku. Erozja wsteczna rozcięła

grzbiet rozgraniczający (koło Pinchollo) w miejscu uwarunkowanym tektonicznie, ponieważ jest to obniżenie będące skrzydłem zrzuconym uskoku o kierunku NNE-SSW, a dodatkowo rozcięcie naśladuje strefę dyslokacyjną o orientacji W-E, na której rozwinęła się cała górna część kanionu. Przeciągnięcie to nastąpiło prawdopodobnie w środkowym plejstocenie i spowodowało w zachodniej części doliny odwrócenie kierunku odpływu (zmiana nachylenia teras) oraz wycięcie w serii limnicznej teras erozyjno-akumulacyjnych. Nawiązujące do tych teras poziomy akumulacyjne zachowane w bocznych dolinach mogą być zbudowane z osadów fluwioglacjalnych, gdyż większość z tych dopływów odprowadza wody z obszarów zlodowaconych w plejstocenie, a nawet współcześnie. Na terasy Rio Colca z bocznych dolin były wsypywane także stożki spływów gruzowych formujące się prawdopodobnie w okresach wilgotniejszych (glacjały), ale głównie w okresach gwałtownych opadów (zjawiska ENSO). Rzeka podcinająca serie limniczne, a także wulkanizm i towarzyszące mu trzęsienia ziemi sprzyjały powstawaniu lokalnych osuwisk, czasem o bardzo dużych rozmiarach (np. Maca), blokujących przepływ i powodujących powstawanie okresowych jezior zaporowych (młodsze serie limniczne z wkładkami gruboklastycznych aluwiów deltowych w częściach dystalnych zbiorników, np. odcinki doliny powyżej Yanque i Maca). Powstawanie tych zbiorników, młody wiek kaptażu, ruchy neotektoniczne kompensujące siłę erozyjną, przeciążenie rzeki koluwiami w „kluczowym” odcinku, bezpośrednio powyżej miejsca kaptażu, są przyczynami tego, że nie nastąpiło odmłodzenie całego profilu podłużnego rzeki.

Również sam kanion modelowany był zarówno przez procesy wulkaniczne, jak i osuwiskowe. Okresowo potoki lawowe powodowały blokowanie odpływu i powstawanie jezior zaporowych, których ślady w postaci osadów limnicznych znajdujemy w rejonie Canco. Z procesami osuwiskowymi związana jest prawdopodobnie charakterystyczna kolistą strukturą stwierdzoną na prawym zboczu kanionu poniżej Tapay (nad ośrodkiem Paradise).

Dalsza analiza zebranych materiałów oraz kontynuacja badań terenowych powinna pozwolić na rozszerzenie i uściślenie wniosków dotyczących etapów ewolucji całego systemu Rio Colca, jak i poszczególnych odcinków.

Wykonanie badań w Peru było sponsorowane w całości przez Akademię Pedagogiczną w Krakowie (J. Kukulak) oraz częściowo przez IGiPZ PAN w Krakowie (T. Kalicki). Autorzy składają za to podziękowanie macierzystym instytucjom.

LITERATURA

- Abbott M.B., Binford M.W. & Kelts K.R., 1997. A 3500 14C yr high-resolution record of water-level changes in Lake Titicaca. Bolivia/Peru, *Quaternary Research*, 47, 169–180.
- Abbott M.B., Wolfe B., Aravena R., Wolfe A.P. & Seltzer G.O., 2000. Holocene hydrological reconstructions from stable isotopes and palaeolimnology, Cordillera Real, Bolivia. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1801–1820.
- Abele G., 1992. Landforms and climate on the western slope of the Andes. *Zeitschrift fuer Geomorphologie Supplement Band – Bd.*, 84, 1–11.
- Baied C. & Wheeler J., 1993. Evolution of high Andean puna ecosystems: Environment, climate, and culture change over the last 12 000 years in the central Andes. *Mountain Research and Development*, 13, 2, 145–156.

- Baker P.A., Seltzer G.O., Fritz S.C., Dunbar R.B., Grove M.J., Tapia P.M., Cross S.L., Rowe H.D. & Broda J.P., 2001. The history of South American tropical precipitation for the past 25 000 years. *Science*, 291, 5504, 640–643.
- Balon J., 1999. Piętrowość środowiska przyrodniczego. [w:] Przeglądowy Atlas Świata, Ameryka Południowa (red. R. Mydel, J. Groch). Fogra, Kraków, 76–78.
- Baucom P.C. & Rigsby C.A., 1999. Climate and lake-level history of the northern Altiplano, Bolivia, as recorded in Holocene sediments of the Rio Desaguadero. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 597–611.
- Beck Jr.M.E., 1998. On the mechanism of crustal block rotations in the central Andes. *Tectonophysics*, 299, 1–3, 75–92.
- Bogowie i ludzie z Huarochiri*, 1985. Wydawnictwo Literackie, Kraków–Wrocław, 1–135.
- Carré M., Bentaleb I., Fontugne M. & Lavallée D., 2005. Strong El Niño events during the early Holocene: Stable isotope evidence from Peruvian sea-shells. *The Holocene*, 15, 42–47.
- Cobb K.M., Charles C.D., Cheng H. & Edwards R.L., 2003. El Niño/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millenium. *Nature*, 424, 271–276.
- Cross S.L., Baker P.A., Seltzer G.O., Fritz S.C. & Dunbar R.B., 2000. A new estimate of the Holocene lowstand level of Lake Titicaca, central Andes, and implications for tropical palaeohydrology. *The Holocene*, 10, 21–32.
- Cross S.L., Baker P.A., Seltzer G.O., Fritz S.C. & Dunbar R.B., 2001. Late Quaternary climate and hydrology of tropical South America inferred from an isotopic and chemical model of Lake Titicaca, Bolivia and Peru. *Quaternary Research*, 56, 1–9.
- Dembicz A., Makowski J., Malinowski A. & Skoczek M., 1979. Słownik terminów geograficznych Ameryki Łacińskiej. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Devries T.J., 1987. A review of geological evidence for ancient El Nino activity in Peru. *Journal of Geophysical Research*, 92, C13, 14,471–14,479.
- Dornbusch U., 2005. Glacier-rock glacier relationships as climatic indicators during the late Quaternary in the Cordillera Ampato, Western Cordillera of southern Peru. *Geological Society Special Publication*, 242, 75–82.
- Eash N.S. & Sandor J.A., 1995. Soil chronosequence and geomorphology in a semi-arid valley in the Andes of southern Peru. *Geoderma*, 65, 59–79.
- Farabaugh R.L. & Rigsby C.A., 2005. Climatic influence on sedimentology and geomorphology of the Rio Ramis valley, Peru. *Journal of Sedimentary Research*, 75, 1, 12–28.
- Fontugne M., Usselman P., Lavallée D., Julien M. & Hatté C., 1999. El Nino variability in the coastal desert of southern Peru during the mid-Holocene. *Quaternary Research*, 52, 171–179.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w Południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 320–326.
- Goodman A.Y., Rodbell D.T., Seltzer G.O. & Mark B.G., 2001. Subdivision of glacial deposits in southeastern Peru based on pedogenetic development and radiometric ages. *Quaternary Research*, 56, 31–50.
- Goy J.L., Machare J., Ortlieb L. & Zazo C., 1992. Quaternary shorelines in southern Peru: a record of global sea-level fluctuations and tectonic uplift in Chala Bay. *Quaternary International*, 15–16, 99–112.

- Hampel A., 2002. The migration history of the Nazca Ridge along the Peruvian active margin: Are-evaluation. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 2, 665–679.
- Holmgren C.A., Betancourt J.L., Rylander K.A., Roque J., Tovar O., Zeballos H., Linares E. & Quade J., 2001. Holocene vegetation history from fossil rodent middens near Arequipa, Peru. *Quaternary Research*, 56, 2, 242–251.
- Hsu J.T., 1992. Quaternary uplift of the Peruvian coast related to the subduction of the Nazca Ridge: 13.5 to 15.6 degrees south latitude. *Quaternary International*, 15–16, 87–97.
- Huaman-Rodrigo D., Chorowicz J., Deffontaines B., Guillaude R. & Rudant J.P., 1993. Cadre structural et risques géologiques étudiés à l'aide de l'imagerie spatiale: La région du Colca (Andes du Sud Pérou). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 164, 6, 807–818.
- Jaillard E. & Soler P., 1996. Cretaceous to Early Paleogene tectonic evolution of the northern Central Andes (0–18°S) and its relations to geodynamics. *Tectonophysics*, 259, 41–53.
- Kalicki T. & Kukulak J., 2007a. Badania geomorfologiczne nad rozwojem doliny i kanionu Colca (Andy Peruwiańskie) w czwartorzędzie [w:] *Polskie badania środowiska przyrodniczo-kulturowego w Ameryce Łacińskiej* (red. Z. Mirek, A. Flakus). Materiały ogólno-polskiej konferencji naukowej, 28–30.05.2007, Kraków, 52–53.
- Kalicki T. & Kukulak J., 2007b. Formowanie sieci rzecznej zachodniego skłonu Andów Peruwiańskich na przykładzie doliny Rio Colca [w:] *Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady* (red. E. Smolska, D. Giritat). UW Warszawa, 245–257.
- Kane R.P., 1999. Rainfall extremes in some selected parts of Central and South America: ENSO and other relationships reexamined. *International Journal of Climatology*, 19, 4, 423–455.
- Kaszowski L., 1992. Altitudinal alteration of the morphological systems in the Rio Checras basin of the Peruvian Andes. *Geographia Polonica*, 60, 25–32.
- Keefer D.K., Moseley M.E. & DeFrance S.D., 2003. A 38 000-year record of floods and debris flows in the Ilo region of southern Peru and its relation to El Niño events and great earthquakes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194, 1–3, 41–77.
- Kissel C., Laj C., Surmont J., Macedo-Sanchez O. & Mitouard P., 1992. South American active margin: Andean deflections and crustal thickening. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 163, 4, 371–380.
- Kubiawicz L., 1975. *Słownik geografii Ameryki*. Wiedza Powszechna, Warszawa, 1–712.
- Lamb S. & Davis P., 2003. Cenozoic climate change as a possible cause for the rise of the Andes. *Nature*, 425, 792–797.
- Lauer W., 1993. Human development and environment in the Andes: a geoecological overview. *Mountain Research and Development*, 13, 2, 157–166.
- Leffler L., Stein S., Mao A., Dixon T., Ellis M.A., Ocola L. & Selwyn Sacks I., 1997. Constraints on present-day shortening rate across the central eastern Andes from GPS data. *Geophysical Research Letters*, 24, 9, 1031–1034.
- Lorenc H., 1999. El Niño [w:] *Nowa encyklopedia powszechna PWN*, Suplement, 7, 808–811.

- Macedo-Sanchez O., Surmont J., Kissel C., Mitouard P. & Laj C., 1992. Late Cainozoic rotation on the Peruvian Western Cordillera and the uplift of the Central Andes. *Tectonophysics*, 205, 65–77.
- Magilligan F.J. & Goldstein P.S., 2001. El Niño floods and culture change: A late Holocene flood history for the Rio Moquegua, southern Peru. *Geology*, 29, 5, 431–434.
- Mapa geológico del cuadrángulo de Chivay (actualizado) 1 : 100 000 (digital). 2001. INGEMMET.
- Megard F., 1984. The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society*, 141, 5, 893–900.
- Mercier J.L., Sébrier M., Lavenu A., Cabrera J., Bellier O., Dumont J.F. & Machare J., 1992. Changes in the tectonics regime above a subduction zone of Andean type: The Andes of Peru and Bolivia during the Pliocene–Pleistocene. *Journal of Geophysical Research*, 97, 11 B8, 945–982.
- Messerli B., Grosjean M., Bonani G., Bürgi A., Geyh M.A., Graf K., Ramseyer K., Romero H., Schotterer U., Schreier H. & Vuille M., 1993. Climate change and natural resource dynamics of the Atacama Altiplano during the last 18 000 years: a preliminary synthesis. *Mountain Research and Development*, 13, 2, 117–127.
- Okołowicz W., 1969. *Klimatologia ogólna*. PWN, Warszawa, 1–221.
- Ollier C., 1987. *Tektonika a formy krajobrazu*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Rein B., Luckge A., Reinhardt L., Sirocko F., Wolf A. & Dullo W.C., 2005. El Niño variability of Peru during the last 20 000 years. *Paleoceanography*, 20, 4.
- Rigsby C.A., Baker P.A. & Aldenderfer M.S., 2003. Fluvial history and human occupation of the Rio Ilave valley, Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 165–185.
- Sandweiss D.H., Maasch K.A., Burger R.L., Richardson III J.B., Rollins H.B. & Clement A., 2001. Variation in Holocene El Niño frequencies: Climate records and cultural consequences in ancient Peru. *Geology*, 29, 7, 603–606.
- Sébrier M., Lavenu A., Fornari M. & Soulas J., 1988. Tectonics and uplift in Central Andes (Peru, Bolivia and Northern Chile) from Eocene to present. *Géodynamique*, 3, 85–106.
- Sébrier M., Mercier J.L., Mégard F., Laubacher G. & Carey E., 1985. Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in central Andes of South Peru. *Tectonics*, 4, 7, 739–780.
- Seltzer G.O., 1990. Recent glacial history and paleoclimate of the Peruvian-Bolivian Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9, 137–152.
- Seltzer G.O., 1992. Late Quaternary glaciation of the Cordillera Real, Bolivia. *Journal of Quaternary Science*, 7, 2, 87–98.
- Seltzer G.O., 1993. Late Quaternary glaciation as a proxy for climate change in the Central Andes. *Mountain Research and Development*, 13, 2, 129–138.
- Seltzer G.O., Baker P., Cross S., Dunbar R. & Fritz S., 1998. High-resolution seismic reflection profiles from Lake Titicaca, Peru-Bolivia: Evidence for Holocene aridity in the tropical Andes. *Geology*, 26, 167–170.
- Seltzer G.O., Rodbell D.T., Baker P.A., Fritz S.C., Tapia P.M., Rowe H.D. & Dunbar R.B., 2002. Early warming of tropical South America at the last glacial-interglacial transition. *Science*, 296, 5573, 1685–1686.

- Słownik geografii świata*. 1977. Wiedza Powszechna, Warszawa, tom I i II.
- Szemiński J. & Ziółkowski M., 2006. *Mity, rytuały i polityka Inków*. PIW, Warszawa.
- Thouret J.-C., Finizola A., Fornari M., Legeley-Padovani A., Suni J. & Frechen M., 2001. Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. *Bulletin of the Geological Society of America*, 113, 12, 1593–1610.
- Tudhope A.W., Chilcot C.P., McCulloch M.T., Cook E.R., Chappell J., Ellam R.M., Lea D.W. & Shimmield G.B., 2001. Variability in the El-Niño Southern Oscillation Through a Glacial-interglacial Cycle. *Science*, 291, 1511–1517.
- Veit H., 1993. Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Norte Chico (northern Chile): an overview. *Mountain Research and Development*, 13, 2, 139–144.
- Wells L.E., 1987. An alluvial record of El Niño events from northern coastal Peru. *Journal of Geophysical Research*, 92, C13, 14463–14470.
- Wells L.E., 1990. Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Peru. *Geology*, 18, 1134–1137.
- Zeilinger G. & Schlunegger F., 2007. Possible flexural accommodation on the eastern edge of the Altiplano in relation to focussed erosion in the Rio La Paz drainage system. *Terra Nova*, 19, 373–380.

Summary

Project “Quaternary evolution of the Colca Canyon (Peruvian Andes) – role of structure, neotectonics and climatic changes” was realised during expedition in 2006. Geomorphological mapping was carried out both in the Colca Valley between Chivay and Madrigal (section of 30 km length) and in Colca Canyon upstream of Canco (10 km section near Cabanaconde and three cross sections) was conducted, and also reconnaissances in valleys of tributaries: Huaruro, Huambo and Andauha/Ayo (Fig. 1).

The Colca River valley between Chivay and Madrigal is tectonically controlled. There are two grabens of V-shape pattern, first one upstream of Chivay striking NNE-SSW, and the second one downstream of Achoma (Achoma–Madrigal), oriented NW-SE, connected by gauge section between Yanque and Achoma which was formed in a tectonic zone. Average slope of the river on this section reaches 16,7‰ (Fig. 2). Three sections with different morphology and processes modelling bottom and sides of the valley can be distinguished in the Colca Valley.

The first section near Chivay is located in the end of “Chivay graben”. Mouths of steep valleys of Colca tributaries from the east and south occur here. These valleys are erosional cuts of the plateau edge on 4800–4900 m a.s.l. (Figs 1, 2 – section 1). Giant debris flows from these valleys, probably caused by rainfalls during El Niño, accumulated high (2–10 m) debris flow tongues on their alluvial fans. Diameter of blocks, transported by them, reaches up to 7 m. Colluvial sediments are cut by the Colca tributaries. However, the power of rivers is too small to transport coarse fraction and only finer sediments are washed out. Deposits of torrential fans cover local gravel alluvia of the Colca River in the valley bottom (Fig. 3). Also, about 3 km downstream of Chivay lacustrine series with some intercalations of coarse alluvial gravels occurs for the first time (Fig. 4). It reflects a periodic accumulation of pra-Colca’s delta deposits into the lake.

The second section Yanque–Achoma is almost similar with river's gauge between two grabens (Figs 1, 2 – section 2). The presence of outcrops in various places of river bed and valley sides of thick (above 200 m) series of lacustrine sediments is very characteristic for this section (Fig. 5). White, usually silty (only fine sandy in lower part) deposits, locally marly ones with horizontal bedding can be macroscopically identified as tuffites. These are often tectonically disturbed; therefore, individual members have different inclination, e.g. at Maca, Lari and Yanqui sites (Fig. 6). These sediments, contrary to the first reach of the valley, have not intercalations of coarse alluvia. For dating of this series the most important outcrop is that located near Achoma at about 3450 m a.s.l., where the lacustrine series is covered with lava flow with hexagonal columns (Figs 5, 7). Contact of these two series (thin lava layer inside lacustrine deposits) suggests that lava flowed into the existing lake. According to geological map (Mapa... 2001), it took place at the turn of the Pliocene and Quaternary (about 1.8 Ma BP), because lacustrine series (Qpl-cvm/tbk) is connected with Mismi eruption and lava flow with the following andesite (Qpl-hh/an1) of the volcanic complex Hualca Hualca. The highest, as datings of lacustrine series shows, erosional level (I-3550 m) of Pliocene, occurs above lacustrine sediments (Figs 5, 8). It consists of horizontally stratified sandy-gravel deposits. The next erosional-accumulation terraces are cut in the lacustrine sediments. Correlation of levels is very complicated, due to their quantity and height, which could have been disturbed by neotectonic movements. It seems likely, however, that two main higher levels (II – 3400 m i III – 3300–3320 m) and some (3–4) lower ones (e.g. IV – 3270–3250 m n.p.m.) could be distinguished along the river bed (Fig. 9). Eash and Sandor (1995) distinguished near Coporaque up to 3350 m a.s.l. 7 levels: present-day flood plain (A1), alluvial terraces (A2 and A3) and higher levels, probably eskers. Surfaces A2–A7 are mostly accumulative levels with thick fill of gravels and sands, for example A4 near Coporaque and Yanque (100 m) or A6 near the mouth of Rio Picomayo (200–250 m). Parts of higher surfaces (A5–A7) are erosional levels (strath terraces) cut in volcanic bedrock, overlain by sediments (thickness below 5 m). The highest surface (high plateau – HP) is part of the Altiplano and covered by sediments of different origin. Sediments of levels vary vertically and laterally. Some areas particularly on level A3, receive much lateral seepage and have poorly drained soils. Alluvial fans and piedmont surfaces occur along the valley site and they grade into levels A4–A5, and erosional piedmont surfaces grade to levels A6–A7. Deposits of rhythmically laminated fine sands and silts are found beneath alluvial and colluvial surfaces from the Rio Colca up to A6 in some areas. Architecture of these sediments is very similar to fluvio-glacial deposits but they could be also slack water deposits.

Andesitic dikes near Achoma within the Colca Valley were dated at 0.2–1.0 Ma BP (Sebrier *et al.* 1985). It indicates major downcutting in the Neogene or Early Quaternary (Eash & Sandor 1995). Two andesitic lava flows overlying alluvia northward of Chivay below the level A6 were K/Ar dated at 172 ka±14 ka BP and 64 ka±14 ka BP. The younger flow forms a surface at about the same elevation as level A5, and appears to be the same flow extending eastward of Coporaque. Level A4 is cut into these andesitic lava flows. Organic matter in the buried A horizon (1.12–1.23 m depth) on level A2 was dated at 1610±70 BP (Eash & Sandor 1995).

Landslides play very important role in the third section Maca–Madrigal, located in the second graben (Figs 1, 2 – section 3; Fig. 10). The biggest landslide, probably caused by the

above-mentioned fault line, is situated on left valley side at Maca (Fig. 11). Landslide scar has semicircular shape and radius about 2 km. It agrees on a long distance with face scarp of a normal fault, which is relatively insignificantly cut by straight ravines. Landslide movements include also lacustrine sediments in the valley bottom, which resemble those of the previous section. However, on a large area of landslide this fine series have been washed out by the river. Therefore, blocks of stone, which build valley side above Maca, occur in the landslide and in the river bed. Common secondary edges, cracks, terraces, small lakes on landslide tongue prove its activity in the lower part, probably mainly during rainy season. Relief of the landslide is stable in the upper part, because old landslide lake filling is there preserved at Maca settlement. These white, fine sediments (diatomites?) are more than 2 m thick and have well-developed soil in the top. Furthermore, on the other side of the Colca River at Lari and Madrigal, large landslides are developed but only on the lacustrine sediments in the valley bottom (Fig. 12). Their landslide tongues reach also to the bed, so that river pattern is determined by them. Water wash out fine fraction of colluvia though coarse one in the river bed block the bottom erosion. Landslides also prevented origin of lower erosional-accumulation terraces cut in lacustrine series or completely destroyed them (Fig. 13). The top of this series near Madrigal reaches about 3220 m and is covered with colluvia and gravels. Above lacustrine deposits some erosional-accumulation terraces are cut in colluvia. However, inclination of all these levels is opposite to slope of present-day valley. It indicates eastward direction of older outwash and fluvial transport.

The Canyon Colca (Figs 1, 2; sections 4–6) developed on tectonic lines and consists of two straight reaches (E-W and NE-SW). Average slope of the river upstream of Canco is 42.5‰ (Fig. 1B).

On two cross-sections near Cabanaconde–Tapay on left side of the canyon, four levels of coarse gravels have been found. The highest one occurs about 150 m above the river (Fig. 14). Better preserved levels of older valley bottoms occur only in tributary valleys (Fig. 15), which in mouth part are changing into systems of steep cut-and-fill alluvial fans. They are built of gravel-sandy deposits with single angular and subangular blocks, which reflect short transport and delivery of material from nearby slopes rising some thousands meters above the valley bottom. Selective weathering and mass movements lasting enough long caused origin of well-developed earth pyramids. Alluvia of the Colca terrace on right bank near bridge at Tapay consist of intercalations of block layers and coarse gravel layers. This type of sedimentation may suggest high, periodic discharge differentiation and the coarsest fraction could have been transported only by debrisflows during El Niño climatic oscillation. A very interesting landform was discovered on the right side of the canyon above touristic village Paradise (Fig. 16). It is a flat part within canyon slope with circular depression filled with fine sediments of unknown thickness (Fig. 14). Type of deposits suggests existence of a lake in this depression and the whole structure might have landslide origin.

Lacustrine sediments were discovered on the left side of the canyon at Canco. These are about 40 m thick and occur about 200 m above the river (Figs 17, 18). Origin of this relatively short-lasting lake could be connected with damming outflow by lava flow, which can be seen on the right side of the canyon (Fig. 19). After cutting through this barrier, the river incision proceeded in two main stages, the traces of which are level Canco (100 m above the river) and terraces (up to 20 m) along the recent Colca River.

Present-day valley of the Colca River is a result of capture and joining of two independent subsystems (Fig. 20). The first one was endorheic subsystem of intermountain grabens from the Early Pliocene, filled with a lake in the end of the Pliocene and the beginning of the Pleistocene. During volcanic eruptions ashes were deposited and lava flows locally reached the lake. The second subsystem was a drainage basin of a river, which flowed to the Pacific Ocean. As a consequence of headward erosion, endorheic grabens (1. subsystem) with the whole drainage pattern were included in the Pacific drainage basin. The range near Pinchollo was erosionally cut in a tectonically controlled place. Firstly, it is depression of a downthrow block of a fault oriented NNE-SSW and moreover, the cut is connected with a fracture line striking W-E, on which the whole upper section of the canyon developed. The capture took place probably in the middle Pleistocene and caused incision and formation of erosional-accumulation terraces cut in lacustrine series and also reorientation of outflow in the western part of the valley (change of direction of terrace slope). However, until now lack of changes (rejuvenation) of longitudinal profile of the Colca Valley is observed. It could be caused by young age of the capture, neotectonic movements, and also river overloading by colluvia directly upstream of the capture place.

The canyon itself was also formed by volcanic and landslide processes. Lava flows periodically dammed river outflow producing a lake, the traces of which like lacustrine sediments occur near Canco. A characteristic semicircular structure occurring on the right side of the canyon near Tapay (above touristic village Paradise) could be probably associated with landslide processes as well.

AKTYWNOŚĆ USKOKÓW W DOLINIE RIO COLCA W REJONIE PINCHOLLO–MACA, ANDY ŚRODKOWE, POŁUDNIOWE PERU

Fault activity in the Rio Colca Valley in the Pinchollo–Maca Area,
Central Andes, Southern Peru

Jerzy ŻABA & Zbigniew MAŁOLEPSZY

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Podstawowej;

ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec;

e-mail: jzaba@interia.pl, malol@us.edu.pl

Treść: Praca prezentuje wyniki badań strukturalnych sieci uskoków i spękań w utworach mezozoiku i czwartorzędu przeprowadzonych w Dolinie Rio Colca w okolicy Pinchollo–Lari–Maca (Andy Peruwiańskie). Z przeprowadzonych badań wynika, że Dolina Rio Colca ma założenia tektoniczne i wykorzystuje niemal wszystkie występujące na analizowanym terenie zespoły nieciągłości, ze szczególnym uwzględnieniem uskoków o przebiegu WNW-ESE, NE-SW oraz rzadziej – W-E. Większość stwierdzonych uskoków przemieszcza zarówno utwory mezozoiczne i mioceńskie jak i czwartorzędowe, co świadczy o ich współczesnej aktywności. W pokrywających dużą część terenu czwartorzędowych koluwiach zaznaczają się kierunki niemal wszystkich uskoków stwierdzonych w utworach mezozoicznych. Współczesna aktywność uskoków spowodowała utworzenie się na powierzchni terenu wyraźnych pierwotnych skarp uskokowych, które nie uległy dotychczas procesom denudacyjnym.

Słowa kluczowe: analiza strukturalna, uskoki i spękania, współczesne deformacje tektoniczne, mezozoik, czwartorzęd, Dolina Rio Colca, Andy peruwiańskie

Abstract: Fault/fracture network within Mesozoic and Quaternary formations has been studied in Rio Colca Valley in Pinchollo – Lari – Maca area (Peruvian Andes). The results show structural framework of the Rio Colca Valley based on nearly all tectonic discontinuities observed in the area; mostly on WNW-ESE and NE-SW faults, and on few W-E faults. Displacements of Mesozoic, Miocene and Quaternary formations observed on nearly all faults in the study area provide evidence for recent tectonic activity. Most of the faults in the Mesozoic bedrock continue in Quaternary colluvial deposits. Recent faulting led to development of a system of distinct, primary scarps and land cracks on the surface, which have not been eroded yet.

Key words: structural analysis, faults and fractures, recent tectonic deformations, Mesozoic, Quaternary, Rio Colca Valley, Peruvian Andes

WSTĘP

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań strukturalno-tektonicznych przeprowadzonych w Dolinie Rio Colca w ramach Wyprawy Naukowej Peru 2006. Wyprawa została zorganizowana – jako już czwarta z kolei – przez pracowników Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Andrzeja Paulo, we współpracy z Universidad Nacional San Augustin w Arequipie oraz Sociedad Geológica del Perú w Limie. Wyniki badań uzyskane podczas wcześniejszych wypraw do Peru zostały upowszechnione między innymi w pracach Paulo i Gałasia (2005), Gałasia i Paulo (2005) oraz Krzaka (2005). Głównym celem obecnej wyprawy były badania wulkanologiczne, tektoniczne, geomorfologiczne i geoturystyczne, ściśle powiązane z inicjatywą przygotowania dla tego obszaru dokumentacji projektowej przyszłego Parku Narodowego Kanion Colca. Kanion Colca, o długości 120 km i głębokości ponad 3000 m, przecina Kordylierę Zachodnią Andów w południowym Peru. Jest on powszechnie uważany za najgłębszy kanion świata.

W ramach badań strukturalno-tektonicznych realizowano temat dotyczący pozycji strukturalnej Kanionu Rio Colca. Przeprowadzone prace miały charakter rekonesansowy (były bowiem prowadzone po raz pierwszy); objęły Kanion Colca w rejonach Cabanaconde i Huambo–Canco oraz Dolinę Rio Colca (powyżej kanionu) na odcinku od Chivay do Pinchollo. Głównym celem tych badań było poznanie strukturalnych założeń rozwoju Kanionu Colca, a także określenie relacji pomiędzy budową i aktywnością tektoniczną tego obszaru, a procesami wulkanicznymi i wynikającymi z nich zagrożeniami środowiska (erupcje wulkanów, przemieszczenia i deformacje gruntu związane z aktywnością uskoków, trzęsienia ziemi, osuwiska, lawiny błotne itp.; por. m.in. Sébrier *et al.* 1985, Dorbath *et al.* 1991, Sébrier & Soler 1991, Huamán *et al.* 1993).

W pracy zaprezentowano wstępne wyniki badań stanowiących próbę określenia przebiegu, charakteru i następstwa różnowiekowych uskoków w rejonie Doliny Rio Colca, w okolicach miejscowości Maca, Lari, Pinchollo i Madrigal. Na tym obszarze w obrębie czwartorzędowych osadów koluwalnych zaznaczają się też przejawy współczesnego uskokowania. Są one reprezentowane przez liczne zespoły synchronicznie bądź wielofazowo kształtujących się uskoków (przeważnie normalnych), tworzących częstokroć wyraźne skarpy i rowy tektoniczne doskonale widoczne w morfologii terenu. Formy te powstały tam między innymi wskutek trzęsień ziemi, które niedawno nawiedziły te okolice (w latach 1991, 1992 i 1998). W lipcu 1991 roku wystąpiło trzęsienie ziemi o sile 5,6 stopni w skali Richtera, które zniszczyło miejscowość Maca. Wstrząsy te miały ścisły związek z aktywnością pobliskiego (położonego na południe od omawianego terenu) wulkanu Sabancaya (patrz m.in. Guillande i Salas 1995, Bulmer *et al.* 1999, Antayhua *et al.* 2001, 2002). Stworzyło to niepowtarzalną okazję do porównania różnych cech tych nowoutworzonych uskoków z uskokami występującymi w starszym, mezozoicznym podłożu.

Należy zaznaczyć, iż bezpośrednie terenowe badania strukturalne na omawianym obszarze nigdy wcześniej nie były prowadzone.

OBSZAR BADAŃ

Prace terenowe przeprowadzono w środkowym odcinku rzeki Rio Colca w rejonie miejscowości Pinchollo–Maca (Fig. 1). W skali regionalnej obszar badań znajduje się w Kordylierze Zachodniej w Andach Środkowych (Fig. 2). Administracyjnie przynależy on do prowincji

Arequipa (Garayar 2004). Badany teren leży pomiędzy masywami wulkanów Mismi (5597 m n.p.m.) na północy i Hualca Hualca (6025 m n.p.m.) na południu. Dno Doliny Rio Colca na tym obszarze występuje na wysokości 3100–3220 m n.p.m. i przebiega ESE-WNW.

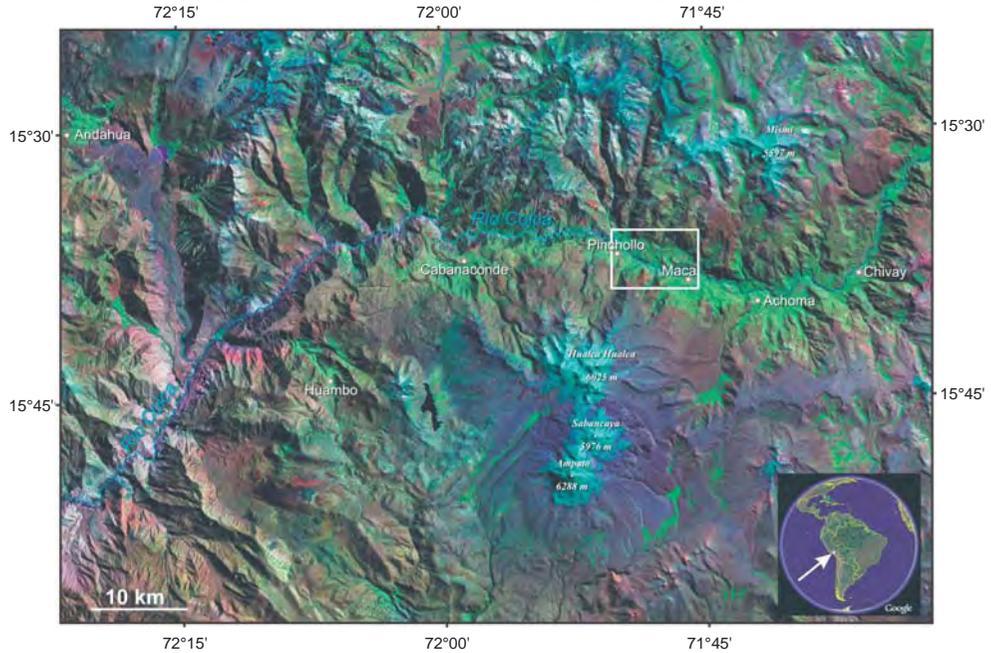


Fig. 1. Mapa lokalizacji obszaru badań w Dolinie Rio Colca, Andy Środkowe, południowe Peru (Landsat 7)

Fig. 1. Location map of study area in Rio Colca Valley, Central Andes, Southern Peru (Landsat 8)

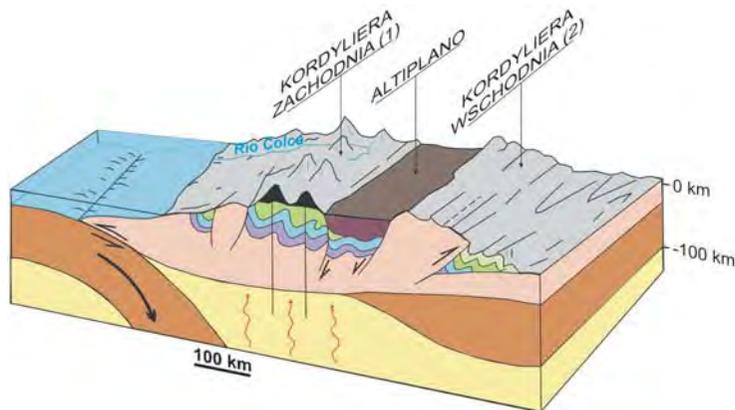


Fig. 2. Szkic budowy geologicznej Andów Środkowych w strefie subdukcji, południowe Peru (wg Mattauer 1989, zmienione). 1 – Zachodnia Kordyljera, 2 – Wschodnia Kordyljera

Fig. 2. Geological sketch of subduction zone in the Central Andes, Southern Peru (after Mattauer 1989, modified). 1 – Western Cordillera, 2 – Eastern Cordillera

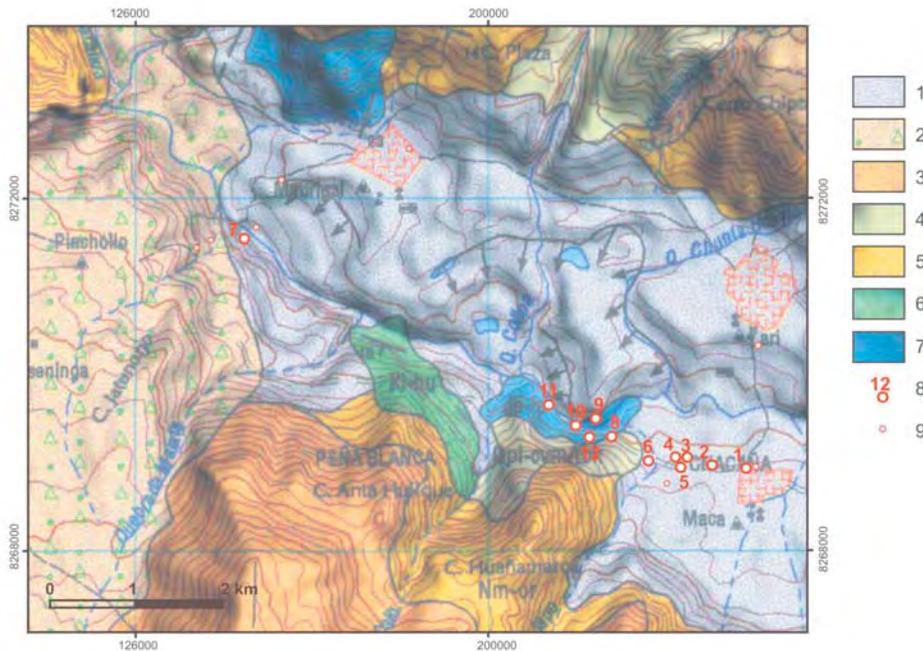


Fig. 3. Mapa geologiczna obszaru badań (wg Klinck & Palacios 1985, zmienione). 1 – osady aluwialne i koluwialne (czwartorzęd – holocen), 2 – koluwia (czwartorzęd), 3 – lawy andezytowe (czwartorzęd–plejstocen), 4 – tufy (neogen), 5 – tufy z brekcjami (neogen – miocen), 6 – piaskowce kwarcowe (kreda dolna), 7 – piaskowce kwarcowe z przeławieniami łupków mułowcowych (jura górna), 8 – główne punkty obserwacyjne – domeny, 9 – pozostałe punkty obserwacyjne; odwzorowanie mapy: UTM strefa-19, półkula południowa

Fig. 3. Geologic map of the study area (after Klinck & Palacios 1985, modified). 1 – alluvial and colluvial deposit (Quaternary – Holocene), 2 – colluvial deposit (Quaternary), 3 – andesitic lava (Quaternary – Pleistocene), 4 – tuff (Neogene), 5 – tuff with breccias (Neogene – Miocene), 6 – quartzitic sandstone (Lower Cretaceous), 7 – quartzitic sandstone intercalated by mudstone shale (Upper Jurassic), 8 – locations of major observation spots, 9 – minor observation spots; map projection UTM zone-19, Southern Hemisphere

Utwory koluwialne pokrywają większą część obszaru zazębiając się facjalnie z aluwiami w dnie doliny (Fig. 3). Podstawowym materiałem zalegającym na stokach i w dnie doliny są okruchy skał wulkanicznych powstałych w neogenie w wyniku działalności okolicznych wulkanów.

W nielicznych miejscach w korycie rzeki i na południowych stokach doliny odsłaniają się skały podłoża mezozoicznego (Fig. 4) wykształcone jako żelaziste piaskowce kwarcowe z przeławieniami czarnych łupków mułowcowych obfitujących w detrytus roślinny. Wiek tych skał określa się na późną jurę i wczesną kredę (Klinck & Palacios 1985). W centralnej części obszaru badań odsłania się kontakt skał mezozoicznych z nadległymi neogeńskimi białymi tufami (Fig. 5) o miąższości dochodzącej do 200 m (obserwowana w odsłonięciu).



Fig. 4. Dolina Rio Colca w rejonie Maca–Lari, widok w kierunku zachodnim. W dnie doliny odsłaniają się utwory jurajskie reprezentowane przez piaskowce kwarcowe i kwarcyty

Fig. 4. Rio Colca Valley in Maca–Lari area, view to the West. Jurassic quartzitic sandstone outcrops in the bottom of the valley



Fig. 5. Kontakt neogeńskich tufów z jurajskimi piaskowcami kwarcytowymi i łupkami mułowcowymi poniżej tunelu drogowego w Maca

Fig. 5. Contact of Neogene tuff with Jurassic quartzitic sandstone and siltstone shales at road tunnel in Maca

METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Prace terenowe, których wyniki omówiono w niniejszym artykule, przeprowadzono w obrębie dwunastu domen badawczych zlokalizowanych w większości przy pomocy GPS. Badaniami objęto: czwartorzędowe osady koluwalne, mioceńskie wulkanoklastyki reprezentowane przeważnie przez tufy oraz mezozoiczne utwory klastyczne reprezentowane głównie przez górnourajskie, a lokalnie kredowe piaskowce kwarcowe, kwarcyty oraz łożupki i łupki mułowcowe. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych jedynie w obrębie utworów czwartorzędowych i mezozoicznych.

Czwartorzędowe osady koluwalne tworzą rozległe pokrywy o miąższości dochodzącej zazwyczaj do kilkudziesięciu metrów, a lokalnie przekraczającej nawet 100 m. Szczególnie duży obszar zajmują one we wschodniej części analizowanego terenu w okolicach miejscowości Maca. W ich obrębie zlokalizowano sześć domen badawczych. Natomiast utwory mezozoiczne tworzą liczne odsłonięcia w zachodniej części omawianego obszaru. Szczegółowe badania przeprowadzono tam w sześciu domenach zlokalizowanych zazwyczaj na stokach Doliny Rio Colca, a także w jej dnie na wysokościach wahających się przeważnie w granicach 3000–3400 m n.p.m.

W obrębie wytypowanych domen badawczych przeprowadzono inwentaryzację występujących tam form tektonicznych, reprezentowanych głównie przez uskoki (wraz z towarzyszącymi im tektoglifami), spękania (wraz z towarzyszącymi im strukturami spękaniovymi) oraz fałdy (przeważnie reprezentowane przez tektonicznie zaburzone powierzchnie warstw w utworach mezozoicznych). Podstawę badań stanowiła szczegółowa analiza strukturalna wcześniej wyróżnionych form tektonicznych, prowadzona według ogólnie przyjętych zasad (m.in. Turner & Weiss 1963, Ramsay 1967, Whitten 1969, Hobbs 1971, Teisseyre 1971, Jaroszewski 1972, 1976, Ragan 1973, Vialon *et al.* 1976, Ramsay & Huber 1983, 1987, Nicolas 1987, Marshak & Mitra 1988, Price & Cosgrove 1988, Groshong 1999, Żaba 1999, Ramsay & Lisle 2000).

Stwierdzone formy poddano szczegółowej analizie strukturalnej w celu określenia ich cech: geometrycznych (analiza geometryczna), czyli morfologii, przestrzennej orientacji i wzajemnych relacji wiekowych (superpozycja); kinematycznych (analiza kinematyczna), czyli kierunków i zwrotu względnych przemieszczeń oraz charakteru odkształceń (kierunki skracania i poszerzania); dynamicznych (analiza dynamiczna), czyli kierunków nacisków tektonicznych oraz układów pól naprężeń. W niniejszej pracy, prezentującej tylko wstępne wyniki badań, nie przedstawiono efektów analizy dynamicznej i częściowo też kinematycznej (w zakresie analizy odkształceń). W ramach prac terenowych wykonano ponad 1000 fotografii oraz około 100 szkiców dokumentacyjnych.

Przeprowadzone badania w dużej mierze opierały się na analizie orientacji różnych drobnych form deformacyjnych. Pomiarów orientacji struktur dokonywano dwuosiowym kompasem geologicznym (Freiberg), a uzyskane dane zestawiono w formie wykresów i diagramów, głównie statystycznych. Aby ułatwić porównanie przebiegu różnych uskoków i spękań ciosowych najczęściej stosowano diagramy rozetowe („róże spękań i uskoków”) prezentujące linie biegu tych struktur. Powierzchnie warstw w utworach mezozoicznych oraz część uskoków przedstawiono też na diagramach strukturalnych w projekcji równopowierzchniowej Lamberta–Schmidta (na górnej półkuli). Analiza superpozycji struktur pozwoliła w kilku przypadkach na określenie względnego następstwa (sekwencji) uskoków, a tym samym na wydzielenie etapów ich ewolucji.

USKOKI W OSADACH CZWARTORZĘDOWYCH

Szczegółową analizę strukturalną uskoków i towarzyszących im spękań ciosowych, występujących w czwartorzędowych koluwiach, przeprowadzono w sześciu domenach badawczych (zaznaczonych na mapach jako punkty) zlokalizowanych we wschodniej części analizowanego obszaru, w okolicach miejscowości Maca (Fig. 6, 7).

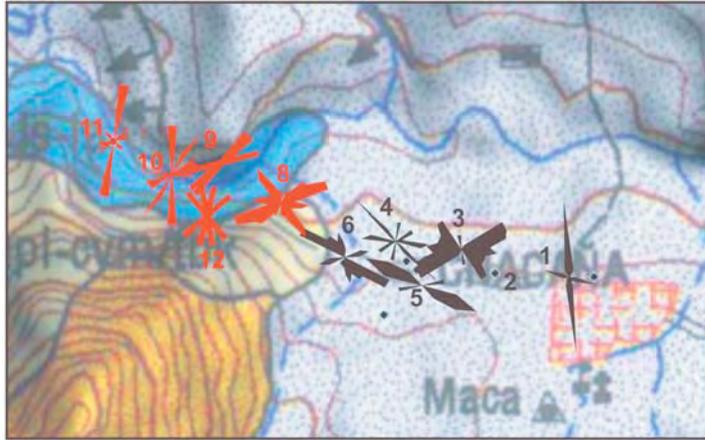


Fig. 6. Lateral variability of the course of faults in Quaternary colluvial deposits (black diagrams) and in Upper Jurassic formations (red diagrams) in the Maca–Lari area; numbers indicate domain locations

Fig. 6. Lateral variability of fault orientation in Quaternary colluvial deposits (black) and Upper Jurassic formation (red) in Maca – Lari area; locations numbered

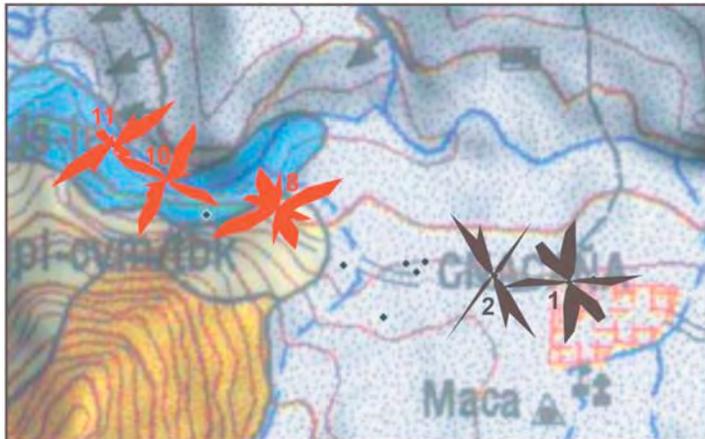


Fig. 7. Lateral variability of joint orientations in Quaternary colluvial deposits (black diagrams) and in Upper Jurassic formations (red diagrams) in the Maca–Lari area; numbers indicate domain locations

Fig. 7. Lateral variability of joint orientation in Quaternary colluvial deposits (black) and Upper Jurassic formation (red) in Maca – Lari area; locations numbered

W **domenie 1** (Fig. 8) zdecydowana większość uskoków (o koncentracji pomiarów powyżej 50%) wykazuje przebieg zbliżony do południkowego (N05°W). Są to – bez wyjątku – strome uskoki normalne tworzące wyraźne, pierwotne skarpy uskokowe doskonale zaznaczające się w morfologii. Zgodnie z tym kierunkiem wyjątkowo często przebiegają osie – również zaznaczających się w morfologii – rowów tektonicznych (Fig. 9). Skośnie do powyższego kierunku (N75°W) przebiegają mniej liczne (ok. 17%) uskoki normalne, również zaznaczające się w morfologii w formie wyraźnych krawędzi terenowych. Z analizy wzajemnej superpozycji powyższych uskoków wynika, iż tworzenie się tych ostatnich poprzedzało w czasie rozwieranie się subpołudnikowych rowów tektonicznych, które kształtowały się najprawdopodobniej w warunkach lewoskrętnej transtensji (Fig. 9). Procesom tym towarzyszył rozwój przesuwczych dupleksów ekstensyjnych oraz niskokątowych, lewoskrętnych ścięć Riedla o orientacji NW-SE (N40°W). Orientacja tych ścięć, inicjujących w wielu miejscach rozwój ekstensyjnych dupleksów, znajduje doskonałe odbicie w statystycznym obrazie kierunków spękań na tym obszarze (Fig. 8). Struktury te tworzą wyraźne maksimum koncentracji pomiarów o wartości 11%. Orientacja pozostałych kierunków spękań wskazuje, iż bądź naśladują one przebieg subpołudnikowych rowów tektonicznych (Az. 0°, koncentracja pomiarów 14%), bądź są względem tych rowów prostopadłe (N90°W, 16%). Oba powyższe zespoły spękań tworzą wspólnie cios ortogonalny.

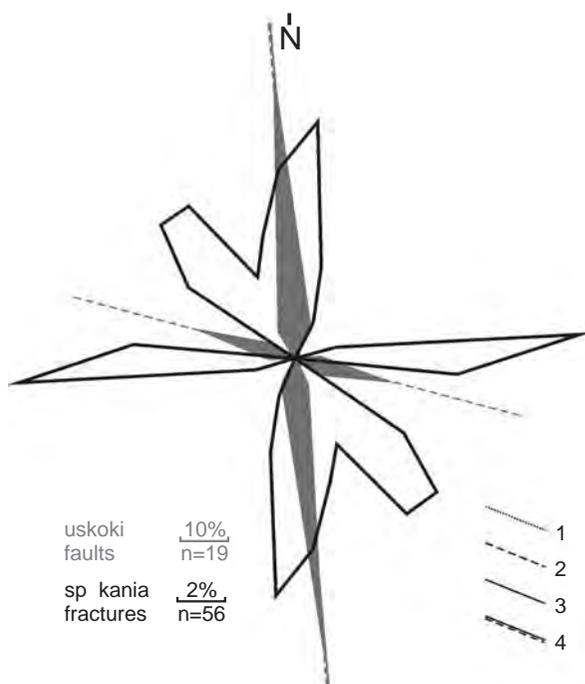


Fig. 8. Przebieg uskoków i spękań w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 1).
1 – uskok zrzutowy, 2 – uskok zrzutowo-przesuwczy, 3 – uskok przesuwczy, 4 – rów tektoniczny

Fig. 8. Directions of faults and fractures in Quaternary colluvial deposit in Maca area (location 1).
1 – dip-slip fault, 2 – oblique-slip fault, 3 – strike-slip fault, 4 – graben

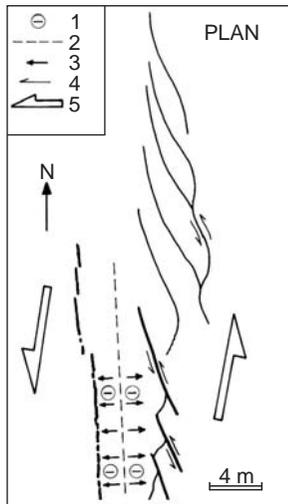


Fig. 9. Rozwój współczesnych rowów tektonicznych (w warunkach lewoskrętnej transtensji) w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 1). 1 – obniżenie terenu w strefie rowu, 2 – oś rowu, 3 – kierunek poszerzania rowu, 4 – zwrot względnych przemieszczeń zgodny z niskokątowymi ścięciami Riedla (R) tworzącymi miejscami ekstensyjne dupleksy, 5 – kierunek oraz zwrot transtensji

Fig. 9. Development of recent grabens (sinistral transtension regime) in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 1). 1 – land surface depression in the graben area, 2 – graben axis, 3 – spreading direction of the graben, 4 – sense of relative displacement conformable with low-angle Riedel shears (R), locally creating extensional duplexes, 5 – direction and sense of transtension

Analizę struktur nieciągłych w **domenie 2** przeprowadzono w oparciu tylko o ścięcia, które tam dominują. Stwierdzone nieciągłości mają charakter stromo nachylonych ścięć rozwijających się w warunkach subhoryzontalnej ekstensji. Większość tych ścięć tworzy systemy złożone z dwu komplementarnych zespołów mezouskoków o charakterze normalno-zrzutowym, o czym świadczy asymetria zarówno tektoglifów, jak też sigmoidalnych, ekstensyjnych szczelin.

Zespoły te przecinają się pod kątem ostrym, przy czym dwusieczna kąta ostrego zawsze wykazuje subwertykalne ustawienie. Wskazuje to, iż omawiane ścięcia rozwijały się w reżimie ekstensyjnym (normalnym).

Róża spękań z tego obszaru (Fig. 10) wykazuje trzy podstawowe kierunki o azymutach: N35°W, N15°W i N35°E oraz jeden znacznie słabiej reprezentowany N85°E.

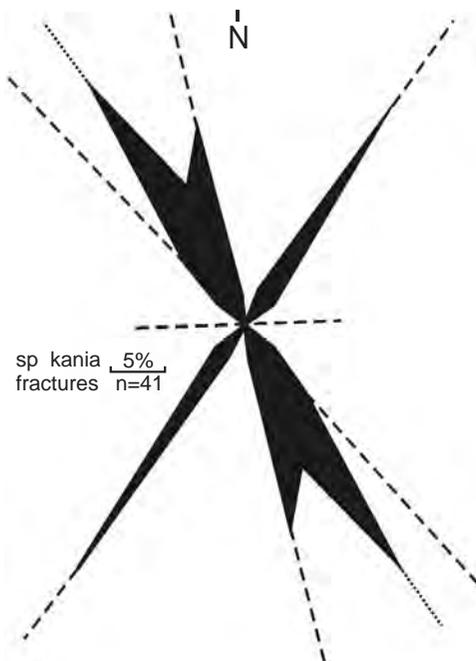


Fig. 10. Orientacja spękań w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 2)

Fig. 10. Orientation of fractures in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 2)

Cechy spękań wchodzących w skład wszystkich zespołów wskazują, iż tworzyły się one w warunkach ekstensyjnych. Zgodnie z nieciągłościami o azymucie $N35^{\circ}W$ w morfologii tego obszaru zaznaczają się doskonale widoczne, pierwotne skarpy uskokowe.

W **domenie 3** stwierdzono skomplikowaną, wielofazowo tworzącą się sieć stromych lub wręcz pionowych uskoków, z których wiele zaznacza się w morfologii wyjątkowo okazałymi krawędziami terenowymi o wysokości dochodzącej nawet do kilku metrów. Krawędzie te wykazują najczęściej przebieg NE-SW ($N65^{\circ}E$, por. Fig. 11). Związane są one z aktywnością uskoków normalnych (ich skrzydła są zrzucone ku NW), często tworzących w morfologii terenu wielostopniowe struktury schodowe. Zgodnie z tym kierunkiem powszechnie rozwijają się też rowy tektoniczne (również doskonale widoczne w morfologii terenu). Równowierkowe z powyższymi rowy tektoniczne, podkreślone krawędziami terenowymi, są również zorientowane WNW-ESE ($N60^{\circ}W$). Omawiane struktury należą w tym rejonie do najstarszych, gdyż są przecinane i przemieszczane przez kilka generacji młodszych uskoków występujących również we wzajemnej superpozycji. Uskoki drugiej generacji w domenie 3 charakteryzują się przebiegiem niemalże równoleżnikowym ($N85^{\circ}W$, Fig. 11). Są to uskoki prawoprzesuwcze, którym w morfologii terenu również towarzyszą pierwotne skarpy uskokowe. Uskoki trzeciej generacji, o przebiegu NW-SE ($N40^{\circ}W$), wykazują charakter lewo-przesuwczy; gdzieś tam przemieszczają one wcześniej powstałe skarpy uskokowe. Do najmłodszych należą, rzadziej spotykane, lewo-przesuwcze uskoki generacji czwartej wyraźnie przemieszczające wszystkie wcześniej powstałe struktury. Odznaczają się one orientacją NNE-SSW ($N30^{\circ}E$). Prawdopodobnie synchronicznie z nimi tworzyły się też uskoki o przebiegu NNW-SSE ($N10^{\circ}W$), również lewo-przesuwcze.

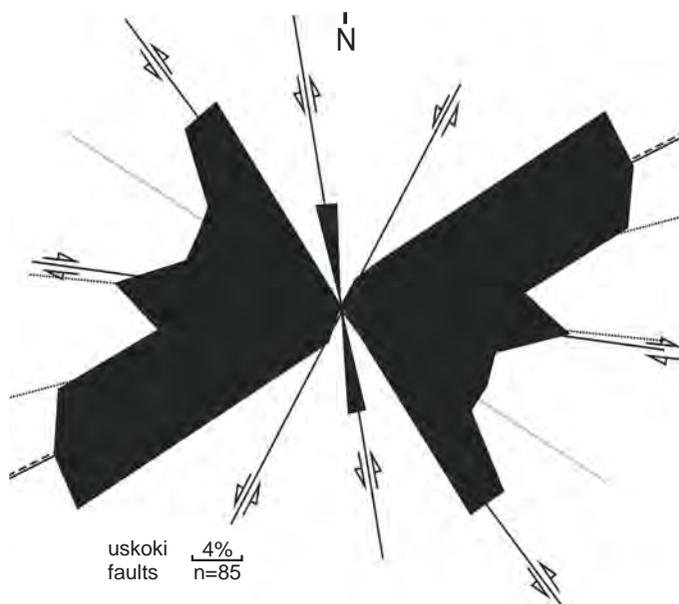


Fig. 11. Przebieg uskoków w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 3)

Fig. 11. Orientation of faults in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 3)

Sieć uskoków w **domenie 4** wykazuje wiele podobieństw do sieci poprzedniej (Fig. 12). Uskoki tworzą tu cztery wyraźne zespoły o azymutach kolejno: N10°E, N60°E, N85°W

i N45°W. Pierwszy z nich należy do najstarszych na omawianym obszarze (kierunek ten nie był reprezentowany na obszarze poprzednim; por. Fig. 11), gdyż jest przecinany i przemieszczany przez wszystkie pozostałe uskoki, które wykazują – bez wyjątku – charakter normalny. Zgodnie z nimi powszechnie rozwinęły się (synchronicznie?) rowy tektoniczne, doskonale zaznaczające się w morfologii terenu.

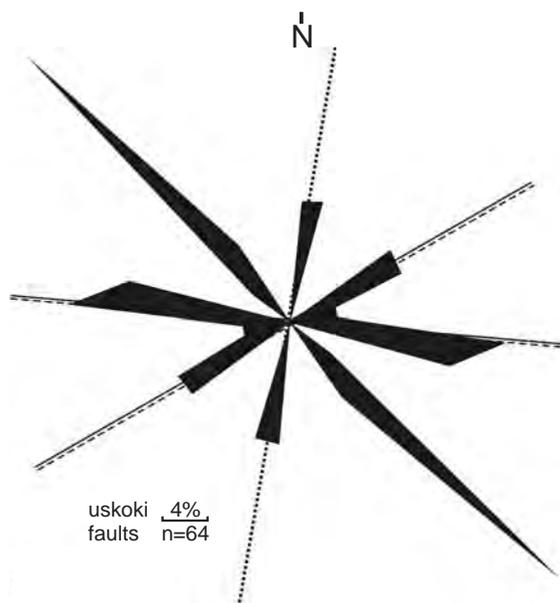


Fig. 12. Przebieg uskoków w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 4)

Fig. 12. Orientation of faults in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 4)

W **domenie 5** uskoki tworzą wyjątkowo czytelny obraz (Fig. 13). Zaznaczają się tam dwa przecinające się pod kątem ostrym zespoły normalnych uskoków (Fig. 14), z których jeden (młodszy zespół o przebiegu WSW-ESE, N80°E) przecina i nakłada się na drugi (starszy zespół o orientacji WNW-ESE, N65°W). Zgodnie z tymi kierunkami doszło do rozwoju, doskonale zaznaczających się w morfologii terenu, rowów tektonicznych (Fig. 15). Rowy starszej generacji są tu spotykane trzy razy częściej niż młodsze (Fig. 13), odznaczające się przemieszczeniami o niewielkim udziale składowej lewoprzesuwczej.

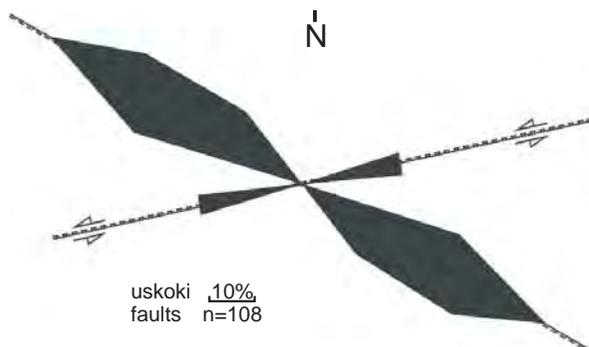


Fig. 13. Przebieg uskoków w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 5)

Fig. 13. Orientation of faults in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 5)



Fig. 14. Dwa różnowiekowe zespoły uskokuw normalnych przecinające się pod kątem ostrym, w czwartorzędowych koluwiach w Maca (domena 5)

Fig. 14. Two normal fault sets of different age, intersecting each other at acute angle in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 5)



Fig. 15. Rów tektoniczny rozwinięty w czwartorzędowych koluwiach w Maca (domena 5)

Fig. 15. Graben in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 5)

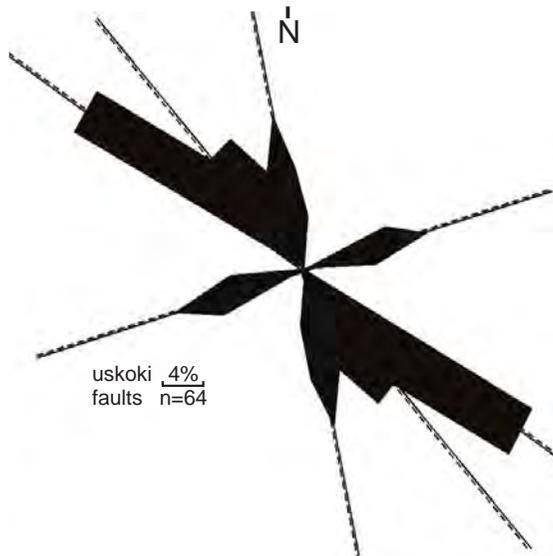


Fig. 16. Przebieg uskoków w czwartorzędowych koluwiach w rejonie Maca (domena 6)

Fig. 16. Orientation of faults in Quaternary colluvial deposits in Maca area (location 6)

Sieć uskoków w **domenie 6** (Fig. 16) wykazuje uderzające podobieństwo do obrazu otrzymanego w domenie 5. Również i tu zaznaczają się dwa różnowiekowe zespoły uskoków normalnych podkreślonych przez wyraźne skarpy uskokowe (Fig. 17), tworzące często rowy (Fig. 18). Starszy zespół jest zorientowany WNW-ESE ($N60^{\circ}W$), natomiast młodszy – WSW-ESE ($N75^{\circ}E$). Do struktur młodszych, rozwijających się synchronicznie z poprzednimi, należą też – rzadziej spotykane – rowy o przebiegu NNW-SSE ($N15^{\circ}W$) oraz NW-SE ($N45^{\circ}W$). Również i one zaznaczają się bardzo wyraźnie w morfologii terenu w postaci pierwotnych skarpy uskokowych.



Fig. 17. Skarpy uskokowe wykształcone w czwartorzędowych koluwiach w Maca (domena 6)

Fig. 17. Fault scarps developed in Quaternary colluvial deposit in Maca area (location 6)



Fig. 18. Rowy tektoniczne i skarpy uskokowe zaznaczające się w osadach czwartorzędowych w rejonie Maca (domena 6)

Fig. 18. Grabens and fault scarps observed in Quaternary deposits in Maca area (location 6)

USKOKI W UTWORACH MEZOZOICZNYCH

Szczegółową analizę strukturalną uskoków i współwystępujących z nimi spękań ciosowych, występujących w utworach mezozoicznych, przeprowadzono w sześciu domenach badawczych (zaznaczonych na mapach jako punkty), zlokalizowanych w zachodniej części analizowanego terenu (Fig. 6, 7), w okolicach miejscowości Pinchollo (domena 7), Maca (domeny 8, 10, 12) i Lari (domeny 9, 11). Badania przeprowadzono w obrębie utworów kredy (domena 7) oraz górnej jury (domeny 8–12).

Utwory mezozoiczne uległy na badanym terenie słabym deformacjom fałdowym (Fig. 19). Są one pochylone położo w różnych kierunkach (Fig. 20), jednak najczęściej (ponad 20% pomiarów) zapadają ku NNW pod kątem około 30° (maksimum: 160/30).

Punkty projekcyjne warstwowania tworzą na diagramie wyraźny pas świadczący o występowaniu na tym obszarze makrostruktury fałdowej (Fig. 20). Z interpretacji diagramu wynika, że oś tego makrofałdu odznacza się niemal równoleżnikowym przebiegiem; jest ona nachylona ku wschodowi pod kątem około 10° (95/10).

W utworach mezozoicznych zaznacza się skomplikowana, tworząca się wielofazowo sieć uskoków o bardzo różnym przebiegu i cechach kinematycznych (Fig. 21).

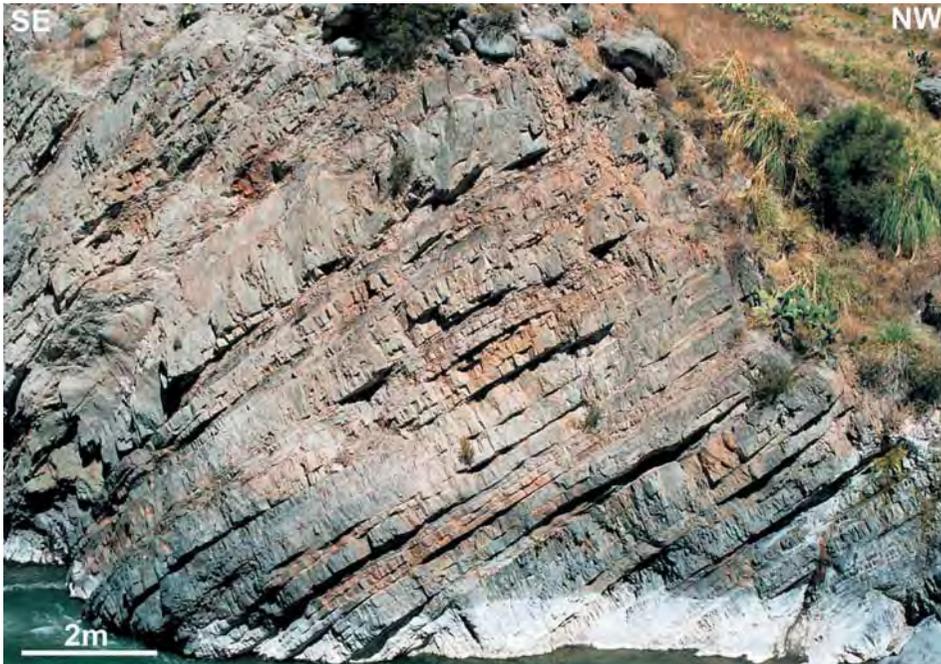


Fig. 19. Utwory kredowe w Dolinie Rio Colca w Pinchollo (domena 7)

Fig. 19. Cretaceous beds in Rio Colca Valley in Pinchollo area (location 7)

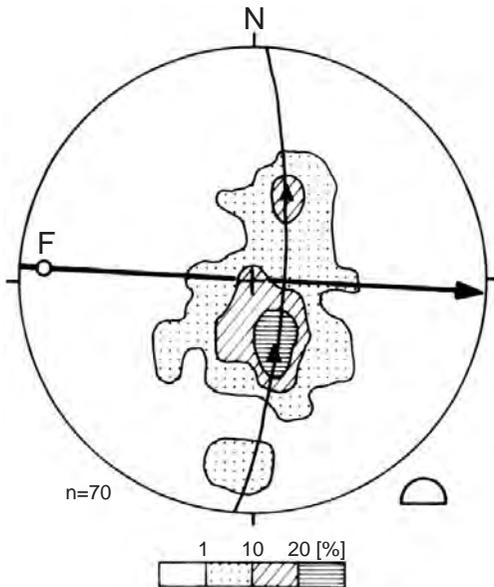


Fig. 20. Diagram strukturalny powierzchni uławicenia w utworach mezozoiku w rejonie Pinchollo–Lari–Maca. Łuk – pas foliacji, F – oś makrofałdu, strzałka – przebieg osi makrofałdu oraz kierunek jej nachylenia

Fig. 20. Stereogram of bedding within Mesozoic formations in the Pinchollo–Lari–Maca area. Arc – bedding belt, F – axis of macrofault, arrow – direction of macrofault axis and plunge azimuth of macrofault axis

Fig. 21. Sieć uskoków wraz z ich cechami kinematycznymi stwierdzona w utworach mezozoicznych w rejonie Maca – Lari. 1 – przemieszczenia skierowane ku górze, 2 – przemieszczenia skierowane ku dołowi, 3 – kierunek oraz zwrot względnych przemieszczeń, 4 – orientacja rys tektonicznych, 5 – uskoki normalne, 6 – uskoki zrzutowe, 7 – uskoki zrzutowo-przesuwcze; charakter składowej przemieszczeń uskokowych: N – normalno-zrzutowa, R – inwersyjno-zrzutowa (odwrocona), S – lewoprusuwcza, D – prawoprusuwcza

Fig. 21. Fault network and kinematic features of faults observed in Mesozoic formation in Maca – Lari area. 1 – upward displacements, 2 – downward displacements, 3 – direction and sense of relative displacements, 4 – tectonic striae orientation, 5 – normal faults, 6 – dip-slip faults, 7 – oblique-slip faults; style of fault displacements: N – normal, R – reverse, S – sinistral, D – dextral

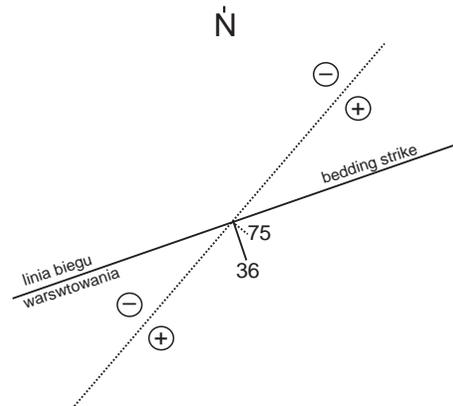
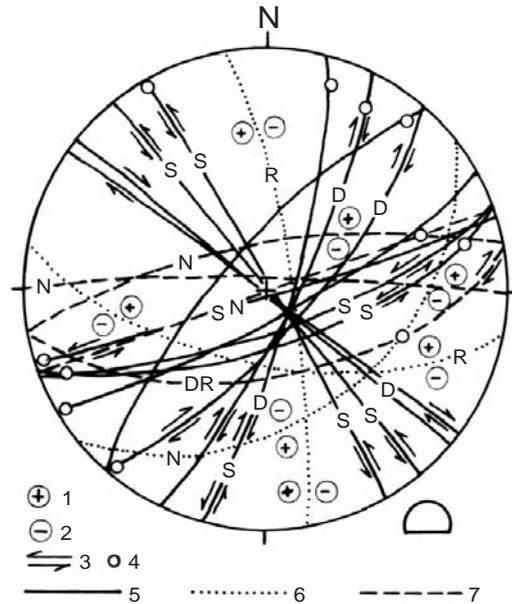


Fig. 22. Przebieg oraz cechy kinematyczne uskoków zrzutowych (progowych i odwroconych) stwierdzonych na dnie Doliny Rio Colca w rejonie Pinchollo (domena 7)

Fig. 22. Directions and kinematic features of dip-slip faults (normal and reverse) observed in bottom of the Rio Colca Valley in Pinchollo area (location 7)

W **domenie 7** (Pinchollo) położonej na dnie Doliny Rio Colca stwierdzono na południowym jej zboczu zespół schodowych uskoków zrzutowych o przebiegu NE-SW (ok. N40°E; Fig. 22). Są to uskoki zrzutowe, progowe lub – stromo nachylone – inwersyjno-zrzutowe. W kierunku wschodnim stopniowo przemieszczają one utwory mezozoiczne ku górze.

W **domenie 8** usytuowanej w okolicach wschodniego otworu tunelu drogowego w Maca stwierdzono trzy, wyraźnie zaznaczające się zespoły uskoków (Fig. 23). Najliczniej reprezentowane uskoki o przebiegu ENE-WSW (N60°-70°E) wykazują charakter przesuwczy. Względ-

dem struktur fałdowych są one podłużne. Zgodnie z powyższym kierunkiem stwierdzono uskoki przesuwce dwóch generacji: młodsze z nich odznaczają się lewoskrętnym zwrotem ścinania, natomiast zwrot starszych przemieszczeń przesuwczych nie został określony. Na obszarze domeny 8 bardzo licznie pojawiają się także uskoki normalne o przebiegu NW-SE ($N40^{\circ}-50^{\circ}W$). Przemieszczają one zarówno utwory górnourajskie, jak i mioceńskie reprezentowane przez tufy wulkaniczne. Ich skrzydła zostały podniesione ku NE. Zgodnie z powyższym kierunkiem lokalnie stwierdzono także przemieszczenia o charakterze lewoprzesuwczym. Mniej liczne uskoki normalno-lewoprzesuwce (starsze) oraz inwersyjno-przesuwce (młodsze) odznaczają się na omawianym obszarze równoleżnikowym przebiegiem ($N85^{\circ}W$). Inne uskoki są spotykane znacznie rzadziej; mają one charakter lewo- lub prawoprzesuwczy (uskoki NE-SW; $N30^{\circ}-40^{\circ}E$) oraz inwersyjno-przesuwczy (ENE-WSW, $N80^{\circ}E$). Diagram spękań z tego obszaru (Fig. 23) w miarę wiernie naśladuje kierunki przebiegu uskoków. Wyraźnie zaznaczają się na nim spękania podłużne o orientacji ENE-WSW ($N65^{\circ}E$) oraz poprzeczne – NNW-SSE ($N25^{\circ}W$), tworzące system ciosu ortogonalnego. Na uwagę zasługuje zespół ciosu o przebiegu południkowym ($N05^{\circ}E$), nie mający odpowiednika wśród uskoków.

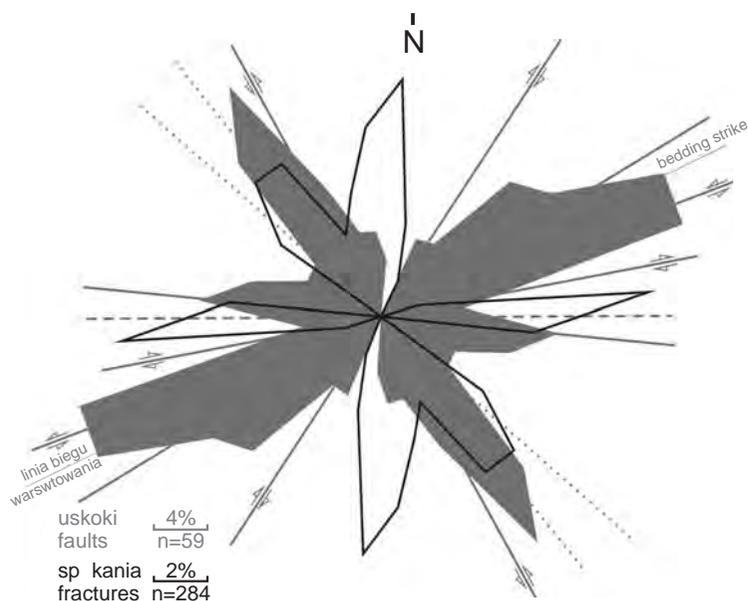


Fig. 23. Kierunki uskoków i spękań w utworach górnourajskich w rejonie tunelu drogowego Maca (domena 8)

Fig. 23. Orientation of faults and joints in the Upper Jurassic beds in Maca area next to road tunnel outlet (location 8)

W **domenie 9** (Fig. 24) zlokalizowanej na północnej ścianie Doliny Rio Colca, w rejonie Lari, stwierdzono uskoki zorientowane NE-SW (normalne uskoki, których zrzuczone skrzydła znajdują się na północnym zachodzie) oraz ENE-WSW (uskoki odwrócone, wzdłuż których doszło do obniżenia południowego skrzydła).

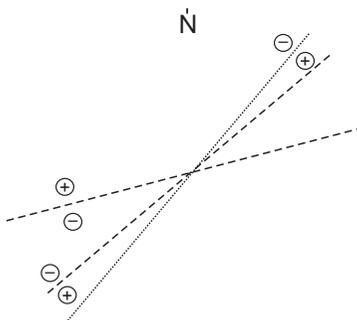


Fig. 24. Przebieg głównych uskoków w utworach górnourajskich w rejonie Lari (domena 9)

Fig. 24. Orientation of major faults in the Upper Jurassic beds in Lari area (location 9)

Na południowym stoku Doliny Rio Colca, w rejonie miejscowości Maca (**domena 10**), zaznaczają się cztery wyraźne zespoły uskoków (Fig. 25) o orientacji N-S, NE-SW, ENE-WSW oraz W-E. W większości są to uskoki progowo-zrutowe lub normalno-zrutowe, kształtujące się w ekstensyjnym (normalnym) reżimie deformacji. Najliczniejsze z nich, o przebiegu kierunku N-S ($N0^\circ$) oraz NE-SW ($N35^\circ E$; uskoki podłużne), tworzą na powierzchni terenu wyraźne pierwotne skarpy tektoniczne oraz rowy i zręby. Przebieg ciosu (Fig. 25) tylko w niewielkim stopniu naśladuje przebieg uskoków. Spękania tworzą w tym rejonie wyraźny system ciosu ortogonalnego, którego zespoły są bądź równoległe (cios podłużny, $N25^\circ E$), bądź prostopadłe (cios poprzeczny, $N65^\circ W$) w stosunku do linii biegu warstwowania w utworach górnourajskich. Stwierdzone w terenie spękania ekstensyjne o przebiegu ENE-WSW ($N75^\circ E$) jako jedyne wiernie odpowiadają uskocom progowo-zrutowym oraz normalno-zrutowym o tej samej orientacji.

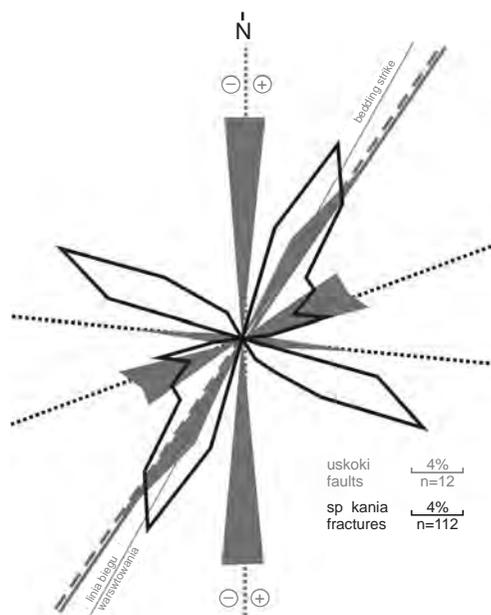


Fig. 25. Przebieg uskoków w utworach górnourajskich w rejonie Maca (domena 10)

Fig. 25. Orientation of faults in the Upper Jurassic beds in Maca area (location 10)

Sieć uskoków w utworach górnourajskich stwierdzona na dnie Doliny Rio Colca w rejonie Lari (**domena 11**) składa się z czterech zespołów (Fig. 26). Są to uskoki: prawoprzesuwcze (dwu generacji) o przebiegu NW-SE (ok. N50°W), lewoprzesuwczo-zrzutowe, podłużne względem linii biegu warstwowania w utworach jurajskich (NE-SW; N65°E) oraz normalno-zrzutowe o orientacji ENE-WSW (N80°E) i NNE-SSW (N10°E). Zgodnie z tym ostatnim kierunkiem rozwinęła się w tej okolicy dolina rzeki Rio Colca. Uskoki często występują w tej okolicy we wzajemnej superpozycji (Fig. 27).

Fig. 26. Kierunki uskoków i spękań w utworach górnourajskich w rejonie Lari (domena 11)

Fig. 26. Orientation of faults and joints in the Upper Jurassic beds in Lari area (location 11)

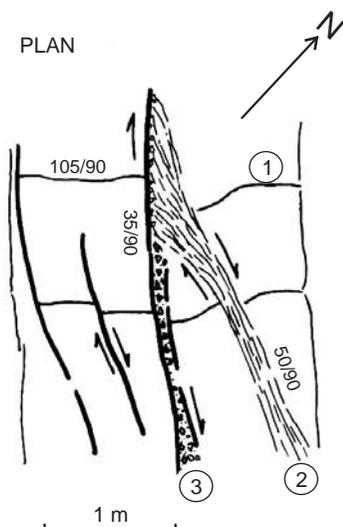
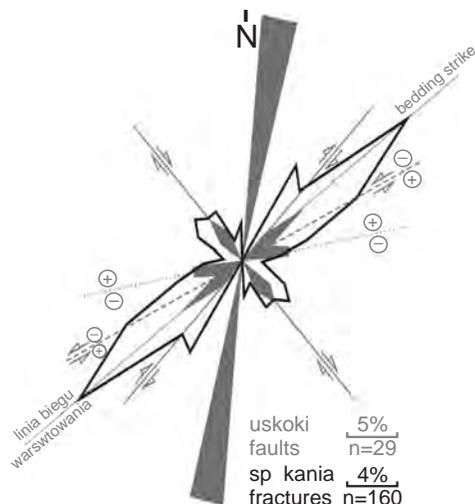


Fig. 27. Superpozycja mezouskoków w utworach górnourajskich występujących w dnie Doliny Rio Colca w rejonie Lari (domena 11)

Fig. 27. Superposition of mesofaults in the Upper Jurassic beds in the bottom of the Colca River Valley in Lari area (location 11)

Sieć ciosu (Fig. 26) w przybliżeniu nawiązuje do orientacji uskoków (Fig. 28). Zwracając uwagę bardzo licznie reprezentowane (koncentracja 24%) spękania podłużne (N55°E), które bywają wykorzystywane przez poślizgi o charakterze normalno-lewoskrętnym oraz rzadziej spotykany cios diagonalny (N60°W), zgodnie z którym zachodziły wielofazowe przemieszczenia prawoprzesuwowe.

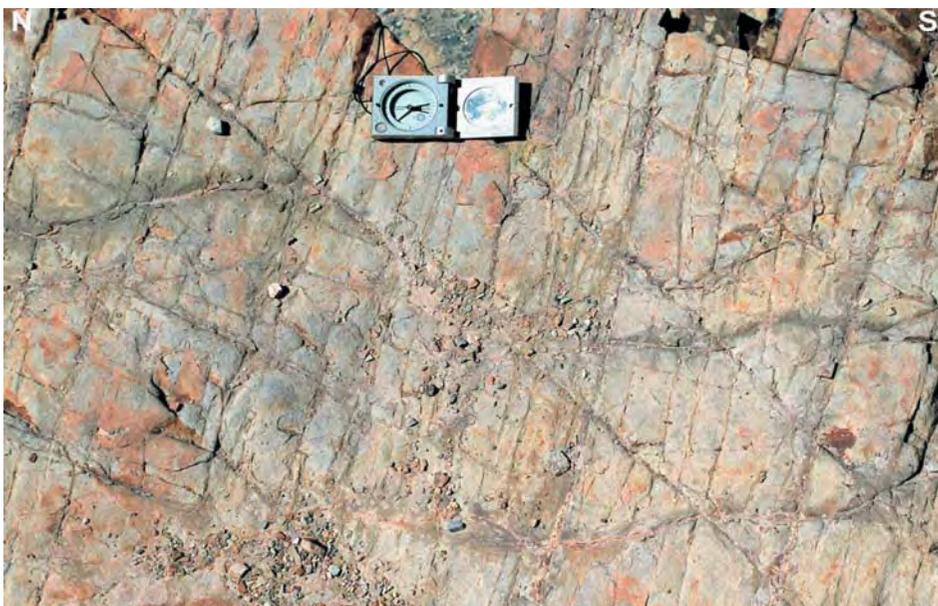


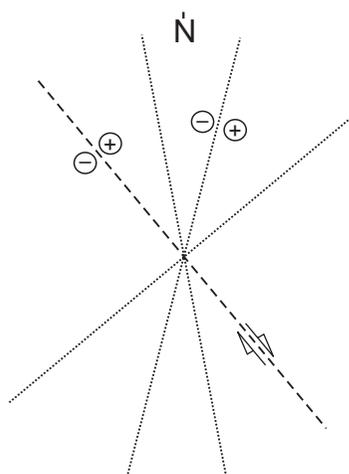
Fig. 28. Sieć spękań (cios romboidalny) widoczna na powierzchni warstwowania utworów górnourajskich w Dolinie Rio Colca w Lari (domena 11)

Fig. 28. Joint network (rhomboidal) observed on the top surface of Jurassic beds in the bottom of the Rio Colca Valley in Lari area

Północne zbocza Doliny Rio Colca (**domena 12**) w rejonie miejscowości Maca przecinają liczne uskoki (Fig. 29) normalno-zrzutowe o przebiegu NE-SW (N50°E), NNE-SSW (N15°E) i NW-SE (N40°W). Nawiązują one do dominujących kierunków przebiegu uskoków w całym regionie. Uskoki te przemieszczają, oprócz utworów górnourajskich, również – wyżej leżące – mioceńskie tufy wulkaniczne. Ich skrzydła zostały zrzucone ku wschodowi.

Fig. 29. Przebieg głównych uskoków w utworach górnourajskich w rejonie Maca (domena 12)

Fig. 29. Orientation of major faults in the Upper Jurassic beds in Maca area (location 12)



PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na badanym obszarze występuje skomplikowana, wielofazowo ukształtowana sieć uskoków. Większość z nich przemieszcza zarówno utwory mezozoiczne i mioceniowe jak i czwartorzędowe, co świadczy o ich współczesnej aktywności. Główne kierunki uskoków występujących w mezozoicznych i mioceniowych utworach podłoża zostały skopiowane w pokrywających dużą część terenu czwartorzędowych koluwiach.

Najstarsze uskoki występujące w utworach mezozoicznych wykazują przebieg południkowy (N-S). Są to uskoki normalne, podkreślone – również w osadach czwartorzędowych – przez rowy tektoniczne. Świadczy to dobitnie o ich długotrwałej aktywności, sięgającej po czasy współczesne. Na niektórych odcinkach rowy te są wykorzystywane przez Dolinę Rio Colca.

Nieco później wielofazowo kształtowały się uskoki przesuwcze o orientacji NE-SW oraz NW-SE (zarówno prawo- jak i lewo-przesuwcze), które w końcowych etapach swej ewolucji (po miocenie) uległy transformacji w uskoki normalno-zrzutowe. Zarówno uskoki o przebiegu NE-SW, jak i NW-SE, tworzą wyraźne struktury schodowe. Ich wschodnie skrzydła uległy wielokrotnym, cyklicznym przemieszczeniom ku górze. Spowodowało to, iż utwory jury pojawiają się we wschodniej części terenu w górnych partiach Doliny Rio Colca, podczas gdy na zachodzie w dnie tej doliny (która jest tam dużo głębiej wcięta) występują już utwory kredowe. Aktywność tych uskoków, zachodząca w reżimie ekstensyjnym, trwa do czasów współczesnych, gdyż wyraźnie zaznaczają się one w osadach czwartorzędowych, często w formie pierwotnych skarp tektonicznych oraz rowów.

Na badanym terenie stosunkowo rzadko pojawiają się – zazwyczaj strome – uskoki odwrócone; mają one przebieg południkowy (nasuwanie ku wschodowi), NE-SW (nasuwanie ku wschodowi) bądź równoleżnikowy (nasuwanie w kierunku południowym). Należy zaznaczyć, że większość uskoków o przebiegu równoleżnikowym ma charakter normalno-zrzutowy (obniżaniu uległo w różnych częściach terenu zarówno ich skrzydło północne, jak i południowe).

Niektóre uskoki o przebiegu równoleżnikowym wykazywały wielofazową aktywność zrzutowo-przesuwczą, przy czym przemieszczenia normalno- (lewo-) przesuwcze poprzedzały późniejsze ruchy o charakterze inwersyjno-przesuwczym.

W utworach mezozoiku stwierdzono niemal poziomo leżące makrostruktury fałdowe, których osie odznaczają się równoleżnikowym przebiegiem. Względem osi fałdu wyodrębniono na tym obszarze uskoki podłużne, poprzeczne oraz diagonalne.

Sieć spękań, w większości przypadków, odzwierciedla przebieg linii uskokowych. Zespoły spękań stosunkowo często tworzą system ciosu ortogonalnego. Najwięcej spękań (a często także uskoków) przebiega równolegle do osi fałdów lub do linii biegu warstwowania; są to spękania i uskoki podłużne.

W osadach czwartorzędowych zaznaczają się kierunki niemal wszystkich uskoków stwierdzonych w utworach mezozoicznych. Również one wykazują wielofazowy rozwój. Początkowo odznaczały się one aktywnością przesuwczą, by następnie przekształcić się w uskoki normalne, prowadzące do kształtowania się rowów i zrębów tektonicznych. Jako pierwsze rozwinęły się rowy o przebiegu NW-SE, a następnie młodsze rowy zorientowane WSW-ENE. Do najmłodszych należą rowy NNW-SSE, tworzące się w warunkach lewoskrętnej transtensji.

Współczesna aktywność uskoków spowodowała utworzenie się na powierzchni terenu wyraźnych pierwotnych skarp uskokowych pokrywających się z liniami uskoków. Świadczy to, iż formy te są na tyle młode, że nie uległy jeszcze w sposób wyraźny procesom denudacyjnym. Z analizy przebiegu linii uskokowych oraz orientacji spękań wynika, że Dolina Rio Colca ma założenia tektoniczne i wykorzystuje niemal wszystkie występujące na badanym terenie zespoły nieciągłości, ze szczególnym uwzględnieniem uskoków o przebiegu WNW-ESE, NE-SW oraz rzadziej – W-E.

Omawiana sieć uskoków i spękań nawiązuje do kierunków lineamentów stwierdzonych na południe od Doliny Rio Colca oraz w rejonie Doliny Wulkanów na podstawie analizy zdjęć satelitarnych (por. Antayhua *et al.* 2002, Delacour *et al.* 2002). Duże znaczenie mają uskoki o przebiegu NW-SE, które poniżej Kanionu Colca powodują pojawianie się na powierzchni terenu utworów prekambryjskich (Dalmayrac *et al.* 1971, Mégard *et al.* 1971).

Praca powstała w ramach badań statutowych Katedry Geologii Podstawowej Uniwersytetu Śląskiego (BS/KGP/2006). Autorzy dziękują prof. dr hab. inż. Andrzejowi Paulo za życzliwość, inspirację i wszechstronną pomoc w realizacji tematu oraz władzom diekańskim Wydziału Nauk o Ziemi UŚ, a w szczególności prof. dr. hab. Andrzejowi Kowalczykowi, za wsparcie finansowe.

LITERATURA

- Antayhua Y., Tavera H. & Bernal I., 2001. Análisis de la Actividad Sísmica en la Región del Volcán Sabancaya (Arequipa). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 91, 55–68.
- Antayhua Y., Tavera H., Bernal I., Palza H. & Aguilar V., 2002. Localización hipocentral y características de la fuente de los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998), Región del Volcán Sabancaya (Arequipa). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 93, 63–72.
- Bulmer M.H., Johnston A., Engle F.C. & Salas G., 1999. Seismically triggered slope failures in the Colca Valley, Southern Peru. EOS. *Transactions, American Geophysical Union, Spring*, H41A-07, 127.
- Dalmayrac B., Laubacher G., Marocco R., Martinez C., Mégard F., Paredes J. & Tomasi P., 1971. *Mapa Geológico de los Terrenos Paleozoicos y Precambrianos del Perú y de Bolivia*, Escala aproximada 1 : 5 000 000. Service Cartographique. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris.
- Delacour A., Paquereau P., Gerbe M.C., Thouret J.C. & Wörner G., 2002. *Quaternary minor volcanic centers in southern Peru: volcanology, petrology and geochemistry*. ISAG, Toulouse, 175–179.
- Dorbath L., Dorbath C., Jimenez E. & Rivera L., 1991. Seismicity and tectonics deformation in the eastern cordillera and the sub-andean zone of central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 4, 13–24.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 320–326.
- Garayar C. (red.), 2004. *Atlas regional del Perú, Tomo 3: Arequipa*. Ediciones Peisa S.A.C. & Quebecor World Perú S.A., Lima.

- Groshong R.H., 1999. *3-D structural geology. A practical guide to surface and subsurface map interpretation*. Springer, Berlin, 1–350.
- Guillande R. & Salas G. 1995. Geomorphological and geological survey and spot remote sensing of the current activity of Nevado Sabancaya stratovolcano (south Peru): assessment for hazard-zone mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Berlin-Stuttgart*, 39, 4, 515–535.
- Hobbs B.E., 1971. The analysis of strain in folded layers. *Tectonophysics*, 11, 329–375.
- Huamán D., Chorowicz J., Deffontaines B., Guillande R. & Rudant J., 1993. Cadre structural et risques géologiques étudiés à l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du Sud Pérou). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 164, 6, 807–818.
- Jaroszewski W., 1972. Drobnostukturalne kryteria tektoniki obszarów neorogenicznych na przykładzie północno-wschodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. *Studia Geologica Polonica*, 38, 1–210.
- Jaroszewski W., 1976. *Metodyka badań drobnych struktur tektonicznych (stan, cele i perspektywy)* [W:] Przewodnik 48 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego w Starachowicach. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 134–157.
- Klinck B.A. & Palacios M., 1985. *Mapa Geologica del Cuadrangulo de Chivay*. Escala 1 : 100 000. Instituto Geologico Minero y Metalurgico, Peru.
- Krzak M., 2005. Ruch turystyczny w rejonie Arequipy i możliwości jego rozwoju w Dolinie Wulkanów (prowincja Castilla) w południowym Peru. *Geoturystyka*, 2, 2, 3–22.
- Marshak S. & Mitra G. (eds.), 1988. *Basic methods of structural geology*. Prentice Hall, New York, 1–446.
- Mattauer M., 1989. *Monts et Merveilles, Beautés et richesses de la Géologie*. Hermann Editores de Ciencias y Arte. Paris, 1–267.
- Mégard F., Dalmayrac B., Laubacher G., Marocco R., Martinez C., Paredes J. & Tomasi P., 1971. La chaîne hercynienne au Pérou et en Bolivie. Premiers résultats. *Cahiers, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, série Géologie*, III, 1, 5–44.
- Nicolas A., 1987. *Principles of rock deformation*. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Boston, 1–192.
- Paulo A. & Gałaś A., 2005. Epitermalne złoża złota i srebra w okolicy Orcopampa i Caylloma, południowe Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 8, 639–648.
- Price N.J. & Cosgrove J.W., 1988. *Analysis of geological structures*. Cambridge University Press, Cambridge, 1–516.
- Ragan D.M., 1973. *Structural geology – an introduction to geometrical techniques*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1–208.
- Ramsay J.G., 1967. *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 1–568.
- Ramsay J.G. & Huber M.I., 1983. *The techniques of modern structural geology, 1: Strain analysis*. Academic Press, London, 1–307.
- Ramsay J.G. & Huber M.I., 1987. *The techniques of modern structural geology, 2: Folds and fractures*. Academic Press, London, 308–700.
- Ramsay J.G. & Lisle R.J., 2000. *The techniques of modern structural geology, 3: Applications of continuum mechanics in structural geology*. Academic Press, London, 701–1061.

- Sévrier M., Mercier J., Megard F., Laubacher G. & Carey-Gailhardis E., 1985. Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the central Andes of Perú. *Tectonics*, 7, 895–928.
- Sévrier 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*. *Geological Society of America, Special Paper*, 265, 259–278.
- Teisseyre H., 1971. Zagadnienie analizy strukturalnej w Sudetach, jej cele i metodyka. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, 41, 1, 93–118.
- Turner F.J. & Weiss L.E., 1963. *Structural analysis of metamorphic tectonites*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 1–525.
- Vialon P., Ruhland M. & Grolier J., 1976. *Elements de tectonique analytique*. Masson, Paris, 1–118.
- Whitten E.H.T., 1969. *Structural geology of folded rocks*. Rand McNally & Co., Chicago, 1–678.
- Żaba J., 1999. Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 166, 1–162.

Summary

The fault/fracture network within Mesozoic and Quaternary formations has been studied in the Rio Colca Valley in Pinchollo–Lari–Maca area (Figs 1, 3, 4), Central Andes, Southern Peru. The study area is located in a subduction zone and is part of an active volcanic arc (Fig. 2). A fragment of the Rio Colca Valley dealt with in this work is located between two volcanoes: Sabancaya in the South and Mismi in the North, both 20–30 km apart. Recent activity of Sabancaya volcano caused locally surface displacements as a result of earthquake in Maca in 1991. These structures in Quaternary colluvial deposits and their relation to existing tectonic framework in the bedrock have been studied in the paper (Figs 6, 7).

Displacements of Mesozoic, Miocene and Quaternary formations observed on nearly all faults in the study area provide evidence for recent tectonic activity. Most of the faults in Mesozoic bedrock continue in Quaternary colluvial deposits (Figs 5–29). Recent tectonic activity of these faults has developed on the surface a system of distinct scarps and land cracks.

Orientation of the first generation of faults displacing Mesozoic formations is N-S. These are normal faults, which form some horsts and grabens in Quaternary deposits. The next generation of strike-slip faults, both sinistral and dextral ones is oriented NE-SW and NW-SE. In late stages of its evolution (Post-Miocene), this fault system was transformed into oblique-slip faults. The activity of this fault system has influenced recently Quaternary grabens observed on the land surface. In the study area there is also another sparse system of steep faults (normal, reverse and oblique-slip) oriented N-S, NE-SW and W-E.

Analysis of faulting in Pinchollo–Maca area shows that structural framework of the Rio Colca Valley is based on nearly all tectonic discontinuities observed on the surface; mostly on WNW-ESE and NE-SW faults, and on few W-E faults.

ZASIĘG I BUDOWLE WULKANICZNE GRUPY ANDAHUA

Extent and volcanic's constructions of Andahua group

Andrzej GAŁAŚ

*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Analiz Środowiskowych, Kartografii i Geologii Gospodarczej;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: pollux@geol.agh.edu.pl*

Treść: W 2003, 2004 i 2006 roku grupa geologów z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie prowadziła badania terenowe młodej grupy wulkanicznej Andahua, w południowym Peru. Została ona poznana zaledwie 45 lat temu i do chwili obecnej nie określono definitywnie jej zasięgu i genezy. Największym obszarem i jednocześnie najbogatszym w produkty wulkanizmu grupy Andahua jest rejon Doliny Wulkanów. Lawy zwartą pokrywą wypełniają tę dolinę, między Misahuanca a Ayo na długości około 60 km. W trakcie prac zidentyfikowano około 150 centrów erupcyjnych, w tym: stożki piroklastyczne o wysokości 50–300 m oraz bardziej liczne kopyły i szczeliny lawowe. Morfologia i rozprzestrzenienie skał grupy Andahua wykazują pewne związki z tektoniką i budową geologiczną podłoża.

Słowa kluczowe: lawa, kopyła lawowa, stożek piroklastyczny, grupa Andahua, zagrożenie wulkaniczne

Abstract: In 2003, 2004 and 2006 small groups of geologists of AGH – The University of Science and Technology in Kraków investigated young Andahua volcanic group of Southern Peru. It was identified first some 45 years ago but its extension is not definitely determined yet. The greatest area of the Andahua group, where at the same time the volcanism products are the most common, is the Valley of Volcanoes. This valley, between the Misahuanca and Ayo, is covered by a dense cover of lava, which is about 60 km long. Field work resulted in discovery of about 150 individual emission centres: apparent pyroclastic cones 50–300 metres high, and usually smaller lava domes and vents controlled by fractures. Morphology of the Andahua lava flows coalescing into composite lava fields as well as criteria for their stratigraphy and tectonic controls are given.

Key words: lava flow, lava dome, pyroclastic cone, Andahua group, volcanic hazard

WSTĘP

Przedmiotem badań jest czwartorzędowa grupa wulkaniczna Andahua (*sensu* Caldas *et al.* 1993). Pierwsza wzmianka o niej pochodzi z relacji lotników Shippego i Johnsona z 1934 roku (Shippee 1934). Za początek badań naukowych należy uznać obserwacje Portocarrero, który opisał formy wulkaniczne w okolicach Andahua w Dolinie Wulkanów (1960)(Fig. 1).

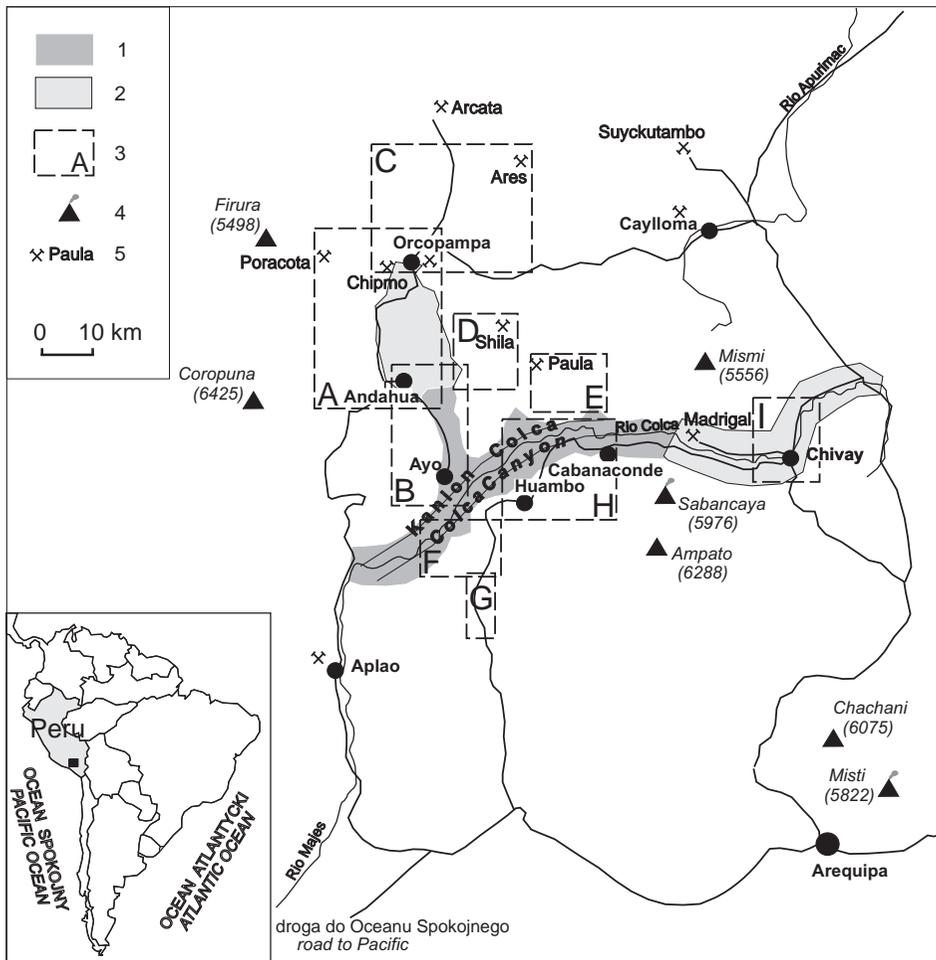


Fig. 1. Mapa okolic Kanionu Colca. 1 – projektowany park narodowy, 2 – strefa buforowa, 3 – rejon występowania grupy Andahua, 4 – stratowulkan, 5 – kopalnia złota; A – część północna Doliny Wulkanów i Dolina Rio Sora, B – część południowa Doliny Wulkanów, C – Antapuna, D – Shila, E – Paula, F – Glorihuasi, G – Legunillas – potok Uchan, H – Huambo – Cabanaconde, I – Chivay

Fig. 1. Canyon Colca region. 1 – national park in project, 2 – buffer zone, 3 – Andahua group occurrence area, 4 – stratovolcano, 5 – gold mine; A – north part of Valley of Volcanoes and Rio Sora Valley, B – south part of Valley of Volcanoes, C – Antapuna, D – Shila, E – Paula, F – Glorihuasi, G – Legunillas – lava flows Uchan, H – Huambo – Cabanaconde, I – Chivay

Wulkany grupy Andahua pozostały niezbadane ze względu na znacznie większe zainteresowanie naukowe i społeczne typowymi dla tej części Andów dużymi stratowulkanami. Do chwili obecnej ukazało się kilkanaście publikacji naukowych, które w sposób wrywkowy opisują Dolinę Wulkanów lub skupiają się na wrażeniach krajobrazowych (Hoempler 1962, Venturelli *et al.* 1978). Dopiero prace Francuzów dostarczają szczegółowych informacji na temat petrologii i geochemii wulkanitów Andahua (Delacour 2002, Thouret *et al.* 2002). Polskie badania mają na celu określenie genezy i stadium rozwoju grupy Andahua oraz zagrożenia dla obszarów zamieszkałych. Główne pola lawowe były przedmiotem szczegółowych prac, a na mniejszych i peryferyjnych przeprowadzono zwiad terenowy. W 2003 roku miała miejsce wyprawa rekonesansowa pracowników AGH: Andrzeja Gałasia i Andrzeja Paulo. Badania prowadzono także w lipcu 2004 i 2006 roku. W ostatnim roku w pracach terenowych uczestniczyła także studentka Joanna Krupa.

Do tej pory ani centra erupcji, ani zasięg przestrzenny i wiekowy grupy Andahua nie zostały definitywnie określone. Jest to bowiem teren trudno dostępny, na ogół bezwodny, wysokogórski, leżący w strefie 1400–5200 m n.p.m.

W pracach wykorzystano mapy geologiczne Peru w skali 1 : 100 000 (arkusze: Cayarani, Orcopampa, Huambo, Aplao, Cailloma, Chivay) zdjęcia satelitarne (Landsat) i nieliczne zdjęcia lotnicze (Servicio Aerofotografico Nacional, Perú) oraz autorskie fotografie własne i uczestników wypraw w latach 2003–2006. Prace terenowe skupiały się na określeniu miejsc erupcji, charakteru i morfologii utworów wulkanicznych, pobierano próby do badań petrograficznych i wykonywano fotografie. Lokalizację dokonywano za pomocą GPS-u.

Po trzech sezonach badań terenowych można określić z grubsza zasięg przestrzenny grupy Andahua. Wulkanity Andahua ciągną się z przerwami na obszarze długości ponad 120 km i szerokości 100 km. Wyodrębniono 9 rejonów gdzie obecne są centra erupcji (Fig. 1). Wyróżniono 37 pól lawowych utworzonych z jednego lub więcej potoków lawy, 46 stożków piroklastycznych i 116 centrów erupcji lawy, w tym kopuły i szczeliny. Największy obszar występowania stanowi Dolina Wulkanów. Grupa Santo Tomas, opisywana przez Moncayo (1994), w dolinie o tej samej nazwie, 70 km na północ od Caylloma, prawdopodobnie odpowiada litostratigraficznie grupie Andahua.

WIEK ERUPCJI

Zasięg wiekowy grupy Andahua jest stopniowo precyzowany. Nie ma wiarygodnych zapisów historycznych aktywności wulkanicznej ani przekazu legendarnego, który potwierdzałby jej młody wiek. Katalog wulkanów Simkina & Sieberta (1994) oraz źródła internetowe powołują się na Sappera (1917), który pisał o aktywności wulkanicznej w czasie panowania Inków (XIV–XVI w.). Dolna granica wiekowa grupy może być określana na podstawie stosunku do rzeźby terenu, osadów glacialnych i rzecznych, objawów tektoniki i erozji oraz pojedynczych, jak dotąd, datowań wieku bezwzględego (Kaneoke & Guevara 1984, Cabrera & Thouret 2000).

Inny sposób pośredniego wnioskowania o wieku stożków wulkanicznych polega na pomiarach ich kształtu. Najstarsze stożki mają wysokość około 100 m. Południowe zbocza są strome, wyrzeźbione erozją lodowca, północne nachylone pod kątem około 10°; powstały one w plejstocenie. Kolejne grupy wiekowe mają zbocza nachylone coraz bardziej – ką nachyle-

nia zmienia się pomiędzy 21° a 23° u tych, które powstały na przełomie plejstocenu i holocenu poniżej strefy zlodowaczonej. Zbocza stożków powstałych w górnym holocenie mają nachylenie od 28° do 31° (Cabrera & Thouret 2000). Pomiary wykonane przez autora nie znajdują potwierdzenia dla takiego sposobu wyznaczania wieku budowli wulkanicznych. Nachylenie zboczy kilku raczej plejstocenijskich stożków piroklastycznych (Cerro Mauras, Llajuapampa, Marbas Chico Norte) mieści się w przedziale $28\text{--}34^\circ$, co oznaczałoby we wspomnianej klasyfikacji, że są to wulkany powstałe niemal współcześnie. Inną słabą stroną opisanej wyżej morfometrycznej metody datowania jest ograniczenie jej do stożków piroklastycznych. Tymczasem większa część grupy Andahua zbudowana jest z law.

Świeżość niektórych form wulkanicznych, tj. nikłe ślady erozji i wietrzenia oraz brak pokrywy roślinnej wskazują, że powstały one nie dawniej jak 300–400 lat temu. Na starszych popiołach i żuźłowatych lawach grupy Andahua utworzyły się pylaste gleby brunatne, osiągając nawet 0.5–1 metra grubości. Zdomowała się tam, stosownie do strefy wysokościowej, kolczasta trawa *ichu*, *yareta*, kserofity i inne rośliny, a ludzie przekształcili ten obszar w tarasowate pola uprawne. Ponieważ gleby takie rozwijają się pod wpływem wody i dość powoli, a obecnie panuje w tej części Andów klimat suchy, wnioskujemy (Gałaś & Paulo 2005), że powstały one w epoce lodowej i towarzyszących jej cieplejszych okresach tajania lodowców, a więc co najmniej 10 000 lat temu (Thouret *et al.* 2001b). Z badań palynologicznych (Moscol 2001) wynika duża zmienność klimatyczna w czasie holocenu, w tym istnienie młodego okresu wilgotnego. Dowody archeologiczne i geologiczne (Grodzicki 1994) wskazują, że w pierwszym wieku p.n.e., około roku 600 (± 140) i 1000 naszej ery występowały obfite opady atmosferyczne na skutek zjawiska El Niño. Musiałaby wówczas nastąpić znaczna erozja luźnych osadów piroklastycznych.

Przy sporządzaniu mapy tej grupy przyjęto prosty podział na 3 grupy wiekowe: starszą I (plejstocen), pośrednią II (plejstocen–holocen) i młodą III (holocen). Starsza jest zwietrzała, wyrzeźbiona erozyjnie, pokryta roślinnością, często zamieniona na pola uprawne. Bloki lawy są gładkie, a granice dawnych potoków lawy niewyraźne. Zazębiają się one z osadami rzecznyymi, a w strefie wysokogórskiej noszą wyraźne ślady erozji glacialnej i peryglacialnej. Na lawach grupy pośredniej powstały inicjalne gleby, które porastają niekiedy trawy, kaktusy lub krzewy. Powierzchnia młodych law jest chropowata, ostra, miejsca wyciskania lawy czytelne, zbocza potoków lawowych strome, mało stabilne, a struktury płynięcia wyraźne. Rośliny nie zdążyły się zakorzenić.

Kolejnych danych o wieku grupy Andahua dostarczają badania składu izotopowego skał i składu izotopowego węgla w resztkach zwęglonych przez gorący popiół roślin, przeprowadzone przez Kaneoke & Guevara (1984). Najstarsze skały tej grupy, datowane dotąd metodą K-Ar, wskazują na około 800 000–300 000 lat. Jest to zgodne z obserwacjami geologicznymi, według których koło Orcopampa grupa ta zazębia się miejscami z utworami glacialnymi i rozwinęła się po powstaniu kanionów. Lawy blokowały nieraz przepływ rzek. Utwory kilku młodych form, występujących koło Andahua, zbadano metodą ^{14}C . Powstały one w okresie od 4050 do około 370 lat p.n.e. (Cabrera & Thouret 2000), ale z obserwacji kształtu potoków lawy, która opływała badane stożki i do dziś nie porosła kaktusami wynika, że potoki te są jeszcze młodsze. Tak więc lawy mogły płynąć w czasie, gdy Hiszpanie zawojowali imperium Inków i rozpoczął się okres zapisany w kronikach. Prawdopodobnie do Doliny Wulkanów nie dotarł wówczas żaden kronikarz. Poszczególne wulkany Andahua są karłowate i proste w po-

równaniu z wielkimi stratowulkanami południowego Peru. Tajemnica wczesnych stadiów ich rozwoju ukryta jest pod szczelnym płaszczem osadów piroklastycznych ostatniej fazy erupcji. Tylko z rzadka wykop drogowy lub erozja rzeczna wcinają się w stoki; wówczas okazuje się, że warstwy lapilli leżą na sobie niezgodnie, a na niektórych rozwinęły się pokrywy zwietrzelinowe. Tym samym niewłaściwe jest nazywanie ogółu tych wulkanów monogenetycznymi (Cabrera & Thouret 2000), gdyż były takie, które wybuchały wielokrotnie.

Jeśli więc jest wiele dowodów na długotrwałą i niedawną aktywność karłowatych wulkanów, to można oczekiwać ich kolejnych wybuchów. Siła sprawcza działa nadal. Jest nią podsuwanie oceanicznej Płyty Nazca pod krę Ameryki Południowej oraz wypiętrzanie Andów i pękanie ich na wielkie bloki tektoniczne (Gałaś & Paulo 2005).

MIEJSCA ERUPCJI

Odnalezienie miejsc erupcji, a jednocześnie dopływu magmy z głębi litosfery ma duże znaczenie w ustaleniu związku aktywności wulkanicznej z budową geologiczną podłoża. Pozwala także na przewidywanie zagrożeń.

Stożek zwieńczony u wierzchołka kraterem, zbudowany z bomb wulkanicznych, lapilli, popiołu oraz płaskich skorup aglomeratu, czyli bryzgów lawy spajających bomby, jest oczywistym miejscem erupcji. Takich wulkanów odnaleziono 46 i zaznaczono wraz z nazwą na mapach (Fig. 2, 3). Niektóre z nich mają rozzerwany brzeg, a od krateru rozpoczyna się zakrzepły potok lawy. Większość stożków zbudowana jest tylko z materiału piroklastycznego. Tylko jeden stożek, Glorياهوasi, ma charakter stratowulkanu, tj. zbudowany jest z law i tefry. Stożki piroklastyczne świadczą lokalnie o dużym udziale gazu w magmie. Większość stożków ma wysokość w granicach 100–200 m, wyjątkowo 400 m. Największym wulkanicznym stożkiem była prawdopodobnie Antapuna, której krater i południowe zbocze zostały zniszczone przez lodowiec.

Zwykle stożki znajdują się w obrębie pól lawowych lub z nimi sąsiadują. Wyjątek stanowi grupa wulkanów w rejonie Caylloma, gdzie na wysokim płaskowyżu (4300–5100 m n.p.m.) stoi 6 odosobnionych stożków. Depresje w pobliżu niektórych stożków wypełniają rytmicznie warstwowane popioły wulkaniczne. Miąższość pokrywy piroklastycznej odsłonięta w wąwozach i skarpach drogowych rzadko przekracza 5 m.

Większość potoków lawy zaczyna się od kopuły lawowej, z krateru lub też krótkiego stromobocznego grzbietu. Małe kopuły ułożone są nieraz w jednej linii, co wskazuje, że lawa była wyciskana ze szczeliny. Przykładem jest równoległa do przebiegu Kanionu Colca linia kopuł przy drodze Cabanaconde – Huambo. Większe kopuły zawierają kilka szczelin, z których wachlarzowo wyciskana była lawa, lecz po kilkunastu metrach od miejsca wypływu pękała na bloki i powierzchnia potoku przybrała postać rumowiska. Wierzchołki niektórych kopuł zawierają stromoboczną depresję, powstałą na skutek cofnięcia się ostatnich porcji magmy do gardzieli, po spadku ciśnienia w systemie wulkanicznym.

Kopuły i szczeliny eruptywne przeważają ilościowo nad stożkami piroklastycznymi – odnaleziono ich 116. Wszystkie zaznaczono na mapach (Fig. 2, 3). Z reguły dają one początek potokom lawowym, które mają długość 0.5–10 km. Grubość tych potoków wynosi na ogół 10–30 m, a gdy nakładają się na siebie lub piętrzą u frontu – odpowiednio więcej. Kopuły lawowe wznoszą się na wysokość 20–150 m.

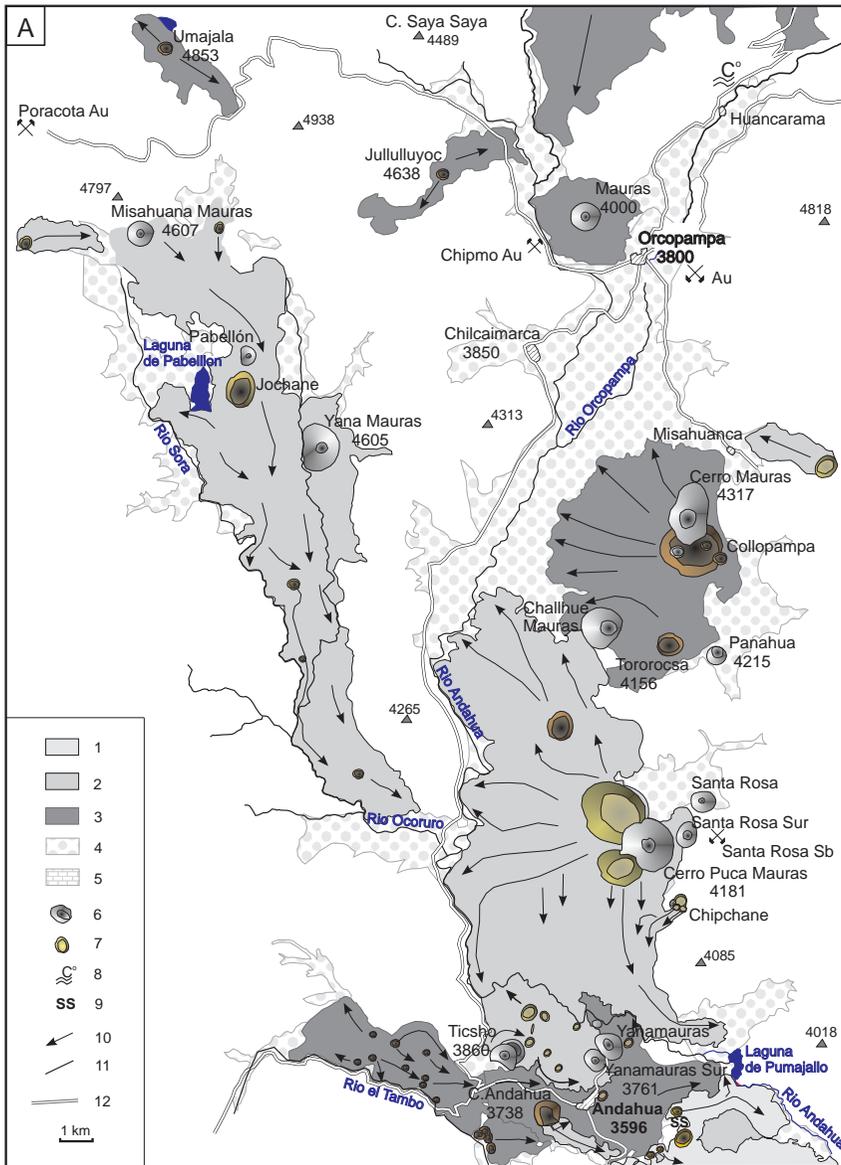


Fig. 2. Zasięg grupy Andahua w północnej części Doliny Wulkanów i Doliny Rio Sora (A). 1–3 grupa Andahua (1 – holocen, 2 – plejstocen–holocen, 3 – plejstocen), 4 – aluwia czwartorzędowe, 5 – trawertyny (czwartorzęd), 6 – stożek piroklastyczny, 7 – kopuła lawowa, 8 – źródła termalne, 9 – naloty siarki rodzimej, 10 – kierunek płynięcia lawy, 11 – uskok, 12 – droga

Fig. 2. Andahua group at north part of Volcanic's Valley and Rio Sora Valley (A). 1–3 Andahua group (1 – Holocene, 2 – Pleistocene–Holocene, 3 – Pleistocene), 4 – alluvia (Pleistocene–Holocene), 5 – travertines (Pleistocene–Holocene), 6 – piroclastic cone, 7 – lava dome, 8 – hot springs, 9 – native sulphur, 10 – lava flow direction, 11 – fault, 12 – road

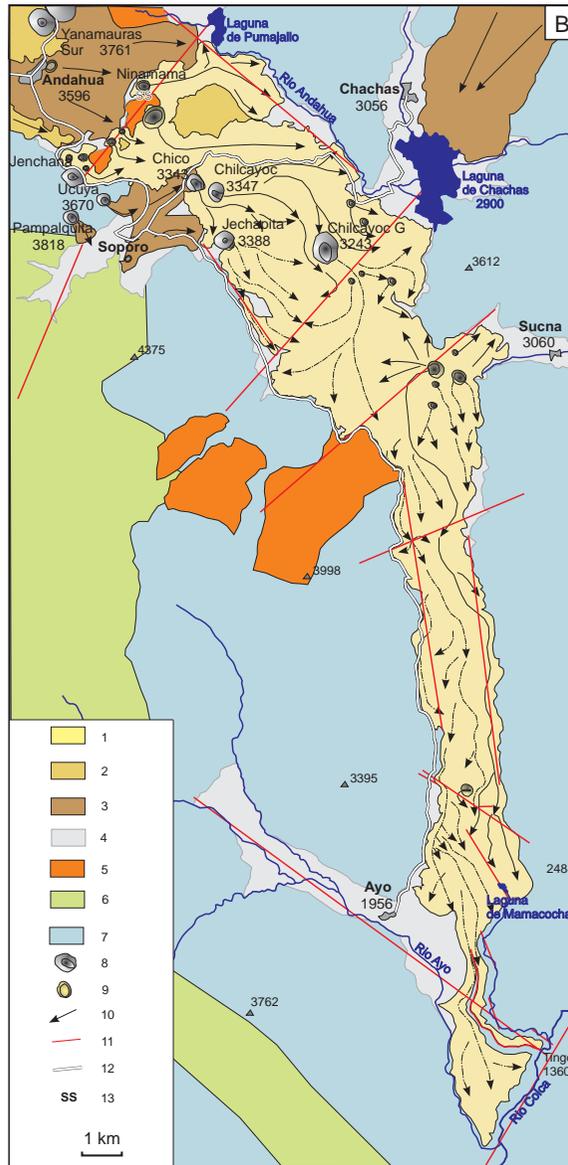


Fig. 3. Mapa geologiczna południowej części Doliny Wulkanów (B). 1–3 grupa Andahua (1 – holocen, 2 – holocen – plejstocen, 3 – plejstocen), 4 – aluwia czwartorzędowe, 5 – grupa wulkaniczna Barroso (pliocen), 6 – skały osadowe (dolna kreda), 7 – skały osadowe (jura), 8 – stożek piroklastyczny, 9 – kopuła lawowa, 10 – kierunek płynięcia lawy, 11 – uskoki, 12 – droga, 13 – naloty siarki rodzimej

Fig. 3. Geological map of south part of Valley of Volcanoes (B). 1–3 Andahua group (1 – Holocene, 2 – Pleistocene–Holocene, 3 – Pleistocene), 4 – alluvia (Pleistocene–Holocene), 5 – Barroso group (Pliocene), 6 – sedimentary rocks (Lower Cretaceous), 7 – sedimentary rocks (Jurassic), 8 – piroclastic cone, 9 – lava dome, 10 – lava flow direction, 11 – faults, 12 – road, 13 – native sulphur

Najwyższą kopułę znaleziono obok kopalni złota Paula; jest to Cerro Coropuna (5170 m n.p.m.) o wysokości względnej 250 m. Powierzchnia i objętość potoków lawowych jest zatem znacznie większa niż stożków piroklastycznych; stanowią one około 97% objętości grupy Andahua.

ROZPRZESTRZENIENIE

Obszar występowania grupy Andahua można podzielić na 9 rejonów (Tab. 1). Podziału dokonano na podstawie związków z budową geologiczną i morfologią podłoża i granice rejonów należy traktować umownie.

Tabela (Table) 1

Charakterystyka ilościowa rejonów występowania grupy Andahua
Quantitative characteristics of volcanic fields belonging to Andahua group

Rejony <i>Regions</i>	Pola lawowe <i>Lava fields</i>	Stożki piroklastyczne <i>Piroclastic cones</i>	Kopuły i kratery lawowe <i>Lava domes and craters</i>	Wiek*) <i>Age</i>
Dolina Wulkanów <i>Valley of Volcanoes</i>	10	19	45	I, II, III
Dolina Rio Sora <i>Rio Sora Valley</i>	4	3	8	I, II
Antapuna	4	4	3	I
Shilla	1	2	2	I
Rio Mollocco	3	1	9	II
Caylloma	0	6	0	II
Gloriahuasi	5	10	16	I, II
Huambo-Cabanaconde	6	1	25	I
Chivay	3	0	11	I, II
Suma <i>Total</i>	37	46	116	

*) I – plejstocen (*Pleistocene*), II – plejstocen – holocen (*Pleistocene – Holocene*), III – holocen (*Holocene*)

Dolina Wulkanów

Największym obszarem i jednocześnie najbogatszym w produkty wulkanizmu grupy Andahua jest rejon Doliny Wulkanów. Dolina Wulkanów ma długość około 90 km i generalnie przebieg południkowy. W środkowej części, na długości około 30 km, oś doliny jest skrzyżowana na NW-SE. W górnej części, gdzie leży górnicze miasteczko Orcopampa, dno doliny jest na wysokości 3800 m n.p.m. Natomiast ujście doliny do Kanionu Colca znajduje się na wysokości 1360 m n.p.m. Góry otaczające dolinę mają wysokość 3500–5000 m n.p.m. Rejony Rio Sora i Shilla zostały omówione osobno, choć należy je traktować jako subrejon Doliny Wulkanów.

Lawy wypełniają zwartą pokrywę Dolinę Wulkanów między Misahuanca a Ayo na długości około 60 km. Wydaje się, że najstarsze erupcje miały miejsce w okolicach Andahua (Fig. 2). Lawy I generacji wypływały z kopuł zlokalizowanych w centrum doliny. 300 m na

NE od Plaza de Armas w Andahua, znajduje się wzgórze, które może być jednym z miejsc efuzji law tej generacji. Ze względu na liczne tarasowe uprawy rolnicze odczytanie poszczególnych centrów i kierunków płynięcia jest obecnie bardzo trudne. Z pewnością jeden z potoków spłynął w kierunku miejsca, gdzie znajduje się obecnie Laguna de Pumajallo. Nieco młodsze pole lawy powstało na zachód od Andahua, w bocznej dolinie Rio Tambo, którą prowadzi droga do Viraco. Dziewięć centrów erupcji było położonych w dnie tej odnogi, około 500 m powyżej Andahua. Lawy pokryły dno doliny, zalały częściowo pampę w jej górnej części i spłynęły w stronę Doliny Wulkanów nakładając się na starsze pole law Andahua. Strumień El Tambo wcina się obecnie pomiędzy brzeg doliny i pokrywą law. Dolina ma charakter rowu tektonicznego o azymucie 300° . Nieco powyżej na stoku na jego południowej krawędzi zaznacza się jeszcze jedno nieduże pole. Wypływ law nastąpił z 4 kopuł, które obecnie mają kształt regularnych, stykających się ze sobą, kraterów lawowych. Niewykluczone, że było to kiedyś jedno duże centrum erupcji, które zapadło się, a następnie – już z mniejszą energią – emitowało lawę mniejszymi kraterami pasożytniczymi.

Zbliżone wiekowo jest kolejne pole, na którym zbudowana jest wioska Soporo położona 8 km od Andahua, w dół doliny (Fig. 3). Podobnie jak pole El Tambo, pole Soporo wypełnia boczną dolinkę o osi prostopadłej do Doliny Wulkanów. Zaobserwowano tu trzy centra erupcyjne. Powyżej wioski znajduje się mocno zerodowana kopuła, z której lawy spływały w stronę Doliny Wulkanów. Pozostałe dwa centra znajdują się na grzbiecie, który ogranicza dolinkę od NW. Wznosi się on około 400 m nad wioską Soporo. Lawy spływały z niego po stoku na SE. Po wypłynięciu lawy, erupcja przybrała charakter wybuchowy i utworzyły się dwa stożki piroklastyczne Pampalquita i Ucuya.

Najmłodsze pole tej fazy – pole Misahuanca powstało około 15 km na północ od Andahua (Fig. 2). Centra erupcji były przywiązane do wschodniej krawędzi rowu, jaki tworzy Dolina Wulkanów. Lawy wylewały się na zachód i częściowo przegrodziły dolinę. Ponieważ lawy spływały na poziomą pampę, doszło do spiętrzenia potoków, które nawarstwiając się utworzyły grubą na ponad 100 metrów pokrywą o powierzchni około 40 km^2 . Główne centrum miało z pewnością kilka dużych faz erupcji. Obecnie można zaobserwować ślady po zapadniętej strukturze, w której widać odnowione małe kopuły Collopampa i Achacara (Smoll *et al.* 1997). Mogła to być grupa kopuł lub jedna duża kopuła. Zachowały się w niej trzy kratery; w zachodnim znajduje się odnowiony stożek piroklastyczny. Jest to stożek piroklastyczny usypany na stoku, z zachodnim zboczem stanowiącym pozostałość po starszym stożku, którego krater był o kilkadziesiąt metrów na zachód. Zwieńczeniem tego centrum jest wulkan Cerro Mauras o wysokości względnej 170 m. Zbocza wulkanu mają nachylenie 28° . Druga kopuła – Tororoca – położona bardziej na południe, była znacznie mniejsza. W jej sąsiedztwie znajdują się dwa stożki piroklastyczne – Challhue Mauras i drugi nazwany roboczo Rogalikiem. Challhue Mauras jest typowym monogenicznym stożkiem, nieco starszym od law, które opływają go tworząc formę przypominającą kołnierz. Drugi mniejszy wulkan wybuchł niemal poziomo w kierunku północy. Szczątki obwałowania krateru tworzą formę zbliżoną wyglądem do barchanu.

Prawdopodobnie podobny wiek (I generacja) ma pokrywa lawowa na zachód od Orcopampy, na której szczycie stoi wulkan Mauras (4000 m n.p.m.). To izolowane pole lawowe zamyka paleodolinę Rio Chilcaymarca przykrywając częściowo aluwia (Mayta *et al.* 2002), a później spychając rzekę ku południowemu brzegowi doliny. W strefie przełomu znajdują się zabudowania podziemnej kopalni złota Chipmo. Lawy tego pola mają miąższość około 100 m

i powierzchnię 6 km². Materiał piroklastyczny ze stożka Mauras jest przedmiotem okresowej eksploatacji i służy do budowy dróg.

Pole lawowe Santa Rosa, położone na południe od pola Misahuanca (Fig. 2) należy już do II generacji. Lawy pokrywają całą szerokość doliny (4–6 km) na długości 16 km, pomiędzy polami Misahuanca a Andahua. Rzeka Andahua płynie pomiędzy zachodnim brzegiem doliny – zbudowanym od północy z jurajskich wapieni, wulkanitów grupy Orcopampa, a następnie kredowych kwarcytów – a lawami. Rzeka w dolnej części pola skręca ostro na wschód i wycina głęboki na około 50 m wąski kanion w lawach farmacji Andahua. Następnie niknie wśród law, z których wypływa na przeciwnym brzegu doliny, tworząc koło wulkanu Yanamuras Norte wodospad. Dalej płynie już wzdłuż wschodniego brzegu doliny do Laguny de Pumajallo, a następnie Laguny de Chachas. Główne centra erupcji znajdują się przy wschodniej krawędzi doliny koło nieczynnej kopalni rud antymonu Santa Rosa. Wydaje się, że ta erupcja była najmocniejsza w Dolinie Wulkanów. Pokrywa ma powierzchnię około 100 km². Lawy wypływały z trzech dużych kopuł, największa o średnicy ponad 2 km. Lawy rozplynęły się promieniście na północ, zachód i południe tworząc grubą na ponad 100 m pokrywę z licznymi lobami potoków. Najdłuższy potok ma długość około 10 km i szerokość 2 km. Niewielki krater lawowy Chipchane powstał na stoku ponad dnem doliny. Lawy z tego krateru spływają na powierzchnię pola lawowego. Najmłodsze erupcje utworzyły trzy stożki piroklastyczne, w tym największy w Dolinie Wulkanów – Cerro Puca Mauras. Stożek ma wysokość 350 m, krater o średnicy 300 m i głębokości 80 m. Brzeg krateru posiada głęboką na 50 m depresję, przez którą wylała się lawa. Pozostałe dwa stożki Santa Rosa i Santa Rosa Sur są znacznie mniejsze i mają charakter monogeniczny.

Druga strefa występowania centrów erupcyjnych na polu Santa Rosa znajduje się na południe od Kanionu Rio Andahua (Fig. 2). Kopuły i wulkany są znacznie mniejsze i rozrzucone na całej szerokości doliny. Zlokalizowano tu dwie duże i pięć małych kopuł lawowych oraz szczelinę erupcyjną o długości kilkuset metrów. Na brzegach tego pola znajdują się cztery stożki: Ticsho, Yanamuras, Norte i Sur oraz mocno zniszczony wybuchem mniejszy stożek położony nad samym Kanionem Rio Andahua. Ticsho jest podcięty od SW przez przepływającą okresową rzekę. Na zboczach bliźniaczych Yanamuras mieszkańcy Andahua, poprowadzili akwedukty.

Prawdopodobnie do tego samego epizodu erupcji wulkanicznych w dolinie należy kopuła lawowa Cerro Andahua z kraterem i ponad 2-kilometrowej długości stromobocznym potokiem (Fig. 2), w którym zachowały się wały boczne. Jest on położony na starszym polu lawowym, ale jest od niego wyraźnie młodszy. Wewnątrz krateru znajduje się młodsza odnowiona kopuła, z której wypłynął potok lawy, a następnie kopuła zapadła się i powstał mniejszy krater. Kopuła Cerro Andahua ma wysokość nieco ponad 100 m i głębokość 50 m. Ściany krateru zbudowane są z law, niewielkiej ilości bomb piroklastycznych i czerwonej scorii. W lawach znaleziono liczne porwaki kwarcytów, pochodzące z podłoża doliny. W odróżnieniu od starszych potoków ten ma profil charakterystyczny dla law spływających w dół po stoku. Przy odgazowaniu powierzchnia i brzegi krzepły szybciej niż jego wnętrze. Ma więc charakterystyczny przekrój poprzeczny – strome zbocza zewnętrzne (na ogół o wysokości 20–40 m) przechodzące w wąskie grzbiety najeżone kilkumetrowymi blokami lawy. Środek potoku tworzy depresję 10–20 m poniżej brzegów. Tą depresją płynęła szybciej niż przy brzegach rzeka lawy, która tracąc gaz krzepła i pękała tworząc żużlowate bloki. Owe bloki, transportowane jak kora na rzece, spiętrzały się u czoła stygnącego potoku. Jednocześnie opadał

poziom lawy w górnej i środkowej części potoku względem znieruchomiiałych brzegów. Podobne cechy mają także inne potoki młodszych generacji, które spływały w terenie o większym nachyleniu.

Samotna kopała lawowa II generacji znajduje się na wschód od wioski Misahuanca (Fig. 2). Lawy wypełniają tu niewielką zawieszoną dolinę.

Południową część Doliny Wulkanów, aż do połączenia z Kanionem Colca, pokrywają lawy najmłodszej – III generacji tworząc pole lawowe Chilcayoc (Fig. 3). W segmencie NW, między wulkanami Jenchaña i Ninamama a Chilcayoc Grande, lawy mają nieco młodszą powierzchnię od tych położonych dalej na południe. Rzeka Andahua przeciska się tu pomiędzy wschodnim brzegiem doliny, zbudowanym z mezozoicznych formacji osadowych, a pokrywą lawową. Brzeg doliny zbudowany z jurajskich wapieni stanowi aktywną krawędź rowu tektonicznego, o czym świadczy zniszczony betonowy most (zbudowany w roku 2000), którego przyczółki odsunęły się powodując, że konstrukcja została złamana i spadła do koryta rzeki. W okolicy Chachas przebiega uskok poprzeczny, dolina traci na nachyleniu, a w okolicy Sucna zaryglowana jest kopałami lawowymi. Rzeka usypuje stożek napływowy i tworzy jezioro zaporowe (Laguna de Chachas). Następnie Rio Andahua niknie pod potokami lawowymi. Nieoczekiwanie po 18 km wypływa spod law tworząc Lagunę de Mamacocha i krótki przelomowy odcinek do Tingo nad Rio Colca.

Erupeje miały miejsce w górnej części tego pola lawowego. Najbardziej na północ następowały wzdłuż linii uskoku przecinającego w poprzek Dolinę Wulkanów. Uskok jest schodowy, ze skrzydłem zrzuconym o około 40 m na SE. Wzdłuż uskoku pojawiają się wychodnie neogeńskiej grupy wulkanicznej Barroso otoczone z północy lawami I generacji pola Andahua. Lawa wydostawała się, co najmniej w 7 miejscach, tworząc kopały zasilające potoki. Ze względu na stromy próg uskoku lawa wypiętrzała się tworząc od północy stromy, nawet 30-metrowy półkolisty wał (Fig. 4) i spływała na SE w formie dość stromobocznego potoku.



Fig. 4. Kopała i potok lawowy Ninamama widziane z północy

Fig. 4. Ninamama lava dome and flows from north

Największy z potoków, Ninamama, ma długość około 4 km i szerokość 1 km. Na powierzchni potoku występują ostrokrawędziste bloki i iglice lawy *aa*. Ze szczeliny źródłowej na krawędzi kopuły wydobywa się siarkowodór, a na spękanej lawie wytrąciła się siarka rodzima i gips.

Na innym potoku z tej strefy, na NW od stożka piroklastycznego Jenchaña (Fig. 3), znajduje się porzucona osada o nazwie Antaymarca. Pozostałości domów i chodniki ułożone z płyt lawy Andahua porastają rzadkie kaktusy. Według polskiego archeologa M. Sobczyka (inf. ustna) osada powstała najwyżej 200–300 lat temu. Wydaje się, że ludzie zasiedlili te obszary wkrótce po zakończeniu działalności wulkanicznej. W jednostronnie otwartym kraterze wulkanu Jenchaña miejscowa ludność zbudowała *corral* do ćwiczenia byków na *corride* (Fig. 5).



Fig. 5. Wnętrze krateru wulkanu Jenchaña

Fig. 5. Inside Jenchaña volcanic crater

Kolejna strefa centrów erupcyjnych znajduje się około 2 km na SE, u wylotu bocznej doliny, gdzie znajduje się wioska Soporo (Fig. 3). Najstarszym z nich wydaje się być wulkan Jechapita, który stanowi przykład idealnego stożka piroklastycznego. Wulkan stoi na miejscu wcześniejszego wypływu lawy o czym świadczą wyraźne struktury płynięcia dwóch niewielkich potoków. Dwa mniej regularne stożki piroklastyczne stojące nieco w górę Doliny Wulkanów, tj. Chico i Chilcayoc są rozerwane przez potoki lawy, które z nich wypłynęły i otoczyły Jechapitę (Fig. 6). Kolejny stożek – Chilcayoc Grande – znajduje się w odległości 3 km w dół doliny. Także z tego wulkanu wypływała lava. Jest to największy stożek na tym polu lawy. Ma 140 m wysokości i owalny krater głęboki na około 60 m. Oplływają go potoki law III generacji. W bliskim sąsiedztwie wulkanu znajduje się pięć niedużych kopułek lawowych.



Fig. 6. Wulkan Jechapita w otoczeniu najmłodszej generacji law. W tle po lewej wulkany Chico i Chilcayoc, z potokami lawy

Fig. 6. Jechapita volcano and the youngest lava flows. At the left Chico and Chilcayoc volcano with lavas

Na przedpolu bocznej doliny, w której znajduje się osada Sucna, znajduje się jeszcze jedna grupa centrów erupcji. Wyróżniono tu dwie duże i trzy mniejsze kopuły lawowe. Najwyższa z kopuł wznosi się 70 m ponad dno bocznej doliny, do której wpłynęły lawy. Dno doliny podnosi się łagodnie na NE i lawy wpłynęły tylko kilometr w głąb tarasując jej połączenie z Doliną Wulkanów. Natomiast pozostałe potoki wypływały promieniście zalewając lawą Dolinę Wulkanów. Największa objętość lawy spłynęła w stronę Kanionu Rio Colca tworząc potoki o długości przeszło 20 km. Lawa była bardziej płynna i utworzyła wały przypominające moreny boczne lodowca. Szerokość potoku rzadko przekraczała 1 km. Potoki spływały po progach dwóch uskoków poprzecznych do osi doliny tworząc na nich krótkie kaskady z charakterystycznymi *levee*. Powierzchnia tych potoków jest zaczerwieniona być może wskutek wietrzenia w strefie cieplejszego klimatu, jaki panuje na wysokości poniżej 2500 m n.p.m. Poniżej Ayo, potoki lawy są pocięte młodymi uskokami podłużnymi, które ciągną się do samego Kanionu Colca. Na ścianach uskoków, m.in. nad Laguną de Mamacocha, spod cienkiej tu grupy Andahua odsłania się starsza grupa wulkaniczna Barroso.

Dolina Rio Sora

Dolina Rio Sora ma założenia tektoniczne i jest bocznym odgałęzieniem segmentu Andahua–Orcopampa (Fig. 2). Leży na przedłużeniu środkowego segmentu Doliny Wulkanów i ma podobny przebieg. Górna część doliny Rio Sora jest płaska i tworzy rozległą pampę na wysokości 4400–4600 m n.p.m. Rzeka Sora płynie początkowo leniwie, tworząc szerokie rozlewi-

ska. Następnie wskutek zatarasowania dna doliny przez lawy grupy Andahua wcina się pomiędzy lawy a zachodni brzeg doliny tworząc kręty przełom. W tym przełomie następuje połączenie z rzeką Ocoruro, która wpada do Rio Andahua.

Najstarsze erupcje (I generacja) miały miejsce na grzbietach otaczających Dolinę Rio Sora od północy. Są to dwie nieduże kopuły: Umajala i Jullulluyoc. W obu przypadkach doszło do wypływu na samym grzbiecie, co spowodowało, że lawy spływały po obu jego stronach. Kopuła Umajala znajdowała się w strefie oddziaływania lodowca, stąd potoki są zniszczone i odsłaniają się ich wnętrza zbudowane z law masywnych. W kopule Jullulluyoc zachował się kształt krateru lawowego a potoki zachowały nawet charakterystyczne *levee*. Długość potoków dochodziła do 1.5 km.

Następnie doszło do erupcji (II generacja) w dnie doliny, prawdopodobnie najpierw w jej górnej części. Lawy wypływały z co najmniej trzech centrów (Fig. 2). Obecnie widoczne są dwa, a w miejscu trzeciego stoi stożek piroklastyczny Misahuana Mauras. Potoki rozlewały się szeroko po pampie, a następnie spływały w dół w kierunku Doliny Wulkanów. Na wysokości Laguny Pabellón pole lawowe rozszerza się na całą szerokość doliny (6 km). Znajdują się tu kolejne centra erupcji – kopuła Jochane i dwa stożki Pabellon i Yana Mauras. W dół doliny pojawiają się kolejne mniejsze kopuły, które jednak z powodu częściowej erozji i pokrycia roślinnością są mniej czytelne. Mogą to być miejsca wypływu lawy z zastygłego potoku typu *tumulus*. Pole lawy ma łącznie długość 20 km i szerokość 1–6 km.

Antapuna

Masyw Antapuna zamyka od północy Dolinę Wulkanów (Fig. 7). Południkowy rów Andahua – Orcopampa przechodzi tu w mniejszy rów Rio Huarcarama o przebiegu NE-SW. Wulkanity Andahua tworzą wyspę czapy na zrębach wyniesionych ponad 4500 m n.p.m., tj. 700–1000 m ponad dno doliny. Największa z nich otacza relikty stożka Antapuna (4890 m n.p.m.). Inne tworzą kopuły lawowe w źródłowej części Rio Umachulco, koło kopalni Arcata oraz mieszane formy piroklastyczno-lawowe koło kopalni Ares. Wydaje się, że są to utwory I generacji. Największe centrum erupcyjne – Antapuna wznosi się około 1000 metrów ponad dno Doliny Wulkanów. Wskutek silnej erozji glacialnej zachowały się tylko fragmenty dużego, słabo nachylonego stożka, który mógł mieć średnicę ponad 4 km. Na południowy wschód od tego krateru widać ślady stożka pasożytniczego. Lawy wypływały promieniście, na niemal płaski obszar, tworząc pokrywę o powierzchni przeszło 80 km². Wydaje się, że zasilanie następowało także z kopuły Tanca. Przejawem zjawisk postwulkanicznych są źródła wód termalnych w Huancarama, które znajdują się w odległości 6 km na południe od szczytu Antapuny.

Znacznie mniejsze centrum erupcyjne o tej samej nazwie – Cerros Antapuna – położone jest bardziej na zachód nad Doliną Umachulco (Fig. 7). Lawy tworzą dość płaską pokrywę podciągniętą przez rzekę Umachulco. Pokrywa ma 1.5 km szerokości i około 6 km długości.

Kolejne centra erupcyjne znajdują się koło kopalni złota Ares, na stokach Cerro Cajchaya (Fig. 7). Stwierdzono tam jedną kopułę i dwa stożki piroklastyczne. Wszystkie formy są mocno zniszczone przez lodowiec. Najbardziej na wschód położony stożek został częściowo zniszczony, a następnie woda z ustępującego lodowca wypłukała luźny materiał, pozostawiając w formie ostańców fragmenty stożka zbudowane ze spieczonych bomb i aglomeratów. Materiał wulkaniczny na przedpolu lodowca nosi ślady geliflukcji i ma wyraźne struktury poligonalne. Na masywnych lawach, które wypływały z kopuły, są wyraźne rysy lodowcowe.

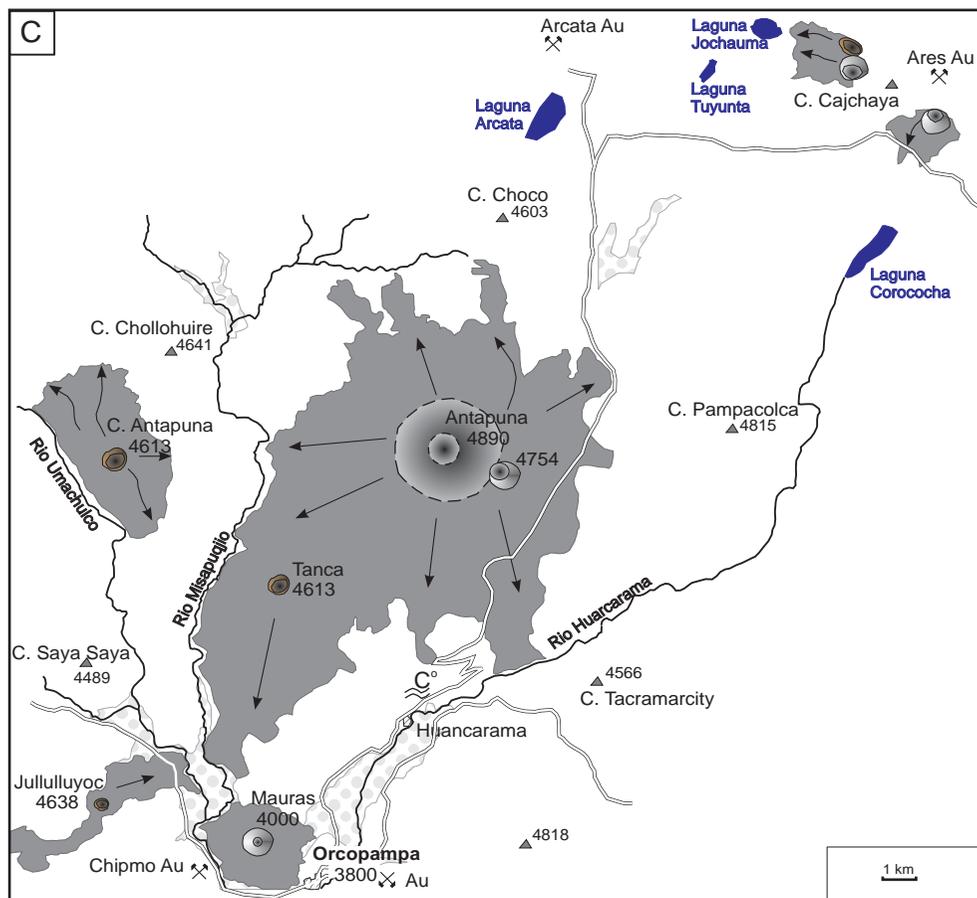


Fig. 7. Zasięg grupy Andahua w rejonie Antapuna (C). Objasnienia jak do figury 2

Fig. 7. Andahua group at the region of Antapuna (C). Explanations – see figure 2

Na północ od tego obszaru znajdują się jeszcze dwa wystąpienia tej grupy wulkanicznej, która pomimo podobnej formy i wieku została nazwana grupą Santo Tomás (Moncayo 1994). Formy te nie zostały uwzględnione w niniejszej pracy.

Shila

Postrzępiony masyw górski Shila (Chila), będący reliktem mioceńskiej kaldery Huayta (Marcoux *et al.* 1998, Paulo & Gałaś 2005) tworzy północno-wschodnie obramowanie Doliny Wulkanów. Obszar powyżej 5300 m n.p.m. jest pokryty wiecznym śniegiem. W masywie Shila działa kopalnia złota i srebra, która ma wyrobiska nawet na wysokości 5200 m.

W pobliżu wyrobisk kopalni, znajdujących się w przeobrażonych skałach wulkanicznych formacji Orcopampa, rozpoznano najwyżżej położone centra erupcyjne grupy Andahua (Fig. 8). Są to dwie kopuły lawowe i stożek piroklastyczny Ticlla (5300 m n.p.m.).

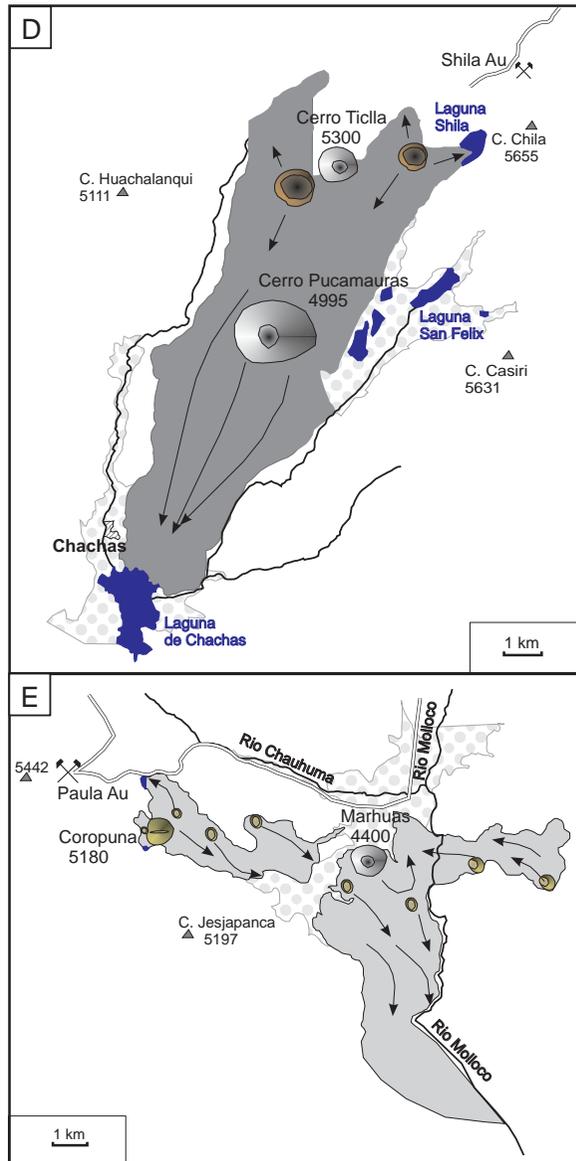


Fig. 8. Zasięg grupy Andahua w rejonie kopalni Shila (D) i Paula (E). Objasnienia jak do figury 2

Fig. 8. Andahua group at the region mine Shila (D) and Paula (E). Explanations – see figure 2

Lawy należą prawdopodobnie do I generacji. Wszystkie formy noszą wyraźne ślady erozji glacialnej. Potok masywnych law widoczny koło Laguny Shila jest wygładzony pod wpływem lodu. Lawy spływały głównie w stronę Laguny de Chachas w Dolinie Wulkanów tworząc pokrywę o powierzchni ponad 40 km². Na lawach wykształciły się już gleby i dolna

część ich pokrywy jest zagospodarowana rolniczo przez mieszkańców wioski Chachas. Czoło potoku lawy znajduje się obecnie pod wodą i osadami laguny na wysokości 2900 m. W połowie tej drogi spływu powstał stosunkowo duży stożek piroklastyczny (około 250 m) Puca-mauras. Wulkan jest wyraźnie młodszą formą w tym rejonie.

Rio Mollocco

Jest to stosunkowo mały obszar występowania grupy Andahua, ale interesujący ze względu na różnorodność form. Produkty wulkanizmu zaliczono do II generacji mimo objawów erozji glacialnej. Formy morfologiczne są dobrze zachowane. Główne pole lawowe wypełnia dno Doliny Mollocco (Fig. 8). Zlokalizowano tam dwie małe kopuły lawowe, z których lava spływała w kierunku Kanionu Colca. Powyżej tych kopuł znajduje się stożek piroklastyczny Marhuas o względnej wysokości 120 m. Opływa go od wschodu potok lawy z wyraźnymi wałami brzegowymi. Inny potok lawy spływa z małej dolinki glacialnej gdzie zlokalizowano dwa małe kratery lawowe.

Podobna dolinka znajduje się po zachodniej stronie Doliny Mollocco i jest także częściowo wypełniona lawami Andahua. W górnej części tej dolinki znajduje się kopalnia złota Paula. Do erupcji doszło w dnie tej dolinki (poniżej kopalni), a lawy spływały w stronę Doliny Mollocco. Znajduje się tu największa spośród obserwowanych kopuł grupy Andahua – Cerro Coropuna o wysokości względnej 250 m. Kopuła jest niezwykle stroma (Fig. 9) i w całości zbudowana z lawy masywnej. Możliwe, że była to kopuła ekstruzywna typu Pelee. Jej szczyt znajduje się na wysokości 5180 m n.p.m.



Fig. 9. Kopuła lawowa Cerro Coropuna (5180 m n.p.m.). W tle stratowulkany Sabancaya i Ampato
Fig. 9. Cerro Coropuna (5180 m a.s.l.) lava dome. At the horizon Sabancaya and Ampato strato-volcanoes

Mniejsze kopuły lawowe znajdują się 1–3 km na wschód. Wypływają z nich potoki lawy blokowo-żuźlowej. Pokrywa lawowa w tej dolinie ma grubość nieco ponad 10 m, a długość poszczególnych potoków 1–3 km. Koluwia zawierają niewiele materiału z grupy Andahua.

Caylloma

Jest to obszar wyżyny górskiej, wewnątrz plioceńskiej kaldery zlokalizowanej na południe od Caylloma (Fig. 1). Znajdują się tu samotne stożki piroklastyczno-lawowe skał typowych dla grupy Andahua. Noszą nazwy: Antaymarca, Saigua, Challpo, Andallullo, Antacollo i Sani. Mimo surowego klimatu na wysokości około 4500 m n.p.m. stożki są częściowo porośnięte roślinnością i należy je uznać za I lub, co najwyżej, II generację wiekową. Dokładnie zbadany został wulkan Antaymarca, którego nazwa pochodzi od obronnego muru, który został wzniesiony wokół szczytu. Wulkan ma wysokość 140 m i dość płaski wierzchołek o średnicy 100 m. Krater nie zaznacza się. Na wierzchołku obserwowano mocno porowatą lawę, pumeks, skorię i bomby wulkaniczne oraz nieco law trzewiowych (Fig. 10).

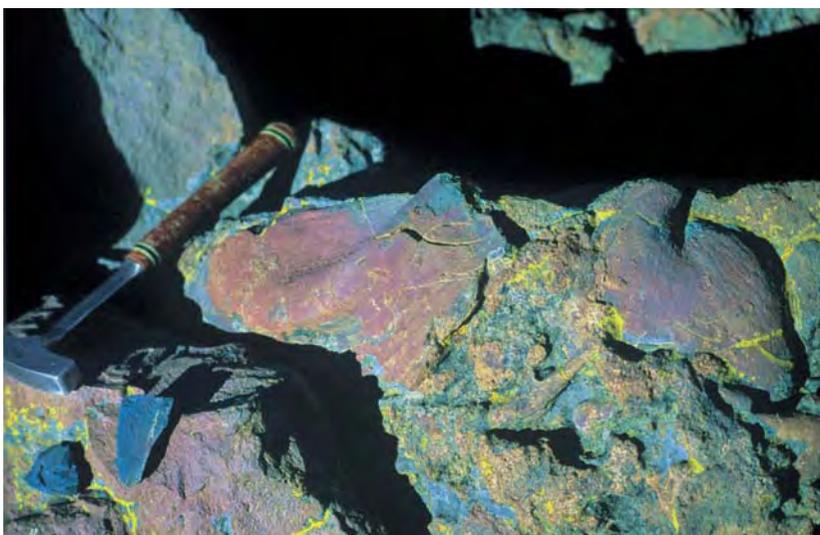


Fig. 10. Lawa trzewiowa z krateru wulkanu Antaymarca

Fig. 10. Intestine lava from Antaymarca volcano

Gloriahuasi

Jest to obszar położony po południowej stronie Kanionu Colca (Fig. 11), niemal niezamieszkały ze względu na nieliczne źródła wody. Lawy należą do najstarszej generacji (I).

Ze względu na wysoki stopień erozji za najstarsze uznano trzy pola lawy w sąsiedztwie Gloriahuasi. Na polu Luceria istnieją dwa stożki piroklastyczne Honda i San Cristobal, które prawdopodobnie wyrosły w końcowej fazie erupcji na kopułach lawowych. Lawy spływają do Kanionu Colca. Pole drugie – Gloriahuasi – tworzy w górnej części dość zwartą pokrywę, z której w kierunku kanionu spływały szerokie potoki lawy.

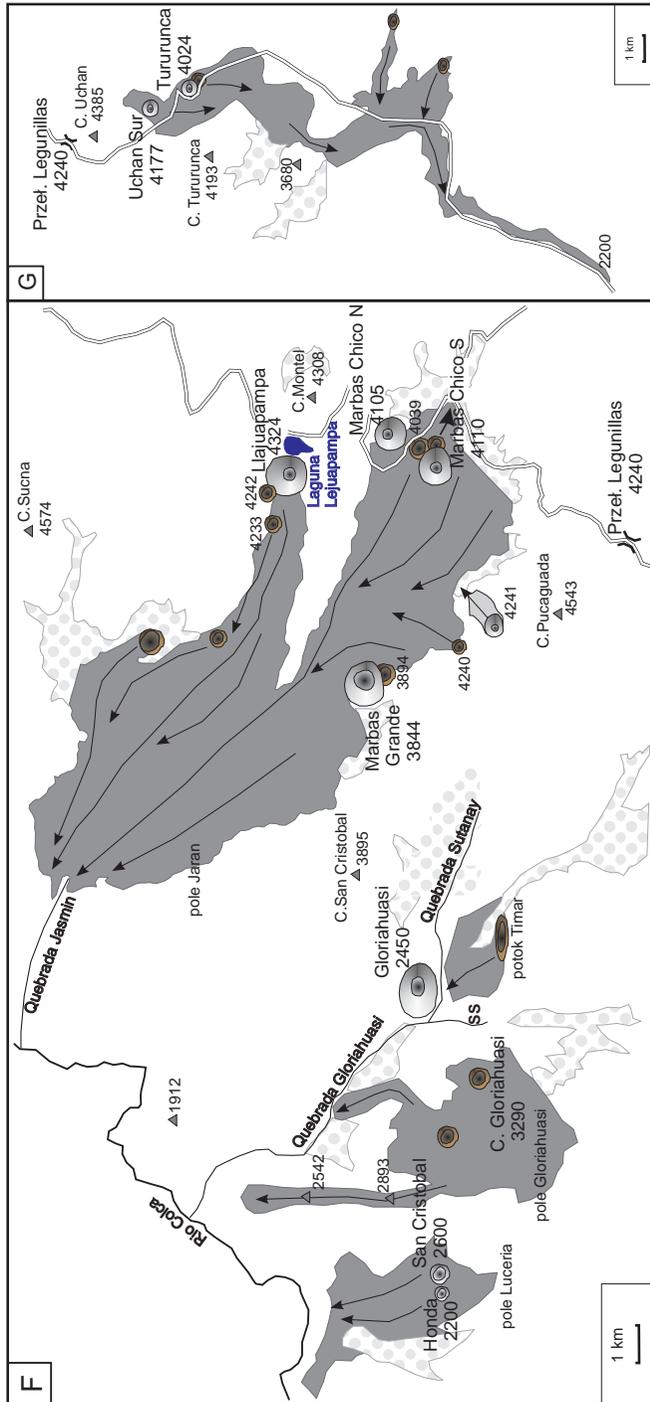


Fig. 11. Zasięg grupy Andahua w rejonie Przełęczy Legunillas (F i G). Objasnienia jak do figury 2

Fig. 11. Andahua Group at the region Legunillas Pass (F and G). Explanations – see figure 2

Obecnie widoczne są tylko fragmenty tych potoków w postaci wąskich listew na grzbietach rozoranych wązozami nad kanionem. Pole to było zasilane przez kilka centrów erupcyjnych, z których dwa są dobrze zachowane.

Potok Timar wydobywał się z jednego centrum, prawdopodobnie długiej na ponad kilometr szczeliny. Pole urywa się tworząc urwisko nad skrzyżowaniem Dolin Sutanay i Gloriahuasi. Ma ono wysokość około 400 m. Naprzeciw tej struktury znajduje się duży wulkan Gloriahuasi o wysokości względnej 450 m (Fig. 12). Jest to jedyny stratowulkan należący do grupy Andahua.



Fig. 12. Stratowulkan Gloriahuasi

Fig. 12. Gloriahuasi stratovolcano

U źródeł potoku Gloriahuasi, w stromym wąwozie, skały pokryte są nalotami siarki rodzimej – prawdopodobnie efekt procesów postwulkanicznych.

Największe w tym rejonie jest pole Jarán o powierzchni około 75 km². Wyróżniono w nim 13 centrów erupcyjnych (Fig. 11). Lawy wypływały w górnej części doliny Rio Jarán (dziś suchej) oraz na jej brzegach i rozwidleniach, a następnie połączyły się w jedno pole. W ten sposób całe dno doliny na długości 19 km wypełniła pokrywa law o szerokości dochodzącej do 6 km. Dolina Jarán jest zawieszona nad Kanionem Colca. Po ustaniu erupcji rzeka rozcięła lawy wązozami odkładając na ich brzegach tarasy zwirowe. Obecnie woda pojawia się okresowo.

Po zakończeniu emisji law niektóre centra wyrzucały jeszcze materiał piroklastyczny, z którego usypywane były stożki. Najwyższy z nich to wulkan Llajuapampa (4324 m n.p.m.), który ma wysokość względną 170 m. Zatamował on spływ wód spod Cerro Montel tworząc małe jezioro. Wulkany Marbas Chico Sur i Norte oraz Marbas Grande są niewiele niższe. Stożek Marbas Chico Norte ma wysokość 139 m i nachylenie stoku 35°. Na stoku Cerro Pucaguada, 400 m powyżej dna doliny, znajduje się jeszcze jeden stożek, który wydaje się być

niewielki (II generacja). Początkowo z tego centrum wypłynęła lawa, która spłynęła w dół po stoku na aluwia. Drugie centrum położone na tym samym stoku około 1 km na NW emitowało lawę, która połączyła się z głównym polem lawowym w dnie doliny.

Najbardziej na południe znajduje się pole Uchan, przez które prowadzi droga z Huambo do Pedregal i dalej do Arequipy (Fig. 11). Lawy z tego pola spływają długim na 10 km i wąskim potokiem na SW. Zlokalizowano tu dwa stożki piroklastyczne: Uchan Sur (4177 m n.p.m.) i Tururunca (4024 m n.p.m.). Emisje law w środkowej części następowały ze szczelin.

Rejon Huambo–Cabanaconde

Większość centrów erupcyjnych znajduje się na rozległym płaskowyżu (3400–4300 m n.p.m.), którego brzeg tworzy południową krawędź Kanionu Colca. Najstarsze erupcje miały miejsce na NE od wioski Chinini. Lawy wypływały z kilku kopuł, z których największa ma obecnie wysokość względną ponad 100 m. Duża część law spływała kaskadą do doliny, gdzie leży Chinini, a pozostała część rozlewała się po płaskowyżu pampy. Kolejne erupcje miały miejsce bardziej na północ, na uskoku równoległym do przebiegu Kanionu Colca (SW-NE)(Fig. 13). Prawdopodobnie były to wyływy szczelinowe, a aktywność uskoku trwała jeszcze po zakończeniu erupcji. Linia kopuł jest wyraźnie podniesiona od strony kanionu (Fig. 14). Nieco młodsze są lawy, których centra erupcji są położone w SE części tego pola lawowego. Krawędzie tych potoków i miejsca erupcji są lepiej zachowane. Można wskazać, co najmniej trzy kopuły, z których potoki wypływały na zachód oraz na północ łącząc się ze starszymi lawami. Te ostatnie potoki dotarły aż do kanionu, spływając stromą kaskadą na jego dno. Najdłuższy potok ma 14 km. Także te potoki przecięte są wspomnianymi uskokami. Najmłodszą formą wulkaniczną na tym polu lawy jest wulkan Mojonpampa, który usytuowany jest na dawnej kopule lawowej. Pokrywa law ma powierzchnię około 100 km².



Fig. 13. Kopuły lawowe najstarszej generacji przecięte uskokiem równoległym do przebiegu Kanionu Colca

Fig. 13. Lava domes cut through by fault parallel to Canyon Colca

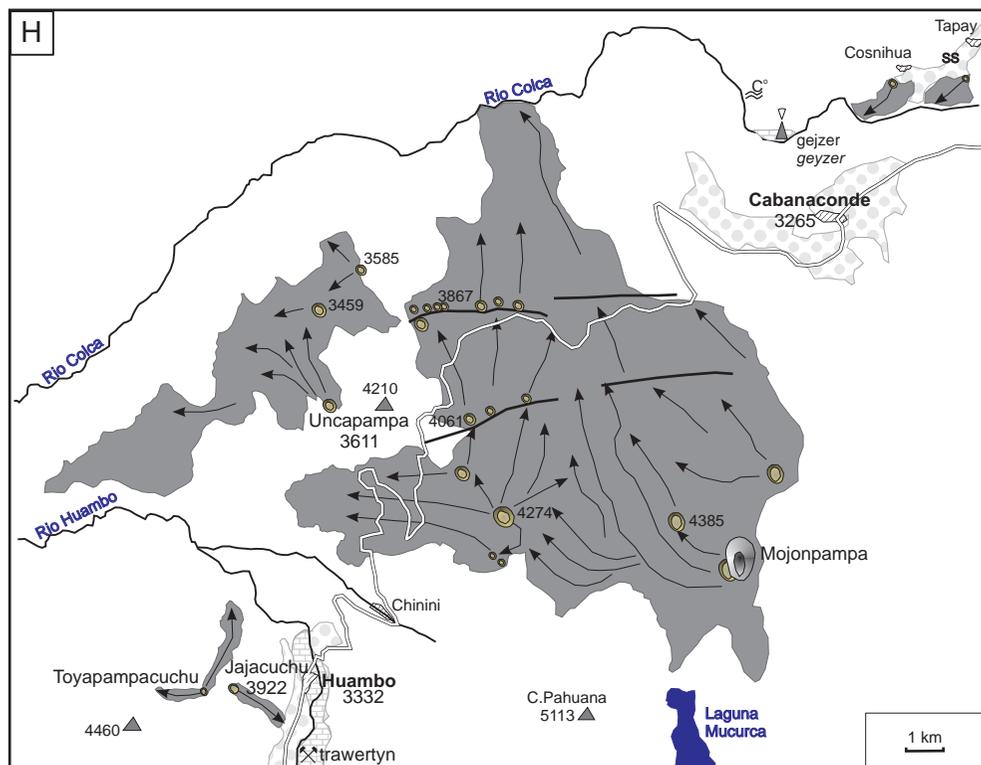


Fig. 14. Zasięg grupy Andahua w rejonie Huambo – Cabanaconde (H). Objasnienia jak do figury 2

Fig. 14. Andahua group at the region Huambo – Cabanaconde (H). Explanations – see figure 2

Drugie pole lawowe oddzielone jest od wcześniej opisanego wysokim, na około 600 m, grzbietem, (4210 m n.p.m.) (Fig. 14) zbudowanym ze sfałdowanych kwarcytów (grupa Yura, jura/kreda), które przykrywa intruzja dacytu. Kopyły dacytowe zaliczane obecnie do grupy Andahua (Caldas *et al.* 2002) w rzeczywistości należą do starszej formacji. Pole jest wiekowo zbliżone do najstarszych erupcji. Centra erupcji są znacznie zniszczone erozją, a przebieg potoków jest tylko miejscami możliwy do odczytania. Powierzchnia law tworzy jakby stoliwo nad kanionem. Brzegi tego pola lawowego są erozyjne. Wyróżniono tu trzy centra erupcyjne. U podnóża grzbietu znajduje się krater lawowy – Uncapampa (3611 m n.p.m.), w centrum pola jest natomiast zerodowana kopyła (3459 m n.p.m.). Mała kopyła (3585 m n.p.m.) znajduje się na samym grzbiecie w jego części schodzącej w stronę kanionu. Z tej kopyły lawy wypływały na obie strony grzbietu.

Pozostałe erupcje w tym rejonie miały znacznie mniejszy zasięg. Dwa kratery lawowe zlokalizowane są na grzbietach (Toyapampacuchu i Jajacuchu) nad Huambo. Potoki lawy spłynęły na obie strony grzbietów, a najdłuższy (4 km) dotarł na dno Doliny Huambo. Część Doliny Huambo na wysokości od 3400 do 3700 m n.p.m. wypełniona jest grubą pokrywą trawertynu, związanego z działalnością wulkaniczną.

Ślady dwóch niewielkich wypływów lawy można obserwować także w samym kanionie poniżej Tapay i pomiędzy Tapay a wioską Cosnihua (Fig. 14). Na ścianach wąwozu schodzącego do Rio Colca, poniżej law, skały są pokryte nalotami siarki rodzimej. A w samym Kanionie Colca, nieco na zachód, znajduje się wygasły gejzer i zbocza zbudowane z trawertynu.

Chivay

Jest to obszar oddalony około 50 km od Cabanaconde i stosunkowo mały (Fig. 15). Lawy prawdopodobnie pochodzą z dwóch okresów – starszego I i średniego II. Starsze zajmują dno i północny brzeg Doliny Rio Colca koło Chivay. Rio Colca wypreparowała w nich głęboki na kilkadziesiąt metrów kanion. Około 3 km na północ od Chivay pojawia się pole lawowe młodszych law. Rzeka opływa je od wschodu. Pole było zasilane przez co najmniej 11 kopuł lawowych, z których największe znajdują się w jego górnej części. Lawy spływały w stronę Chivay.

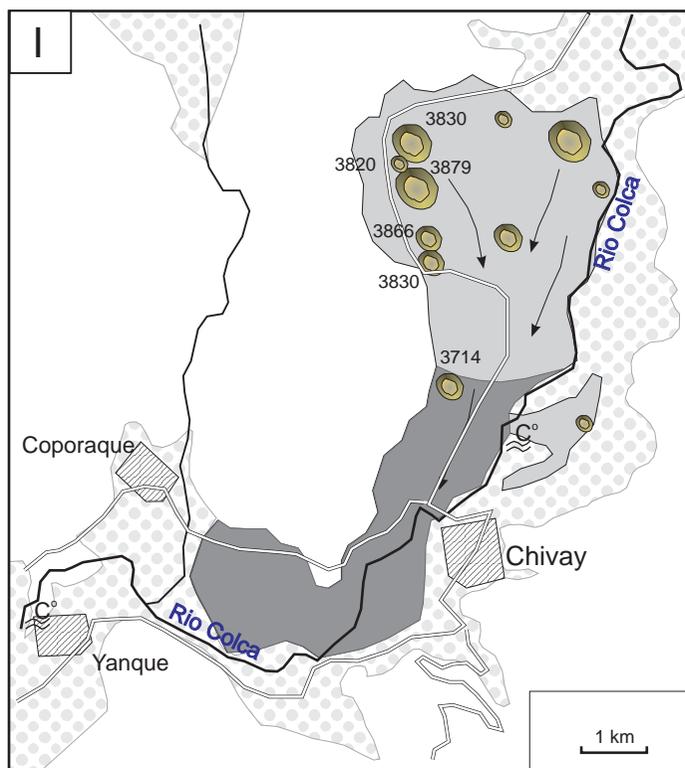


Fig. 15. Zasięg grupy Andahua w rejonie Chivay (I). Objaśnienia jak do figury 2

Fig. 15. Andahua group at the region Chivay (I). Explanations – see figure 2

Możliwe, że holoceniński potok lawowy Queñua Ranra (Weibel & Fejér 1977) wypływający spod czapy lodowej wschodniego wierzchołka stratowulkanu Coropuna (tj. z wysokości co najmniej 5500 m n.p.m.) należy również do grupy Andahua.

ZWIĄZKI AKTYWNOŚCI WULKANICZNEJ Z TEKTONIKĄ

Zdaniem Caldas (1993) pokrywy lawowe i stożki piroklastyczne Andahua grupują się wzdłuż niecek tektonicznych i wąwozów, które mają założenie tektoniczne i wynikają z regionalnej tensji wzdłuż uskoków i wcześniejszych szczelin kompresyjnych. Głębokie pęknięcie skorupy sięgało jego zdaniem aż do komór magmowych, powodując spadek ciśnienia i podnoszenie się magmy.

Powyższy pogląd trzeba przyjąć z zastrzeżeniem. Centra erupcji nie są bowiem ograniczone do Doliny Wulkanów lecz występują również na zrębach, np. Antapuna nad Orcopampa (Fig. 7), centra koło kopalni Shila, Paula i Ares (wszystkie powyżej 4800 m n.p.m.) (Fig. 8). Pola law w środkowej części tej doliny wydają się wypełniać pasywnie depresję, a zidentyfikowane centra erupcji lub szczeliny wiążą się z uskokami poprzecznymi do doliny. Taka sytuacja ma miejsce wzdłuż linii wulkan Jenchaña – kopuła Ninamama oraz grupa kopuł zamykających dolinę Sucna (Fig. 3).

Tektonika w tej części Andów wskazuje na następujący układ sił w kenozoiku: rozciąganie N-S i kompresja sub-równoleżnikowa, która zanika od końca plejstocenu (Mering *et al.* 1996).

Wyróżnić można następujące trzy systemy uskoków:

- 1) grawitacyjny, stromy o kierunku 330–360°, który ogranicza dolinę Andahua w okolicy Poracota, Orcopampa i Ayo, a jednocześnie przecina starsze potoki law Andahua (Fig. 11);
- 2) przesuwczy, lewoskrętny, około 300°, powodujący wzajemne przesunięcie północnej i południowej części tej doliny;
- 3) grawitacyjny, pochylony ku SE, o biegu 50–90°, który zaznacza się w terenie rozwojem wąwozów.

Systemy 2 i 3 wydają się aktywne, lecz niewykluczone, że rola 2 systemu ogranicza się do osłabienia górotworu i rozwoju rzeźby dolinnej (Gałaś & Paulo 2005).

Ustalenie związku centrów erupcji grupy Andahua z tektoniką lokalną wymaga dalszych badań.

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNO-LITOLOGICZNA WULKANITÓW ANDAHUA

Lawy Andahua są czarne lub ciemnoszare, a w strefie poniżej 3000 m n.p.m. na zwietrzałej powierzchni czerwone. Tefra stożków wulkanicznych jest w przewadze czarna, a tylko w pobliżu kraterów aglomerat bomb spojony lawą i scoria są czerwone. Popioły są czarne, nieraz z białymi warstewkami minerałów ilastych. Wszystkie te produkty cechuje znaczna porowatość 10–40%, sięgająca w stożkach ponad 70%. Lawy blokowe wyciśnięte z kopuły są wyraźnie mniej porowate, niekiedy megaskopowo masywne w pobliżu miejsc erupcji. W miarę oddalania się od nich wzrasta porowatość i powierzchnia przyjmuje formę żuźłowatych bloków lawy typu aa. Na wierzchołku wulkanu Antaymarca zaobserwowano lawę trzewiową. Oczywiście na starszych potokach żuźłowata skorupa jest już usunięta przez erozję, albo trudno dostrzegalna na skutek wypełnienia przez produkty wietrzenia oraz pokrycia przez inicjalne gleby i rośliny. W kanionach rzek Andahua, Chilcaymarca i Colca, a także w grzbietowych częściach Kordyliery Zachodniej, które do niedawna były zlodowaczone, odsłonięte są lawy masywne z wnętrza potoków.

Wśród wulkanitów Andahua przeważają skały afanitowe i porfirowe o małej zawartości fenokryształów, do 20%. Są to głównie fenoandezyty, czyli skały zawierające plagioklaz i pirokseny, a podrzędnie oliwin i/lub hornblendę i tytanomagnetyt. W kilku miejscach występują bazalty oliwinowe i fenodacyty, czyli skały o przewadze hornblendy wśród minerałów ciemnych, niekiedy występującej w towarzystwie biotyту. Analizy chemiczne (Hoempler 1962, Weibel & Fejér 1977, Venturelli *et al.* 1978, Delacour 2002) potwierdziły dość szeroką gamę składu: 51.8–67.9% SiO₂, przy czym większość próbek mieści się w przedziale 55–61% SiO₂ oraz 2–3% K₂O. Są to zatem wysokopotasowe andezyty (latyandezyty) i andezyty bazaltowe.

W pobliżu Andahua lawy zawierają liczne ksenolity białych kwarcytów dolnej kredy (Caldas 1994). Kwarcyty te budują wysokie zbocza doliny, a zapewne występują na dnie rowu wypełnionego lawami.

Badania fenokryształów mikrosondą elektronową (Delacour 2002) wykazały obecność zonalnych plagioklazów An₆₃₋₇₂ w bazaltach i An₂₉₋₄₉ w dacytach, a członów pośrednich labrador-andezyn w andezytach. W fenokryształach plagioklazów obserwowano strefy bogate w inkluzje szkliwa. Plagioklasy są również dominującymi składnikami mikrolitów i mikrokryształów, a ich skład jest tylko nieznacznie bardziej kwaśny od składu fenokryształów. Na podstawie tych obserwacji wnioskowano o przederuptywnym stanie magmy bliskim likwidu-su i dość dużym udziale H₂O, rzędu 2–5%. Wśród piroksenów przeważa augit; w niektórych andezytach obecny jest też enstatyt tworzący otoczki na oliwinie. Oliwiny reprezentowane są przez człon magnezowy ze znaczną domieszką Cr i Ni. Amfibole badane przez Delacour (2002) miały skład Mg-hastingsytu i tschermakitu, były otoczone koronami ilmenitu i tytanomagnetytu.

Skały wulkaniczne niosą swoisty zapis procesów zachodzących w kilku miejscach: miejscu ich narodzenia w głębi Ziemi, w komorze wulkanicznej, gdzie magma dojrzewała oraz na powierzchni, gdzie płynęła i stygła. Z badań Delacour *et al.* (2002) wynika, że komory magmowe wulkanów Andahua są oddzielne od komór wielkich stratowulkanów i znajdują się prawdopodobnie na głębokości 10–40 km. Ich dokładniejsza lokalizacja wymaga jednak badań sejsmologicznych.

PROGNOZA ZAGROŻEŃ ERUPCJAMI

Erupcje wulkaniczne mają tak różną energię i tak różnorodny styl, że są trudno porównywalne. Rozmiary erupcji i zagrożenie życia są kwalifikowane przy użyciu wskaźnika eksplozywności, VEI (Newhall & Self 1982, Simkin & Siebert 1994). Dziewięciostopniowa skala VEI (*Volcanic Explosivity Index*) jest proporcjonalna do rzędu (n) objętości wyrzuconej tefry, mierzonej w km³:

$$\text{Stopień VEI} = (0.00001 \div 0.0001) \cdot 10^n \text{ km}^3$$

Każdy wulkan ma swoisty sposób działania, który często jest bardzo złożony, komplikuje go cykliczność wylewów i wybuchów. Rozszyfrowanie historii dotychczasowej aktywności i stylu erupcji pozwala jednak na prognozowanie charakteru przyszłych wybuchów. Przebieg erupcji wulkanicznej można odczytać z ułożenia produktów wybuchu, zwłaszcza w warstwach piroklastycznych.

Podczas wybuchów piroklastycznych koło Andahua rozżarzone bomby i fragmenty lawy były wystrzeliwane z krateru; opadały na powierzchnię stożka, a sporadycznie wokół niego

w promieniu 100–1500 m. Takie fajerwerki trwają we współcześnie czynnych wulkanach zwykle kilka dni. Jeśli zachodziły w Dolinie Andahua, nie były zauważone w innych częściach Andów. Odpowiadałoby to stopniom 1–2 (a wyjątkowo 3) VEI. Obserwacja powierzchni potoków zakrzepłej lawy wskazuje, że spływały one powoli (stopień 0 VEI) (Gałaś & Paulo 2005).

Kilka miasteczek i wsi – Orcopampa, Andahua, Soporo, Chachas, Misahuanca, Huambo – leży tuż pod stożkami i kopałami wulkanicznymi. Wulkany te wydają się bezpowrotnie wygasłe, choć bywają określane jako drzemiące (Fidel *et al.* 1997). Najmłodsze centra erupcji znajdują się w odległości kilku kilometrów od najbliższych osiedli, a układ topograficzny uniemożliwiłby spływ lawy w ich kierunku, gdyby doszło do wznowienia działalności z tych miejsc. Jednakże migracja miejsc erupcji, charakterystyczna dla grupy Andahua sprawia, że należy oczekiwać wznowienia erupcji w nowych miejscach. Będą one prawdopodobnie ułożone wzdłuż uskoku o kierunku NEE i NWW, tj. poprzecznych i podłużnych względem środkowego segmentu Doliny Wulkanów.

Choć niebezpieczeństwo nowych erupcji jest niewielkie to grupa Andahua zasługuje na uwagę wulkanologów. Ze względu na dużą ilość centrów wulkanicznych zlokalizowanych na małym terenie jest mikropoligonem badawczym. Jest prawdopodobnie najmłodszą formacją wulkaniczną w Andach, która pozostaje niezbadana. Jednocześnie ma niezwykle walory krajobrazowe i edukacyjne. Ochrona jej najciekawszych form w Dolinie Wulkanów w granicach przyszłego parku narodowego jest w pełni uzasadniona.

Autor wyraża specjalne podziękowanie prof. Andrzejowi Paulo za zaproszenie do wzięcia udziału w wyprawie rekonesansowej w 2003 roku i pomoc merytoryczną w realizacji projektu badań nad grupą Andahua.

Praca została wykonana w ramach badań własnych AGH, nr 10.10.140.449

LITERATURA

- Cabrera M. & Thouret J.-C., 2000. Volcanismo monogenético en el sur del Perú. *X Congr. Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú*, Lima Res., 186.
- Caldas J., 1993. *Geología de los cuadrangulos de Huambo y Orcopampa*. INGEMMET Bul. 46. Lima.
- Caldas J., Fernandez D.R. & Turpo P.T., 2002. *Mapa geológico del cuadrángulo de Huambo (actualizado) 1 : 50 000*. INGEMMET.
- Caldas J., La Torre V., Lajo A., Díaz J. & Umpire L., 2001. *Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa (actualizado) 1 : 100 000 (digital)*. INGEMMET.
- Delacour A., 2002. Etude pétrogénétique des laves des centres quaternaires mineurs dans les régions d'Andahua-Orcopampa, de Huambo et du Cerro Nicholson (Andes Centrales, Perou). DEA "Processus magmatiques et métamorphiques – Volcanologie" & Université Blaise-Pascal, Clermont Ferrand, 48.
- Delacour A., Paquereau P., Gerbe M.-C., Thouret J.-C. & Wörner G., 2002. Quaternary minor volcanic centres in southern Peru: volcanology, petrology and geochemistry. 5th ISAG: 175–179. Toulouse.

- Fidel S.L., Morche W. & Nuñez J.S., 1997. Inventario de volcanes del Peru. INGEMMET Bul. 15. Lima.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 320–326.
- Grodzicki J., 1994. Nasca: Los síntomas geológicos del fenómeno El Niño y sus aspectos arqueológicos. *CESLA, Studia i Materiały*, 12, 1–114.
- Hoempler A., 1962. Valle de volcanes de Andahua, Arequipa. Segundo Congr. Nac. de Geología. *Sociedad Geológica del Perú*, 37, 59–69. Lima
- Kaneoka I. & Guevara C., 1984. K-Ar determinations of late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, Southern Peru. *Geochemical Journal*, 18, 233–239.
- 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. *Third international Gold Symposium*, May 5–8, Lima, Conferences Vol., 392–399.
- 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, *Sociedad Geológica del Perú*, Lima.
- Mering C. *et al.*, 1996. New data on the geodynamics of southern Peru from computerized analysis of SPOT and SAR ERS-1 images. *Tectonophysics*, 259, 153–169.
- Moncayo O.P., 1994. *Geología de los cuadrangulos de Chulca y Cayareni*. Carta Geológica Nacional. Serie A, Boletín No. 51. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.
- Moscol M., 2001. La vegetación del Holoceno y los cambios climáticos en Arequipa, Cordillera Occidental, Perú. Proyecto Arqueol. *Condesuyos, Universidad de Varsovia, 1, Andes*, 3, 241–245.
- Portocarrero A., 1960. Reconocimiento geológico del Valle de Andahua. Tesis de maestro. UNSA Arequipa.
- Sheppee R., 1934. A forgotten Valley of Peru. *The National Geographic Magazine*. Washington DC, 110–132.
- Simkin T. & Siebert L., 1994. *Volcanoes of the World – A regional directory, gazetteer and chronology of volcanism during the last 10 000 years*. 2nd ed. Smithsonian Inst. Geosciences Press Inc., Washington DC, 1–349.
- Smoll L.F., Morche W. & Juárez S.N., 1997. Inventario de Volcanes del Peru. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Serie C, Boletín No. 15. *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico*. Lima, 1–14.
- Thouret J.-C., Juvigne E., Mariño J., Moscol M., Legeley-Padovani A., Loutsch I., Dávila J., Lamadon S. & Rivera M., 2001b. Late Pleistocene and Holocene tephro-stratigraphy and chronology in southern Peru. Proyecto Arqueol. *Condesuyos, Universidad Varsovia, Andes*, 3, 215–239.
- Venturelli G., Frangipane M., Weibel M. & Antiga D., 1978. Trace element distribution in the Cainozoic lavas of Nevado Coropuna and Andagua Valley, Central Andes of Southern Peru. *Bulletin of Volcanology*, 41, 3, 213–228.
- Weibel M. & Fejér Z., 1977. El Nevado Coropuna, Departamento de Arequipa. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 57–58, 87–98.

Summary

In 2003, 2004 and 2006 a small group of geologists from AGH University of Science and Technology conducted field research in both of the sides in the deepest canyon in the world – the Rio Colca Canyon in the south of Peru. The subject of the research was the Quaternary volcano group Andahua, which was first mentioned in 1934 by two pilots Sheppe and Johnson (National Geographic). Until now the origin of Andahua and its range have not been specified.

Andahua vulcanites stretch out at intervals in the area which is 120 km long and 100 km wide. 9 places where one can see the centers of eruption have been distinguished (Fig. 1). Most of them are located in the Valley of Volcanoes. There are 37 lava fields made from one or more lava streams, 46 piroclastic cones and 116 centers of lava eruption, including the domes and cracks.

While compiling the map of the above-mentioned group, applied a simple division into 3 age groups: the old one (the Pleistocene), the indirect group (the Pleistocene – the Holocene) and the youngest one (the Holocene). The old group is weathered, carved by the eruption, covered with flora, and it is often transformed into fields. The blocks of lava are smooth and the boundaries of the former lava streams – faint and irregular. They intertwine with the river deposits and in the alpine region they are marked by the glacial erosion. The lava of the indirect group was the reason of the formation of the initial soil, grown by the grass, cacti or various kind of bushes. The surface of the lava from the Holocene is rough and sharp. It is possible to notice the places where the lava flowed out. Apart from that, the slopes of the lava streams are steep, not very stable, and the structures of the flow clear and distinct. There are no plants, they did not manage to root. The youngest lava eruption took place about 300–400 years ago.

Among the Andahua vulcanites the main group are aphanitic and porphyry rocks, which are characterized by the small content of phenocrystals, up to 20%. These are mainly fenoandesites, the rocks which have plagioclase and pyroxenes, and sometimes olivine and/or hornblende and titanium magnetite. In several places one can find olivine basalts and fenocrate, which, among the dark minerals, are the rocks with a lot of hornblende (sometimes accompanied by biotite).

The greatest area of the Andahua group, where at the same time the volcanism products are the most common, is the Valley of Volcanoes (Figs 2, 3). This valley, between the Misahuanca and Ayo, is covered by a dense cover of lava, which is about 60 km long. The south part of the Valley of Volcanoes (all the way to the Colca Canyon) is coated with the youngest (Figs 4, 5), third generation lava which creates lava field called Chilcayoc. A considerable zone of the eruption centers is placed about 2 km south-east of that place, near the mouth of the side valley, where a village called Soporó can be found. The oldest of the eruption zone seems to be the Jechapita volcano, which is a great example of the piroclastic cone. The distinct structures of the flow of two small streams indicate that the volcano is situated in the place, where lava use to have its source. Two similar cones situated upper in the valley – Chilcayoc and Chico and the third one – Chilcayoc Grande (3 km down the valley) are torn by the lava streams, which later surrounded Jechapita (Fig. 6). Most of the lava flowed down into the Rio Colca Canyon and it created the streams, which were more than 20 km long. Lava was much more

sticky, cinder and it made the ridges, which looked like the glacier moraines. The width of the stream rarely exceeded 1 km. The streams flowed down the rock steps of two faults running crosswise to the valley, creating unusual cascades with characteristic levees. Those lava streams below Ayo are torn with young, longitudinal faults extending up to Colca Canyon.

The Valley of Volcanoes has an axis orientated NW-SE (Fig. 2). Rio Sora Valley is the side branch of the Valley of Volcanoes and it has the same direction of the axis. Rio Sora Valley merges with the main valley in the place, where the Valley of Volcanoes turns taking the meridian orientation. The major lava eruption took place in the upper part of the valley. The streams flooded wide on the pampas and then they flowed down toward the outlet of the Valley of Volcanoes. At the Pabellon Lagoon level the lava field spreads out into the whole width of the valley (6 km). Here are other eruption centers: Jochane dome and two cones – Pabellon and Yana Mauras.

The Valley of Volcanoes is closed in the north by the Antapuna area. Antapuna Massif is the dominant form there, which looking to the north, gradually changes into Altiplano (Fig. 7). Andahua vulcanites in this region form isolated islands, the biggest of which is Antapuna. This is only the first generation lava. The greatest eruption center – Antapuna is situated about 1000 meters above the bottom of the Valley of Volcanoes. Because of the intense glacial erosion all of the forms in this area are partly damaged and not distinct.

The lava of Andahua group appears also near two gold mines: Shila and Paula (Fig. 8). Cerro Coropuna (Fig. 9), the highest lava dome of this group, is placed next to Paula mine and it is 400 m high. Going further to the east of the Altiplano, near the Huarthuarco Lagoon, 6 volcanoes can be seen. They are not rooted in the lava and inside one of them intestine lava was found (Fig. 10).

On the other side of the Colca Canyon most of the lava streams flowed into the canyon (Figs 11–15). Lava which can be observed here is the oldest one. The shores of the streams are often damaged by the river erosion. In this place one can identify two big lava fields: Jaran and Mojonpampa. They can be characterized by a significant number of eruption centers (13 and 19 respectively). The lava cover of the Mojonpampa field is the area of about 100 km². Similarly as in the case of above-mentioned eruption, also here the latest forms of volcanic activity created piroclastic cones. In the valley of a periodic stream Glorياهوasi the only stratovolcano, which belonged to this group was discovered. Its height was 450 m (Fig. 12).

In the time of piroclastic's eruption near Andahua, the glowing-hot bombs and pieces of lava were shot from the crater; they fell on the surface of the cone and occasionally near it within 100–1500 m radius. Much further, in the area of dispersion which existed only in the case of some cones, layers of volcanic ash can nowadays be observed. They are up to few meters thick. Such fireworks usually last for few days. If they happened in Andahua Valley, they were not seen in the other parts of the Andes. That would correspond with 1–2 VEI degrees (exceptionally 3). The observation of the surface of the hardened lava shows that they flowed slowly (0 VEI degree).

GÓRNICTWO I INNE INWESTYCJE W SĄSIEDZTWIE KANIONU COLCA

Mining and other investments in the vicinity of Colca Canyon

Andrzej PAULO & Andrzej GAŁAŚ

*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Analiz Środowiskowych, Kartografii i Geologii Gospodarczej;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: paulo@geol.agh.edu.pl, pollux@geol.agh.edu.pl*

Treść: Istotne znaczenie dla ustanowienia i funkcjonowania obszarów chronionych ma ich otoczenie gospodarcze i klimat społeczny. Na północ od Kanionu Colca i Doliny Wulkanów działają kopalnie rud złota i srebra należące do przedsiębiorstw Buenaventura i Hochschild, napędzające rozwój gospodarczy regionu i spełniające wymagania ochrony środowiska. Tereny koncesji górniczych zajmują ponad 1500 km². Przedstawiono zarys budowy geologicznej złóż oraz historię, bieżącą produkcję, perspektywy i zaangażowanie tych kopalń na rzecz rozwoju zrównoważonego. Istnieje szansa wykorzystania infrastruktury pogórnictwa dla potrzeb projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów. Tunele projektu irygacyjnego Majes nie kolidują z ochroną przyrody, a zbiornik zaporowy Angostura poprawi walory turystyczne. Linia energetyczna Socabaya – Mantaro wpłynęła negatywnie na krajobraz, a projektowana droga Ayo – Huambo może mieć ujemne skutki. Utworzenie parku wzmocni ubogi system obszarów chronionych w regionie Arequipy.

Słowa kluczowe: kopalnie złota i srebra, ocena wpływu na środowisko, Peru, Kanion Colca, Dolina Wulkanów

Abstract: Economic and social environment of protected areas have crucial importance to their establishing and performance. Several gold and silver mines currently operated by Buenaventura and Hochschild to the north of Rio Colca Canyon and the Valley of the Volcanoes stimulate regional development and fulfill environmental standards. Mining leases cover more than 1500 km². Geological structure of ore deposits is given along with history, production activity, perspectives and sustainable management input of the mines. Mining camps may be adapted for housing of future visitors of National Park Colca Canyon and Valley of the Volcanoes. Water tunnels of Majes Project are not conflicting with nature protection and future Angostura dam and artificial lake shall enhance touristic assets. Socabaya – Mantaro power line negatively affects landscape and planned road Ayo – Huambo poses some doubts. Creation of geopark shall strengthen poor system of protected areas in Arequipa region.

Key words: gold and silver mines, environmental impact assessment, Peru, Colca Canyon, Valley of the Volcanoes

WSTĘP

W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę geologiczno-gospodarczą złóż rud znajdujących się na północ od Kanionu Colca (Fig. 1) oraz złóż soli kamiennej i trawertynu po stronie południowej, koło Huambo. Omówiono działania górnictwa, nadzorującej go administracji państwowej i współpracę z samorządami. Określono również działania podejmowane w celu ochrony środowiska i perspektywy zrównoważonego rozwoju na obszarach pogórnicznych.

Na tle tych działań opisano także ważniejsze inwestycje niegórnictwa: projekt hydrotechniczny Majes – Sigwas, linia energetyczna Socabaya – Mantaro oraz rozwój sieci drogowej.

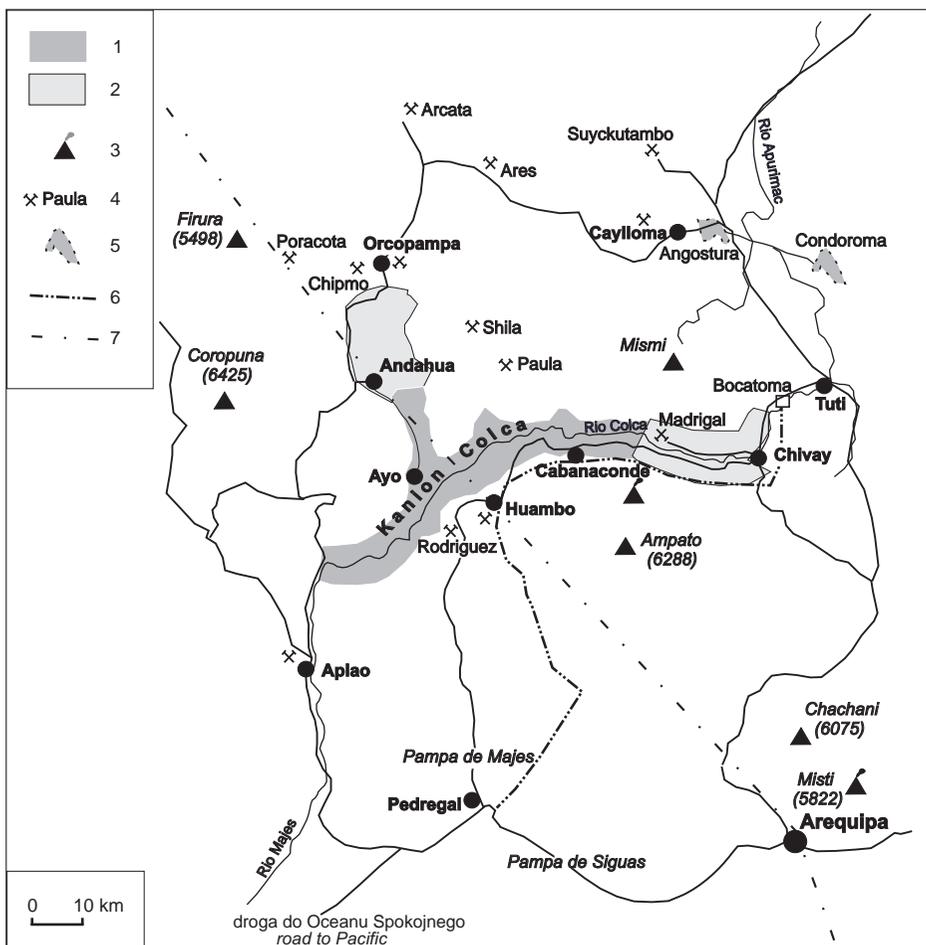


Fig. 1. Mapa okolic Kanionu Colca. 1 – projektowany park narodowy, 2 – strefa buforowa, 3 – stratowulkan, 4 – kopalnia złota, 5 – jezioro zaporowe, 6 – projekt Majes, 7 – linia wysokiego napięcia

Fig. 1. Canyon Colca region. 1 – national park in project, 2 – buffer zone, 3 – stratovolcano, 4 – gold mine, 5 – water reservoir, 6 – Majes Project, 7 – high tension power line

Górnictwo jest od dawna istotnym sektorem gospodarki peruwiańskiej, dostarcza 5–11% PKB i 45–56% dewiz dla kraju (Báez 2005, Sanchez 2005, Gurmendi 2006) kosztem wyczerpywania nieodnawialnych zasobów. Główne przychody pochodzą z eksportu złota, srebra i metali nieżelaznych. W strefie wysokogórskiej, niedogodnej dla pasterstwa i osadnictwa ze względu na klimat wykluczający uprawy, górnictwo stanowi jedyne źródło utrzymania. Strefa ta bywa atrakcyjna przyrodniczo i turystycznie ze względów krajobrazowych, a wówczas pojawia się konflikt zarządzania terenem. Inwestorzy górniczy dążą do nieskrępowanego dostępu do działek, na których prowadzi się poszukiwania, do kopalń i terenów składowania odpadów. Społeczeństwo zabiega o ochronę środowiska i odpowiedzialność za tereny zdewastowane dawniej przez górnictwo, a obydwie strony konfliktu pragną zapewnić sobie zaopatrzenie w wodę i energię. Zazwyczaj przepisy ochrony środowiska nakładają na inwestorów górniczych poważne ograniczenia w działalności, a przez to zwiększają koszty prewencji i reкультывacji. Potrzebny jest dialog i skoordynowanie działań administracji, samorządów, sektora górniczego oraz inicjatorów przyszłego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów oraz ewentualnych obszarów chronionych niższej rangi.

Kopalnie i tereny koncesji poszukiwawczych są najważniejszym sąsiadem obszarów wartych ochrony i najważniejszą alternatywą dla obsługi ruchu turystycznego w Dolinie Wulkanów i Kanionie Colca. Dlatego konieczne jest rozpoznanie stanu górnictwa, jego perspektyw, misji i celów, które sobie otwarcie zakreśla. Ważne jest też określenie innych konkurentów do zajmowania przestrzeni i istniejących obszarów chronionych, które należałoby wiązać w jeden system.

STAN GÓRNICICTWA

Współczesne górnictwo w Peru jest w większości nowoczesne, spełnia oczekiwania społeczne i wymagania środowiskowe. Zostało ono zreformowane w roku 1992 i wsparte dekretami gospodarczymi w latach 1996 i 1997. Reforma polegała m.in. na prywatyzacji, która objęła do końca 2004 roku 235 państwowych przedsiębiorstw surowcowych (95% ogółu w górnictwie kopalini stałych, 70% w sektorze ropy naftowej i gazu ziemnego), dostarczając 15.7 miliardów USD netto, a nowi właściciele krajowi i zagraniczni zadeklarowali zainwestowanie w okresie 2005–2007 kolejnych 10 miliardów USD (Gurmendi 2006). Rząd Peru kładzie nacisk na inwestycje socjalne i ochronę środowiska aby polepszyć stosunki inwestorów górniczych ze społecznościami lokalnymi, bowiem w kilku regionach doszło do poważnych konfliktów (Paulo & Gałaś 2006). Stara się też odgrywać rolę promotora, regulatora i kontrolera działalności prywatnej. Przedsiębiorstwa górnicze i ich kontrakty są chronione przepisami kodeksu cywilnego. Nie ma ograniczeń w przekazywaniu dochodów za granicę. Wprowadzono klarowne procedury ocen oddziaływania na środowisko nowych inwestycji i programów dostosowawczych do wymogów środowiskowych PAMA dla działających zakładów. Nadal jednak zdarzają się nieporozumienia i chybione inwestycje na skutek nie uwzględnienia oczekiwań lokalnych społeczności. Doświadczenia wskazują na celowość wyprzedzających studiów socjologicznych, archeologicznych i przyrodniczo-środowiskowych w ramach *prefeasibility study*, tak aby przedsiębiorcy mogli spełnić postulaty zrównoważonego rozwoju.

W klasyfikacji regionów świata pod względem atrakcyjności do inwestowania górniczego, prowadzonej corocznie przez prestiżowy Fraser Institute, Peru zajmuje od kilku lat 5 pozycję na świecie. O tak wysokiej lokacie decyduje niezwykle wysoki potencjał geologiczno-

-złożowy (3 miejsce wraz z Chile za Rosją i Zachodnią Australią). Dość korzystne są nowe warunki organizacyjne i względna stabilność polityczna.

Cenione jest doświadczenie zawodowe kadry. Dzięki górnictwu stopa bezrobocia w Peru spadła poniżej 8%, niemniej nadal poniżej minimum socjalnego żyje tu 52% ludności (MEM 2005). Dzięki długim tradycjom, a także szkoleniu przez przedsiębiorców, kwalifikacje górnicze są dość powszechne, a spostrzegawczość geologiczna – zdumiewająco duża.

Pozytywny obraz górnictwa, który przedstawiają organy rządowe, pochodzi z analiz dużych i średnich kopalń. Zupełnie inny jest obraz prymitywnych kopalń, zwykle nielegalnych, nie rejestrowanych i nie podlegających kontroli prowadzonych siłami kilku do kilkunastu ludzi. Pozwalają one na wegetację zatrudnionym, mają znikomy wkład do gospodarki i mogą degradować środowisko.

WKŁAD GÓRNICTWIA W ROZWÓJ GOSPODARCZY REGIONU I REALIZACJA POLITYKI ŚRODOWISKOWEJ

Południowa część Peru stała się ważnym regionem produkcji metali i aktywności poszukiwawczej. W departamencie Arequipa w połowie 2005 roku zarejestrowano 2616 koncesji poszukiwawczych i górniczych, które pokrywają aż 21% powierzchni ogólnej regionu (DESCO 2005). Podatek za użytkowanie 1 ha koncesji jest wprawdzie mały, 3 USD/rok, ale pomnożony przez powierzchnię daje przychód 3–4 mln USD rocznie. Za koncesje, na których nie uruchomiono wydobywania w ciągu 8 lat podatek wzrasta do 4 USD/ha rocznie, a prolongata może sięgać kolejnych 6 lat. W przypadku uruchomienia produkcji górniczej przychody i inne korzyści zwielokrotnią się. W departamencie Arequipa górnictwo dostarcza 86% wszystkich dochodów z tytułu koncesjonowania działalności przez państwo, tj. znacznie więcej niż hydroenergetyka i rybołówstwo razem wzięte (DESCO 2005).

W Peru samorządy otrzymują 50% opłaty eksploatacyjnej z przeznaczeniem na szkolnictwo i programy społeczne. Coraz częściej społeczności lokalne są postrzegane jako grupa zainteresowanych projektem, z którą inwestor ma nawiązać partnerskie stosunki. W strategii zrównoważonego rozwoju kraju podkreśla się, że w zamian za wyczerpanie nieodnawialnych zasobów mineralnych społeczność lokalna powinna otrzymać inne środki, które podtrzymają jej byt i rozwój w czasie eksploatacji i po jej zakończeniu. W Peru oznacza to w pierwszym rzędzie pomoc medyczną, szkolnictwo i lepszą komunikację oraz wspomniane środki finansowe dla samorządów lokalnych. Samorządy te postulują i uzgadniają lokalne przepisy bezpieczeństwa publicznego i ochrony środowiska, oczekują też, że kopalnia dopuści je do planowania inwestycji i zagospodarowania pogórniczego. Doświadczony inwestor, zwłaszcza zagraniczny, stara się zademonstrować, że unika obszarów o walorach kulturowych i wrażliwym środowisku, a jednocześnie doprowadza do wszechstronnej gwarancji dostępu do interesujących go działek. Stąd dążenie do wczesnej delimitacji obszaru zainteresowania przyrodników i konserwatorów zabytków, stąd zatrudnianie w zespole przygotowującym OOS renomowanych przyrodników (Blench 2001).

Górnictwo ma duży wkład w tworzenie miejsc pracy, budowę infrastruktury drogowej, szkolnictwo i podnoszenie standardu życia (Paulo & Gałaś 2006a). Zauważa się dbałość o podnoszenie kwalifikacji personelu przedsiębiorstwa górniczego a nawet jego istotnych partnerów. Charakterystykę i konkretny wkład głównych aktorów na tej scenie przedstawiono poniżej.

Compania de Minas Buenaventura S.A.A.

Przedsiębiorstwo górnicze Buenaventura jest jednym z największych przedsiębiorstw w Peru, działającym ponad 50 lat. Prowadzi poszukiwania geologiczne, eksploatację złóż oraz wzbogacanie i przetwarzanie rud złota, srebra i innych metali w 7 zespołach kopalń własnych oraz kilku innych spółkach akcyjnych ze znacznym udziałem. W roku 1960 przejęła prawa do eksploatacji złoża rud w Orcopampa, które wówczas dostarczało niewielkich ilości srebra. Po pięciu latach rozpoczęto unowocześnioną eksploatację, a dwa lata potem uruchomiono zmodernizowany zakład wzbogacania przy tej kopalni, prowadząc jednocześnie rozległe prace poszukiwawcze w okolicy, pod kierunkiem wybitnego geologa, inż. Alberto Benavides de la Quintana. W latach 1979–1998 nastąpiło odkrycie bonanzy złota w żyłę Calera, dotąd głównie srebronośnej, oraz kilku złóż rud złota w okolicy Orcopampa, które pozwoliły przedłużyć żywotność górnictwa w regionie. Po wyczerpaniu zasobów w „starym” zespole żył Manto, eksploatowanym od czasów przedkolonialnych, budowane są nowe kopalnie, a wraz z nimi niezbędna infrastruktura. W latach 2003–2004 wybudowano nowoczesny zakład ługowania rud złota w Orcopampa. Korzysta na tym miasto – jego ludność wzrosła w ciągu dekady dwukrotnie, do ponad 6000.

Pomyślnie były inwestycje Buenaventury w innych częściach Peru: Antapite, Uchucchacua, a szczególnie w Yanacocha, która wyrosła na największą kopalnię złota na świecie.

Kierownictwo Buenaventury lansuje nowoczesne metody zarządzania i w podziwu godny sposób buduje więzi z otoczeniem socjalnym przedsiębiorstwa. Ogłosiło swą misję jako realizację zadań operacyjnych (górnictwych) przy jednoczesnym generowaniu korzyści dla społeczności lokalnej, przede wszystkim podniesieniu poziomu ich życia. Deklarowanymi przez Buenaventurę (www.buenaventura.com.pe) celami jest stosowanie najlepszych technologii, najwyższych standardów jakości i zarządzania środowiskowego, w klimacie poszanowania kultury lokalnej i dążenia do tworzenia miejsc pracy. W regionach swej aktywności przedsiębiorstwo górnicze jest ważnym partnerem samorządów, organizacji pozarządowych i innych inwestorów w budowie obiektów turystycznych, systemu zaopatrzenia w wodę, infrastruktury drogowej, szkół itp.

Stosunki z lokalną społecznością ewoluują wraz z rozwojem projektu geologiczno-górnictwego. Na etapie poszukiwań i rozpoznania złoża organizuje się spotkania informacyjno-dyskusyjne dla mieszkańców, przedstawiając cele przedsiębiorstwa i oczekiwania samorządów, uzgadnia się obszary wspólnego zainteresowania; już od tego etapu realizowana jest polityka „otwartych drzwi”. Na koniec oceniany jest potencjał gospodarczy mikroregionu i wspólnie z administracją diagnozowane są możliwości zrównoważonego rozwoju wraz z oddziaływaniem inwestycji na środowisko. Dąży się do stworzenia jasnej wizji przyszłości.

Na etapie budowy kopalni i infrastruktury towarzyszącej dużą wagę przypisuje się rozwojowi mechanizmów dialogu, poprzez informowanie o postępie prac i planach z jednej strony oraz wysłuchiwanie obaw i zapobieganie otwartym konfliktom – z drugiej. Jest to bardzo ważne, bowiem obce kompanie górnicze napotkały w innych częściach Peru na wrogie nastawienie, podsycane w kampanii przedwyborczej hasłami ekologiczno-nacjonalistycznymi (Paulo & Gałaś 2006a).

W ciągu ostatnich 10 lat w samej tylko prowincji Castilla, Buenaventura zainwestowała ponad 1.3 miliona USD na cele związane z poprawą potencjału produkcyjnego oraz dobrą

siedzkiem wsparciem kreatywności samorządowej i inicjatyw regionalnych. Oddział Orcopampa zatrudnia przy wydobywaniu, przeróbce oraz nadzorze geologicznym i mierniczym w kopalni Chipmo 380 osób, zaś przy poszukiwaniach w okolicy, w nowej kopalni Poracota i z rozmachem budowanej infrastrukturze – kolejnych 820 osób. Jest to około 30% ludności w wieku produkcyjnym.

Przedsiębiorstwo Buenaventura na każdym kroku podkreśla wspieranie lokalnych inicjatyw, kultywowanie tradycji oraz troskę o ekosystemy i trwały rozwój regionu. Jako krytyczni obserwatorzy z zewnątrz, wizytujący tą część Peru od kilku lat, łatwiej dostrzegamy realia i zmiany. Możemy stwierdzić: stosunki mają cechy partnerskich, a dzięki Buenaventurze postęp jest zdumiewająco szybki. W roku 2004 korzystaliśmy już w Orcopampa z publicznego, szybkiego łącza internetowego. Na stronie internetowej (www.buenaventura.com) można znaleźć następującą informację: „Nasze przedsiębiorstwo przyczynia się do zdecentralizowanego rozwoju Peru. Zbudowaliśmy różne rodzaje urządzeń dla 107 wsi, m.in:

- 4 szkoły dla 1000 uczniów,
- 4 szpitale, przyjmujące 36 300 pacjentów rocznie,
- 315 km linii energetycznych i 8 stacji rozdzielczych,
- 384 km nowych dróg bitych i 140 km odnowionych,
- 200 km dróg stałego utrzymania,
- łącza telewizji satelitarnej od 1980 r.,
- satelitarną łączność telefoniczną od 1996 r.,
- 2 lotniska i 1 lądowisko helikopterowe.”

Na etapie eksploatacji ogromną wagę przywiązuje się do ubiorów ochronnych i całego systemu bezpieczeństwa pracy. W miarę wpływów ze sprzedaży surowca Buenaventura angażuje się w formułowanie strategicznych planów rozwoju regionu, pozyskanie szerokiego spektrum zainteresowanych i wdrażanie projektów zrównoważonego rozwoju przygotowanych przez samorządy; unika przy tym paternalizmu. Firma pozostaje otwarta na zainteresowanie społeczne i ewentualną krytykę. Wyraża się to m.in. przyjmowaniem gości i praktykantów oraz współpracą z organizacjami pozarządowymi. Studenci górnictwa z uczelni amerykańskich i europejskich odbywają tu swe praktyki i wnoszą jak najlepsze wrażenia. Osiedle górnicze jest wzorowo zaplanowane i starannym wykonaniem różni się od uboższego budownictwa lokalnego. Niektóre akcje wydają się mieć charakter reklamowy, np. założenie hodowli pstrąga i budowa parku ekologicznego poniżej stawu do ługowania złota cyjankami (Fig. 2), aby udowodnić, jak bezpieczne dla środowiska są przyjęte technologie. Założono ogród zoologiczny i botaniczny, w tym plantację sadzonek, które mają zadarnić rekultywowane zwałowiska. Odnawia się obiekty publiczne i zabytki, dbając o umieszczenie tablicy informacyjnej o sponsorze (Paulo & Gałaś 2006b). W 2006 roku, przy wsparciu Buenaventury, alcalde (burmistrz) Orcopampa urządził i otworzył dla turystów rezerwat przyrodniczy „Wodospad i Lodospady Panahua”, zaś czasopismo „Bien Venida” promujące turystykę kwalifikowaną Peru (www.bienvenidaperu.com) dedykowało numer 55 atrakcjom „Zdumiewającej Doliny Wulkanów” i okolic. Po raz pierwszy znalazło się tu popularyzujące lecz zarazem fachowe opracowanie aspektów krajobrazowych, archeologicznych i bioróżnorodności oraz sylwetka peruwiańskiego pioniera krajoznawstwa w tej części kraju, inż. Mauricio de Romania.



Fig. 2. Kopalnia Orcopampa – osadnik i park ekologiczny przy zakładzie przeróbczym, w tle miasteczko

Fig. 2. Orcopampa mine – tailing pond and eco-park at dressing plant, in the background settlement

Dbając o lokalną społeczność Buenaventura troszczy się w dużej mierze o swoich pracowników, bowiem oni stanowią znaczną część populacji miasteczka. W Orcopampa zamieszkują pracownicy kopalni, zakładu przeróbczego i jednostek poszukiwawczych w promieniu 30 km.

Wdrożono działania zgodne z normą jakości ISO 9001 i zarządzanie środowiskowe według normy ISO 14001, które podlegały audytowi renomowanych firm zagranicznych. Przedsiębiorstwo górnicze deklaruje, iż na etapie zamykania kopalni wykona rehabilitację obszaru w celu przywrócenia równowagi ekosystemów i przeszkoli personel do pracy w nowych zawodach.

Wcześniejszy audyt środowiska na terenach górniczych Buenaventury w 2002 roku ze strony Ministerstwa Energetyki i Górnictwa (MEM) wykazał, że stara kopalnia złota Manto, wyłączona z eksploatacji w latach 90. XX w., oraz kopalnia Santa Rosa mają niewystarczająco zabezpieczone wejścia do kilku sztolni i szybków. Stwierdzono też pylenie starego zwałowiska, niewielkie przekroczenie dopuszczalnej zawartości Zn w lizymetrze nad rzeką Orcopampa, monitorującym szczelność starego osadnika odpadów flotacyjnych i niewystarczającą grubość jego obwałowania. Dyrekcja Generalna Górnictwa przychyliła się do wniosku audytora i zarządziła w trybie natychmiastowym ulepszenie systemu monitoringu, zapobieżenie pyleniu, oznakowanie obiektów zagrażających bezpieczeństwu oraz ograniczenie dostępu do terenu pogórniczego, a w ciągu 30 dni zatamowanie wejść do sztolni i szybków oraz poszerzenie wału osadnika. Nie dotrzymanie jednego z tych terminów zostało ukarane grzywną. Buenaventura zbudowała już nowoczesny osadnik i opracowała plan rehabilitacji terenów

pogórnicznych. Wydatki na ochronę środowiska i rozwój infrastruktury lokalnej planowane pierwotnie na 820 000 USD przekroczyły w efekcie audytu PAMA i dobrowolnie przyjętych zobowiązań 1.3 mln USD.

Buenaventura może sprostać tak wielkiemu obciążeniu finansowemu dzięki koniunkturze na rynku metali szlachetnych i niskim kosztom operacyjnym. Średnia cena złota wynosiła w 2003 roku 353 USD/uncję, a koszty operacyjne w Chipmo wynosiły w tym czasie tylko 63.69 USD/t, co w bogatej rudzie tej kopalni przekładało się na około 130 USD/uncję wyprodukowanego złota. Od tego czasu ceny złota wzrosły ponad dwukrotnie a koszty operacyjne tylko nieznacznie, do 145 USD/uncję (www.buenaventura.com.pe). Oczywiście, takie proporcje gwarantują duży dochód.

Zarówno przedsiębiorstwo górnicze jak i społeczność lokalna mają świadomość krótkiej perspektywy istnienia kopalń. Zasoby eksploatowanych złóż wystarczą zaledwie na kilka lat (Tab. 1), dlatego prowadzi się intensywne prace poszukiwawcze na nowych polach Layo i Soras, rozpoznanie złoża w kopalni pilotującej Poracota i udostępnienie głębszych poziomów w kopalni Paula. Wysokie ceny złota mogą skłonić do ponownej oceny poniechanych wcześniej projektów.

Tabela (Table) 1

Zasoby głównych złóż w okręgach Orcopampa i Caylloma, stan 2006/2007

Reserves of the major ore deposits in Orcopampa and Caylloma districts in 2006/2007

Złoże <i>Mine</i>	Zasoby rudy (Mt) <i>Ore reserves</i>		Wystarczalność zasobów (lat) <i>Reserve sufficiency (years)</i>	Zawartość Au (g/t) w zasobach nieprzemysł. <i>Non-reserve ore grade Au (g/t)</i>
	przemysłowe <i>reserves</i>	nieprzemysłowe <i>non-reserve</i>		
Orcopampa (Chipmo)	1.08	0.47	3	21.7 (+ 5 Ag)
Poracota	–	0.15	–	13.2
Shila-Paula	0.07	–	1	18.3 (+ 80 Ag)
Arcata	1.23	2.76	4	1.2 (+ 442 Ag)
Ares	0.85	0.91	3	4.4 (+ 182 Ag)
Caylloma	0.78	1.15	3	0.5 (+ 386 Ag)
Złoże <i>Mine</i>	Zasoby przemysłowe – metal (t) <i>Reserves</i>		Zawartość w zasobach przemysłowych (g/t) <i>Reserve grade</i>	
	Au	Ag	Au	Ag
Orcopampa (Chipmo)	25.4	110	23.4	10
Shila-Paula	1.00	6	13.2	82
Arcata	1.22	442	1.4	513
Ares	9.77	235	10.5	254

Grupa Hochschild y Cia

Hochschild jest jednym z największych przedsiębiorstw na świecie, z ponad 40-letnią tradycją w dziedzinie poszukiwania, wydobywania, przetwarzania i handlu surowcami srebra i złota. W Peru posiada trzy kopalnie i jedną w budowie, z czego dwie – Arcata i Ares oraz liczne koncesje poszukiwawcze znajdują się w sąsiedztwie planowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów. Jako swą misję Hochschild ogłosił zespolenie działań przedmiotowych z zapewnieniem zdrowia i bezpieczeństwa pracownikom, poszanowaniem środowiska i współpracą ze społecznościami lokalnymi. Audytor zewnętrzny wyznaczony przez MEM, niemiecka firma DQM, kontroluje co pół roku zgodność działania Hochschilda z przepisami bhp i środowiskowymi; stwierdzała dotąd spełnianie standardów międzynarodowych. Kopalnia Ares wraz z zakładem ługowania otrzymały w 2005 roku prestiżową nagrodę CONAM za ekologicznie czystą i wydajną produkcję oraz wdrożenie systemu zarządzania środowiskiem. Poczynania górnictwa i władz często nie znajdują akceptacji lokalnych społeczności. W 1999 roku zawiązała się Organizacja Narodowa Gmin Dotkniętych przez Górnictwo (CONACAMI), która integruje 1650 przedstawicieli gmin w 18 regionach administracyjnych Peru (reprezentowane są wszystkie ważniejsze regiony górnicze). CONACAMI jest ważnym choć trudnym dla górnictwa partnerem w dialogu, wspieranym środkami organizacji ekologicznych z niektórych państw rozwiniętych. W 2006 roku ogłoszono, że próbki z rzeki Chalhuanca, dopływu Apurimac (w odległości ponad 200 km od omawianego terenu) wykazały 9-krotne przekroczenie dopuszczalnej zawartości arsenu. Zażądano od kopalni Ares (która jest organizacyjnie powiązana z koncesjami Selene i Pallancata na tamtym obszarze), aby pokryła koszty ustalenia ogniska zanieczyszczeń i ogłosiła alert w obszarze dorzecza, bowiem stwierdzono zatrucie i śmierć bydła oraz zanik pstrąga. Mieszkańcy sąsiednich gmin, skrajnie ubodzy, zażądali renegocjacji aktu sprzedaży, który uznali za krzywdzący, i zapłaty dodatkowo kwoty około 60 mln USD, sześciokrotnie większej od pierwotnie uzgodnionej (www.conacami.org/demandas). Sprawa będzie zapewne trudna do rozstrzygnięcia, gdyż skażenie Rio Chalhuanca może pochodzić z innych źródeł i było wcześniej powodem roszczeń skierowanych do innej kopalni. Przypadek ten, mimo że nie dotyczy omawianego terenu, wskazuje na aktualne problemy górnictwa w Peru.

Kopalnie Ares i Arcata działają na terenie niemal bezludnym. W związku z tym współpraca z lokalnymi społecznościami i wydatki na ich rzecz są tu znikome, ale koszty ściągnięcia pracowników i budowy infrastruktury wyższe. Hochschild zatrudnia 1935 kontraktowych pracowników, w tym około 150 w kopalniach Arcata i Ares. Ponieważ w pobliżu nie ma stałych osiedli, pracownicy ci dojeżdżają w dużej mierze z innych regionów, np. z odległego ponad 300 km Puno. Oczywiście przy zakładach zbudowano osiedla górnicze, które służą jako mieszkania pracownicze na czas 3-tygodniowych turnusów. Do roku 2006 firma chlubiła się brakiem wypadków przy pracy, lecz ostatnio zdarzyły się 4 ofiary śmiertelne (www.hochschildmining.com).

Dotychczasowa polityka nie udzielania informacji wydaje się ulegać ostatnio zmianie, bowiem firma jest zainteresowana sprzedażą potężnego pakietu akcji na Giełdzie Londyńskiej. Podjęto rozległe działania inwestycyjne w celu zwiększenia produkcji. Te, które dotyczą terenów w sąsiedztwie projektowanego parku zostały omówione poniżej. Na rok 2007 przewidywane są wydatki 35 mln USD na poszukiwania, 100 mln USD na projekty górnicze własne oraz około 250 mln USD na przejęcia działek od innych firm. Część ich przypadnie zapewne na prowincję Arequipa.

ZARYS METALOGENII

Kanion Colca i Dolina Wulkanów leżą w paśmie Kordyliery Zachodniej Środkowych Andów. W okolicy Orcopampa i Caylloma kordyliera ta 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 *et al.* 2001). Z magmatyzmem mioceniowym związanych jest w Peru większość złóż rud (Petersen 1958, Ericksen *et al.* 1995, Chacón *et al.* 1997, Ingemmet 2002). W omawianym regionie duże powierzchnie pokryte są jednak materiałem morenowym i fluwioglacjalnym, piargami, a depresje śródgórskie wypełniają aluwia. Grzbiet Kordyliery Zachodniej wieńczą potężne stratowulkany należące do środkowo-andyjskiej strefy współczesnego wulkanizmu. Dawniej uważano, że wulkaniczne utwory czwartorzędowe, ewentualnie plioceniowe, nie są perspektywiczne dla poszukiwań złóż metali szlachetnych.



Fig. 3. Krajobraz wokół kopalni Paula. Na pierwszym planie skały hydrotermalnie przeobrażone, w tle stratowulkany Sabancaya i Ampato

Fig. 3. Landscape around Paula mine. In the foreground hydrothermally altered rocks, at the horizon line Sabancaya and Ampato stratovolcanoes

Złóża epitermalne złota i srebra związane są genetycznie i przestrzennie z formacjami magmowymi miocenu i pliocenu – produktami erupcji z kalder i działalności hydrotermalnej pod wpływem małych intruzji hipabisalnych. Głównymi strukturami są kaldery dolnomioceniowe Chinchon i Huayta w gnieździe górskim Shila (Ericksen *et al.* 1995, Gibson *et al.* 1995), a dalej na wschód Caylloma (Echavarria *et al.* 2006) oraz górnomioceniowa Chonta (Noble *et al.* 2003) o średnicach 10–20 km każda. Dla mineralizacji metalami szlachetnymi ważne są pnje intruzywne z tego okresu, zidentyfikowane w okolicy Orcopampa (Sarpane,

Chipmo), Poracota, Shila, Paula i Arcata (Blès 1989, Candiotti de los Rios *et al.* 1990, Mayta & Lavado 1995, Tosdal *et al.* 1995, Mayta *et al.* 2002), także w kalderach Chonta i Caylloma (Echavarría *et al.* 2006). W ich otoczeniu obserwuje się rozległe przeobrażenie skał: propylityzację, ałunicyzację, argilityzację, sylifikację i inne, których jaskrawe barwy ułatwiają eksploatację złóż (Fig. 3). Cała formacja Orcopampa przecięta jest serią uskoków grawitacyjnych o kierunku NE do E-W i zrzucie dochodzącym nawet do 500 m (Gibson *et al.* 1993). Uskoki te są rudonośne. Po epitermalnej mineralizacji nastąpiło łagodne sfałdowanie i ponowne zuskokowanie tej formacji. Skrzydła fałdów są pochylone na ogół 10–20°, przemieszczenia wzdłuż uskoków porudnych przekraczają nieraz 100 m (Echavarría & Nelson 2002). Poznanie tych prawideł ułatwia poszukiwania.

CHARAKTERYSTYKA KOPALŃ I ZAKŁADÓW PRZERÓBCZYCH

W ostatnim ćwierćwieczu w okolicy Orcopampa odkryto wiele złóż metali szlachetnych (Tab. 1): Arcata i Ares należące do grupy Hochschilda oraz Chipmo, Shila, Paula, Poracota, Soras i Layo, należące do CM Buenaventura (Fig. 1). Czynne są kopalnie złota i srebra w Caylloma, natomiast zakończono wydobywanie w Madrigal i Suckuytambo. Powodzenie poszukiwań geologicznych i wysokie zyski kopalń przyciągają nowych inwestorów i pracowników, powodując ożywienie gospodarcze. Koncesje geologiczno-górniczne zajmują obszar około 1500 km². Z drugiej strony złoża epitermalne, które występują w omawianym regionie, cechują się skomplikowaną budową, małymi zasobami i ogromną zmiennością zawartości metali szlachetnych, co czyni ich eksploatację krótkotrwałą i ryzykowną ekonomicznie.

Orcopampa

Orcopampa jest okręgiem górnictwem o długiej tradycji, sięgającej imperium Inków. Początkowo wydobywano rudy srebra na wzgórzach Manto i koło Tintaymarca. Z końcem XVIII wieku eksploatacja zeszała na głębokość ponad 100 m, lecz w 1842 roku zamarła. Po roku 1960 odkryto kilka żył, które były zamaskowane przez osuwiska. Najważniejsza z nich, Calera, okazała się zawierać złotonośną bonanzę o zasobach ponad 2 mln ton rudy ze średnią 4.7 g/t Au i 555 g/t Ag. Bonanzę eksploatowano w okresie 1981–1992. Później, mimo drobnych odkryć w tej i innych żyłach, nastąpił zmierzch produkcji i wydawało się, że znów okrąg będzie zamierał. W 1999 roku odkryto nowe żyły i wybudowano kopalnię Chipmo. Korzysta ona ze zmodernizowanego zakładu wzbogacania, starej kopalni Manto – dostosowano go do innego składu mineralnego rudy i rosnących wymagań ochrony środowiska.

W Orcopampa mamy zatem do czynienia z dwoma złożami, występującymi w odległości 3–5 km, rozdzielonymi doliną rozwiniętą na założeniu młodego rowu tektonicznego. Są to złoża epitermalne: Manto (Ag–Au) i Chipmo (Au). Wyczerpane złożo Orcopampa–Manto tworzy kilkanaście stromych, rozgałęzionych żył kwarcowych z domieszką adularu, serycytu, rodochrozytu, rodonitu i siarczków. Miały one wychodnie na wzgórzach (3900–4250 m n.p.m.) położonych na wschód od miasteczka. Przez kilka lat produkcja roczna przewyższała 150 t Ag i 1–2 t Au (Gibson *et al.* 1993), a w okresie 1969–1999 wszystkie żyły dostarczyły łącznie niespełna 2200 t Ag i około 17 t Au (Rojas & Salazar 2005). 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 uskoków grawitacyjnych o zrzucie kilkuset metrów. Przecinają wulkanity Santa

Rosa, tuf Manto i subwulkaniczny, dolnomioceniński kompleks Sarpane, z którym są wiekowo i genetycznie związane (Gibson *et al.* 1993, Mayta *et al.* 2002, Paulo & Gałaś 2005). W otoczeniu żył skały są hydrotermalnie przeobrażone w paragenezach niskosiarkowych (Mayta & Lavado 1995). Wchodząc w mezozoiczne skały osadowe podłoża żyły te szybko zanikają. Cechuje je złożona budowa i urozmaicony skład mineralny, wskazujące na kilkufazową mineralizację wraz z otwieraniem szczelin. Przeważa kwarc w różnych generacjach, któremu towarzyszą adular z pirytem, minerały manganu z siarczkami Zn, Pb, Cu i Ag, tellurki Ag i Au oraz baryt.

Na wschód od omawianego złoża, w Alhuire i Santa Rosa, stwierdzono żyłową mineralizację antymonitem w szczelinach kwarcytów kredy i nadległych wulkanitach neogenu. Towarzyszy jej galena i ochry antymonowe. Prospekt Blancas koło Alhuire został zaniechany; prowadzona jest tu na dużą skalę rekultywacja terenu pogórniczego.

W złożu Chipmo rozpoznano 14 żył epitermalnych, ale eksploatacja ograniczona jest do czterech żył głównych o długości 2 km i szerokości 2–4 m. Znany zasięg pionowy mineralizacji przekroczył 600 m. Żyły powstały w wielokrotnie odnawianych uskockach grawitacyjnych i przesuwczych. Przecinają one kompleks dacytowych i andezytowych kopuł subwulkanicznych Sarpane i pokrywę zbudowaną z tufu Manto, które uległy wyraźnym zmianom hydrotermalnym, a przykryte są przez nieprzeobrażony tuf Chipmo, plejstoceńskie i holocenijskie żwiry rzeczne oraz lawy plejstoceńskiego wulkanu grupy Andahua (Fig. 4).

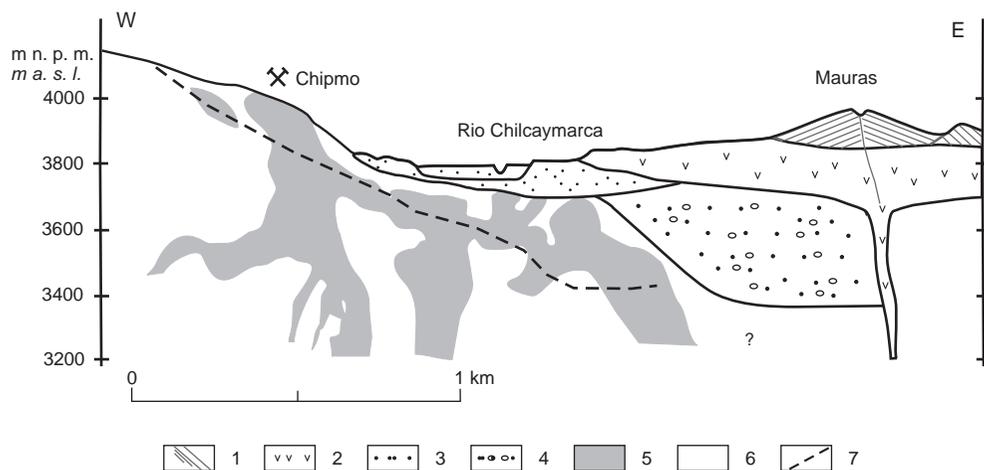


Fig. 4. Przekrój przez złożo Chipmo (Mayta *et al.* 2002). 1 – tefra, 2 – lava, 3 – żwiry (holocen), 4 – żwiry (plejstocen), 5 – żyły złotonośne, 6 – formacja wulkaniczna Sarpane, 7 – granica strefy utlenienia

Fig. 4. Cross-section of Chipmo deposit (Mayta *et al.* 2002). 1 – tephra, 2 – lava, 3 – gravels (Holocene), 4 – gravels (Pleistocene), 5 – Au-bearing zone, 6 – Sarpane Formation volcanics, 7 – limit of weathering zone

Większość złotonośnych 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 krótkimi żyłami kwarcu

o tych samych kierunkach z oznakami wylugowania siarczków i strefami sylikfikacji. Pojedyncze próbki wykazały zawartość do 15 g/t Au w żyłce szerokiej 0.4 m. Kilka kilometrów dalej na NE znajdują się źródła termalne Huancarama, a po drodze odsłaniają się żyły kwarcowe z pirytem i tlenkami manganu. Wykazują przeważnie poniżej 0.5 g/t Au. Jeszcze dalej na północny wschód znajduje się prospekt Layo.

Wiek magmatyzmu w Chipmo i Orcopampa–Manto jest taki sam, a mineralizacja w obydwu przypadkach jest opóźniona względem intruzji o 0.5–1 mln lat (Mayta *et al.* 2002). Prawdopodobnie są to dwie gałęzie wielkiego systemu magmowo-hydrotermalnego, dziś rozdzielonego rowem tektonicznym.

Przeobrażenia hydrotermalne wokół żył złotonośnych Chipmo należą do typu wysoko-siarkowego. Polegają głównie na sylikfikacji i zaawansowanej argilizacji (pirofillit, dickit, kaolinit, alunit, diaspor) przechodzącej na zewnątrz w umiarkowaną argilizację (illit, smektyt), a jeszcze dalej w chalcedon z proskowatym alunitem (Rojas & Salazar 2005). W żyłach występuje kilka odmian kwarcu i barytu o teksturach pasmowych i brekcjowych. Kwarcowi szaremu i mlecznemu towarzyszą kruszce: złoto rodzime, tellurki złota, srebra i bizmutu, elektrum, piryty, tetraedryt-tennantyt oraz sporadycznie inne siarczki i siarkosole. Większość minerałów złota ma wymiary <0.05 mm. Średnia zawartość złota w wydobywanej rudzie wynosi 15–20 g/t, a proporcja Au:Ag≈5. W rudach bogatych, około 150 g/t Au, stosunek Au:Ag wzrasta do 50.

Od początku eksploatacji, tj. w okresie 1998–2006 wydobyto ponad 40 ton złota, a pozostała w złożu część oceniono na 25.4 t Au w zasobach niespełna 1.1 mln t rudy o średniej zawartości 23.4 g/t Au i 10 g/t Ag (www.buenaventura.com). Pozwala to na utrzymanie produkcji do roku 2010. Metale te uzyskiwane są grawitacyjnie i przez cyjanizację z zastosowaniem węgla aktywnego w pulpie. Uzysk złota wzrósł do 97%, a srebra do 71%. Koszty operacyjne 1 uncji złota w Chipmo są niskie; w 2006 roku wynosiły 145 USD/t, co gwarantuje duży dochód.

Sumując ilości wydobyte w obydwu złożach Orcopampa i zasoby pozostałe otrzymamy ponad 92 t Au i 2200 t Ag. Jest to ilość duża na tle złóż epitermalnych. Zasoby inicjalne słynnych złóż USA tego typu wynosiły: Comstock około 312 t Au i 7300 t Ag, a Goldfield 136 t Au i niespełna 49 t Ag (Vikre 1989).

Kopalnia Poracota

Poszukiwania prowadzone w latach 1995–1996 na płaskowyżu pod wygasłym stratowulkanem Firura (5498 m n.p.m.), 25 km na zachód od Orcopampa, przez kanadyjskie korporacje geologiczno-górnictwo Teck i South Western Gold, doprowadziły do odkrycia mineralizacji złotem, określonej po raz pierwszy w tej okolicy jako *manto*. Koncesja miała powierzchnię 97 km², z czego wybrano najbardziej obiecującą strefę Huamanihuayta, gdzie wykonano około 7 km wierceń rdzeniowych. Nakłady na rozpoznanie w roku 1998 wyniosły 2.5 mln USD (Albareda 2000). Udokumentowano zasoby geologiczne 1.73 mln ton rudy o średniej zawartości 10.7 g Au/t, a następnie zdefiniowano dwie obiecujące strefy przemysłowe: Manto Aguila i Manto Dorador Inferior o zawartościach 12–16 g/t Au. Buenaventura odkupiła złożę od wymienionych kompanii (50% od SWG i 25% od Teck); zbudowała szeroką drogę o długości ponad 30 km do Poracota i w 2006 roku udostępniła złożę na poziomach 4600 i 4720 m n.p.m. Rudy okazują się trudno wzbogacalne i trwają doświadczenia nad wypracowaniem opty-

malnej technologii wzbogacania. Inwestycja stwarza nadzieję na przedłużenie żywotności zakładu przerobczego w Orcopampa o kolejnych kilka lat, chociaż wymaga zbudowania specjalnych młynów i nitki flotacji, gdyż ruda różni się technologicznie od tej z Chipmo. Kopalnia oczekuje na akceptację oceny oddziaływania na środowisko przez ludność Umachulco.

Poszukiwania w bliższych Orcopampa strefach Umachulco, Ushjumata i Santa Rosa nie były pomyślne, natomiast nowe wiercenie w Soras koło Poracota trafiło na żyły enargitowe ze złotem (www.buenaventura.com). Soras rozwija się jako nowy obiekt prospekcji.

Prospekt Pucaylla–Jallhua

Na południe od Poracota znajdują się dwa duże obszary koncesyjne Buenaventury, które obrzeżają rów tektoniczny Rio Orcopampa od wschodu. Północny ma powierzchnię ponad 100 km² a południowy 48 km². Zmiany hydrotermalne skał wulkanicznych grupy Tacaza, podobne jak w zagospodarowanych obszarach złotonośnych, zachęcają do poszukiwań, ale nie znaleziono dotąd obiektów godnych rozpoznania górniczego.

Prospekt Layo

Obszar rozpoznania Layo znajduje się po obydwu stronach doliny Rio Huancarama, 17 km NE od Orcopampa. Koncesja obejmuje 64 km² i należy do CM Buenaventura. Stwierdzono 9 głównych żył kwarcowo-siarczkowych ze złotem, przecinających przeobrażone tufy dacytowe i ryodacytowe Manto i subwulkaniczny kompleks Sarpane. Wulkanity grupy Andahua i żwiry rzeczne są wyraźnie młodsze od mineralizacji. Żyły mają szerokość 0.5–5 m, a badane dotąd próbki wykazywały 0.3–22.2 g/t Au, zawartego często w tellurkach, oraz znaczną lokalnie domieszkę srebra i miedzi. Prowadzone jest intensywne rozpoznanie systemem sztolni i wierceń w dwóch sektorach o łącznej powierzchni 1.4 km².

Recursos de los Andes

Pomiędzy koncesją Poracota a kanionem Cotahuasi na północy, na trudno dostępnym płaskowyżu około 5000 m n.p.m., znajduje się duża koncesja przedsiębiorstwa Recursos de los Andes S.A.C. Obejmuje ona powierzchnię około 200 km², w tym wychodnie przeobrażonych skał wulkanicznych grup Tacaza, Barroso i intrudujących w nie pni subwulkanicznych. Brak danych o aktywności w tej strefie.

Kopalnie zespołu Shila–Paula

Złoże Shila znajduje się na bezludnym terenie wysokogórskim (Fig. 5) 20–25 km na wschód od Orcopampa. Obejmuje 20–30 żył epitermalnych w strefie wysokości 4900–5200 m n.p.m., udostępnionych sztolniami. Ruda ma zmienny skład, cechuje ją wysoka zawartość srebra (200–550 g/t) i umiarkowana złota (12–15 g/t). Zasoby są niewielkie. Wydobycie rozpoczęto w 1990 roku. W poszczególnych systemach żył trwało ono po kilka lat. W 2005 roku nastąpiło wyczerpanie zasobów.

Kilka kilometrów na północ od zespołu kopalń, u zbiegu największych potoków, około 4700 m n.p.m. zbudowano zakład wzbogacania flotacyjnego i ługowania. 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.

Przeгляд środowiskowy w 2002 roku (www.minem.gob.pe/mineria/publicaciones/PAMAS) ujawnił kilka niedociągnięć. Pod sankcją kar spółka została zobowiązana w ciągu 15 dni do przedstawienia projektów technicznych składowiska odpadów górniczych z sektora Sando Alcalde i rekultywacji starych osadników odpadów przeróbczych, pełnego bilansu wód technologicznych oraz wyjaśnienia na czym polega proces unieszkodliwiania cyjanków po ługowaniu koncentratu. Sektor Sando Alcalde leży na wododziale, a wody z przyległej doliny polodowcowej mają być użyte do nawadniania i celów energetycznych. Spływają one do Laguna de Chachas, a następnie do Rio Colca.



Fig. 5. Budynki techniczne kopalni Shila

Fig. 5. Technical buildings of Shila mine

Kopalnia Paula jest jedną z najwyższych położonych na świecie (Fig. 6). Jej wyrobiska znajdują się na odludziu, na wysokości 5030–5280 m n.p.m. (Fig. 7). Kopalnię uruchomiono w 1996 roku, 5 lat po odkryciu złoża. Urobek wozi się przez wysokie góry do odległego o 40 km zakładu przeróbczego Shila. W takiej sytuacji potencjalne skażenie środowiska ogranicza się do kopalni, osiedla górniczego i transportu. Tego ostatniego nie badano. Budowany jest tunel z sąsiedniej doliny Ancoyo, w której również odkryto małe złożo. Skróci on znacznie drogę transportu, pozwalając jednocześnie na udostępnienie poziomów 4980–4880 m n.p.m. w Paula i powiększenie w ten sposób nikłych już zasobów.

Niedawno obiekty CEDIMIN połączono w jedno przedsiębiorstwo Shila–Paula. Jego koncesje obejmują obszar 374 km². Zbudowano na nich sieć dróg i 3 osiedla górnicze. W ciągu 17 lat działania zespół Shila–Paula wydobyl około 1 mln t rudy dostarczając 10 965 ton złota i 221 ton srebra.

W wyniku przeglądu środowiskowego nie stwierdzono skażenia bakteriologicznego i chemicznego wód. Zażądano jednak wprowadzenia dodatkowo monitoringu pH wód spływających z terenu kopalni. Zasilają one po kilkudziesięciu kilometrach Rio Colca płynąc częściowo przez tereny zatorfione.



Fig. 6. Krajobraz wokół kopalni Paula. W lewym dolnym rogu osiedle górnicze

Fig. 6. Landscape around Paula mine. Note mine camp in the lower left corner



Fig. 7. Wejście do sztolni na poziomie 5225 m n.p.m. w kopalni Paula

Fig. 7. Adit entrance at the level 5225 m a.s.l. to the Paula mine

Kopalnia Paula jest najbliższą czynną kopalnią w stosunku do Kanionu Colca. Odległość do Rio Colca w linii prostej wynosi 14 km, ale oddziela ją wysoki grzbiet Quiscapanca–Silanque–Escribano. Walory przyrodnicze i krajobrazowe terenów przyległych od wschodu zachęcają do objęcia ich granicami przyszłego parku narodowego lub krajobrazowego.

Arcata

Kopalnia podziemna Arcata została założona w 1964 roku na miejscu przypowierzchniowej eksploatacji srebra w czasach kolonialnych. Obejmuje słupy rudne w kilku żyłach (Fig. 8), zawierające minerały srebra (pyrargiryt, tetradryt i akantyt), cynku, ołowiu i miedzi. Mają one zasięg pionowy 250–350 m i kontrolowane są zasięgiem kompleksu lawowego formacji Sencca (Candiotti de los Rios *et al.* 1995) lub Orcopampa (Echavarría & Nelson 2002) oraz uskokami grawitacyjnymi. Początek mineralizacji datowany jest 5.4 Ma, niedługo po małych pniach intruzji ryolitowych, a temperatury precypitacji zespołu polimetalicznego określono na 230–270°C, zaś metali szlachetnych 100–200°C (Candiotti de los Rios *et al.* 1995).

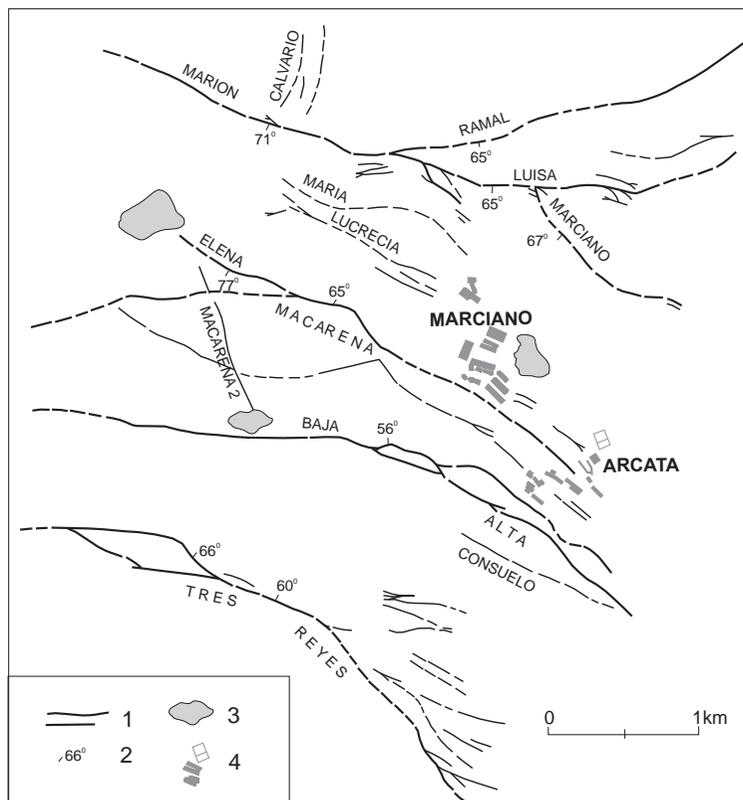


Fig. 8. Struktura złoża Arcata (Candiotti de Los Rios *et al.* 1990). 1 – żyły, 2 – upad, 3 – jezioro, 4 – osada górnicza

Fig. 8. Geological structure of the Arcata gold-silver deposit (Candiotti de Los Rios *et al.* 1990). 1 – veins, 2 – deep, 3 – lake, 4 – mine camp

Obszar objęty koncesją ma powierzchnię około 240 km². Kopalnia leży na odludziu, na wysokości 4600–4900 m n.p.m. W pobliżu zbudowano osiedle górnicze i zakład wzbogacania flotacyjnego. Energię elektryczną uzyskuje się z własnej hydroelektrowni. Do 1989 roku uzyskiwano tylko koncentrat srebrowy z domieszką złota, a później podejmowano okresowo produkcję koncentratów Zn i Pb. W ostatnich latach produkuje się około 100–150 t Ag i 220–370 kg Au rocznie (Tab. 2). Zmienna natura żył powoduje od dawna niepewność co do perspektyw wystarczalności zasobów. Ostatnio zasoby zostały powiększone w wyniku rozpoznania eksploatacyjnego systemu żył Mariana i Macarena; wystarczą co najmniej na 4–10 lat. Przewiduje się wzrost wydobycia o 50% do roku 2009 (www.hochschildmining.com).

Tabela (Table) 2

Produkcja górnicza w okręgach Orcopampa i Caylloma w latach 2003 i 2006

Mine output in Orcopampa and Caylloma districts in 2003 and 2006

Kopalnia <i>Mine</i>	Au (kg)		Ag (t)		Pb (t)	Zn (t)	G/t
	2003	2006	2003	2006	2003	2003	
Chipmo	5 642	7 919	2	2.5			19.3 Au
Shila-Paula	376.4	819	20	4.9			14.3 Au
Ares	5 763	4 836	80	83.6			17.4 Au + 310 Ag
Arcata	222	370	108	147.8	154	295	
San Cristobal	48.5	–	42	–	243	380	
Łącznie/ <i>Total</i>	12 052	13 944	252	237.0	397	675	

W wyniku przeglądu środowiskowego uznano rehabilitację terenu po zlikwidowanej części kopalni za poprawną – na części zwalów przywrócono roślinność trawiastą; monitoring wód nie wskazuje na przekroczenie norm; wspomagano socjalnie pobliskich hodowców lam i alpak, zbudowano dla nich staw do hodowli pstrąga i udostępniono im odbiór telewizji satelitarnej.

Ares

Obszar koncesyjny ma powierzchnię około 100 km², leży w pustynnym terenie górskim, na którym szybko zanika czapa lodowa. Kopalnię Ares uruchomiono w 1998 roku, w 10 lat po odkryciu złoża złota z domieszką srebra, kosztem 48.5 mln USD (Chadwick 2000). Znajduje się ona na wysokości 4950 m n.p.m. Prowadzi się w niej podziemne wydobycie rud ze strefy sztokwerkowo-żyłowej i ługowanie pokruszonego urobku cyjankami. Jest to jeden z największych producentów złota w regionie, lokalny pionier ługowania cyjankami i wzbogacania na pulpie węglowej. Koszt produkcji wynosił poniżej 110 USD/tr.oz. ale ostatnio wzrósł na skutek pogorszenia jakości w resztkowych częściach złoża. Średnia zawartość metali szlachetnych w urobku w latach 2005 i 2006 wynosiła odpowiednio 22.8 i 17.4 g/t Au oraz 355 i 310 g/t Ag. Przewiduje się eksploatację do około 2010 roku oraz dwukrotne zwiększenie mocy zakładu przerobczego, który obsługuje jednocześnie odległe kopalnie Selene i Pallan-cata. Zakład ten jest od 2005 roku zasilany w energię linią 66 kV z portu Callali. Ma ona zasilać również Orcopampa i zakład przerobczy Shila–Paula, uzupełniając malejącą ilość energii z ujęć własnych na potokach górskich.

Audytor przeglądu środowiskowego pochwalił przedsiębiorstwo za pomoc dla lokalnej społeczności nomadów (zresztą niewielkiej), dla której zbudowano świetlicę, a mieszkańców wyposażono w materace; uruchomiono też projekt zootechniczny w celu ulepszenia genetycznego alpak. Czystość wód i powietrza odpowiadała normom. Jednocześnie audytor a w ślad za nim Dyrekcja Generalna Górnictwa zażądała, by w ciągu 30 dni przedsiębiorstwo górnicze uzyskało akredytację planu działania na wypadek nadzwyczajnych zagrożeń związanych z transportem substancji niebezpiecznych i toksycznych, stosowanych przy urabianiu skał i ługowaniu metali szlachetnych. Jest to długi (ponad 400 km) i dość karkołomny transport. Nie znamy rozwiązania tego problemu.

Caylloma

Caylloma jest najstarszym okręgiem górniczym w tej okolicy. Rozkwitł on w XVII i XVIII wieku jako źródło srebra, następnie po zniszczeniach podczas powstania ludowego pod wodzą Tupac Amaru II w 1780 roku zamarł na długo, lecz odrodził się w połowie i pod koniec XX wieku jako ośrodek wydobywania rud polimetalicznych z domieszką Ag i Au. Dostarczył ponad 4000 t srebra, będąc drugim po Potosi, największym ośrodkiem górniczym w dawnym wicekrólestwie Hiszpanii (Ericksen *et al.* 1995). Obecnie działają tu 3 kopalnie średniej wielkości: San Cristobal związana z Hochschildem oraz Sandra 104 i Sandra 105, i dwie małe kopalnie Candel – należące do osób prywatnych. Po przerwie w latach 2003–2005 produkcja została wznowiona w drugim półroczu 2006 roku. Przewidziano uzyskanie 31 t Ag w koncentracji, który przewożony będzie do portu w Matarani i dalej do huty w środkowym Peru.

Złoże skupia co najmniej 25 stromych, rozwidlonych żył, należących do 6 systemów, w szczelinach uskoków przesuwczych i grawitacyjnych, usytuowanych w NE części kaldery Caylloma. Przecinają one andezyty grupy Tacaza (tu datowane na 20.3 Ma), które podległy przeobrażeniom: propylityzacji i sylifikacji (wiek 18.3 Ma). Na podstawie składu izotopowego siarki i dużego stężenia soli w inkluzjach ciekłych prawdopodobny jest udział pomagmowych roztworów hydrotermalnych o temperaturze około 270°C, z których wytrąciły się minerały użyteczne na głębokości około 650 m poniżej dawnego lustra wody (Echavarría *et al.* 2006). Kopuły ekstruzyjne ryolitu-dacytu wcisnęły się do tej samej kaldery, co nastąpiło już po mineralizacji (przed 11.8–12.3 Ma).

Żyły kruszcowe mają grubość 0.2–20 m, średnio 1.2 m i sięgają głębokości 300 m. Składają się z kilku odmian kwarcu, rodonitu, rodochrozytu, kalcytu, pirytu, adularu i siarczków. Dawniej budziły zainteresowanie krótkie żyły bogate w siarkosole srebra i srebro rodzime, obecnie eksploatacja objęła dłuższe żyły San Cristobal–Esperanza i Animas (1.5–3 km), tę drugą z dużym udziałem siarczków Zn, Pb, Cu i domieszkami złota.

Hiszpanie forsowali pozyskiwanie metali szlachetnych, a zaniedbywali rolnictwo, którego produkty trudno było eksportować. Górnictwo kolonialne spowodowało poważne zmiany gospodarcze regionu, gdyż wymagało wielu rąk do pracy. W 1640 roku zatrudniano niewolniczo aż 800 Indian (Gutiérrez *et al.* 1986), a liczba pracujących w kopalniach okręgu Caylloma sięgała niemal 9000 (Manrique 1985). Przesiedlenie Indian spowodowało upadek rolnictwa w pobliskiej Dolinie Colca – niegdyś spichlerzu Inków – oraz pasterstwa na obszarze wyżyny. Powrót osadników w doliny po upadku górnictwa okazał się trudny, gdyż nie naprawiany system irygacyjny uległ erozji. Do dziś ogromny system tarasów w strefie wysokościowej przydatnej do upraw w Dolinie Colca jest słabo wykorzystany. Przykład ten jest używany często w kampaniach ekologicznych przeciwko górnikom.

Hochschild posiada od 1981 roku koncesję na tereny o powierzchni 22.3 km², z osiedlem górniczym na 350 osób i prawem użytkowania zakładu wzbogacania flotacyjnego w Huayllacho o zdolności przerabiania 600 t/dobę. Zarządza nimi poprzez CM Arcata. W ostatnich latach uzysk srebra wahał się w granicach 85–88%, a złota spadał z 79 do 55%. Produkcja sukcesywnie spadała na skutek wyczerpania zasobów i niewystarczających nakładów na rozpoznanie w okresie ówczesnej bessy cenowej na metale szlachetne. W okresie 1998–2002 CM Arcata uzyskała tu 265 t Ag i 372 kg Au (Armbrust *et al.* 2005).

Przegląd środowiskowy współczesnej działalności górniczej w 1997 roku objął tylko kopalnie średniej wielkości. W stosunku do Hochshilda wymuszono realizację projektu PAMA, polegającego na zmniejszeniu uciążliwości produkcji, uszczelnieniu składowisk odpadów, ich zadarnieniu oraz drenażu i zubożeniu odcieków do poziomu standardów środowiskowych, na kwotę 365 000 USD (Armbrust *et al.* 2005). Audyty w latach 2002 i 2004 stwierdziły wykonanie zobowiązań. Hochschild ma prawo korzystania z regionalnej sieci energetycznej, a ostatnio stał się właścicielem stacji hydroenergetycznej o mocy 3.6 MW, która może zaopatrzyć w światło również miejscowość Caylloma.

Madrigal

Madrigal jest najniższą położoną osadą górniczą w omawianym regionie, 3200 m n.p.m. Prawdopodobnie powstała ona wcześniej niż kopalnie, przed konkwistą, skupiając ludność rolniczą. Leży na skraju uprawnej Doliny Colca, w miejscu, gdzie przechodzi ona w głęboki kanion. Zbiegają się tu też strome wąwozy spadające z gór i żłobiące głęboko 300-, 400-metrową serię mioceńskich andezytów i zlepieńców. Odsłaniają one również niewielki pień dacytowy, intrudujący 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 złożo polimetaliczne i tam poprowadzono sztolnie kopalniane. Żyły kruszcowe znajdują się w mioceńskich skałach wulkanicznych i subwulkanicznych, a jedna z nich wchodzi w niżę ległe łupki mezozoiczne (Tumialán 1991). Kopalnie były czynne w okresie kolonialnym i modernizowane w XIX wieku przez polskiego uchodźcę, inż. Aleksandra Babińskiego (1823–1899). Od kilku lat wydobywanie ustało. Pozostały jednak zwałowiska odpadów, których unieszkodliwienie jest przedmiotem spotkań władz lokalnych z dyrekcjami urzędów górniczych, opieki zdrowotnej i in., jak dotąd bezowocnych (DESCO 2005).

Złożo to tworzy kilka żył szczelinowych o azymucie WNW-W, nachylonych 40–75° ku północy. Największa z nich, Santa Rosa ma długość 4 km i jest przecięta podłużnie przesuwczo-zrzutowym uskokiem pomineralizacyjnym, ewidentnie reaktywowanym (Tumialán 1991). W sąsiedztwie zidentyfikowano 5 innych uskoków grawitacyjnych i przesuwczych sinistralnych o zbliżonym kierunku oraz system późniejszych uskoków poprzecznych. Strefa utlenienia występuje szczytkowo na skutek silnej erozji.

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 piryt, zwłaszcza w głębi, a sfaleryt (marmatyt i odmiana czerwona), galena i chalkopiryt mają duży udział. Podrzędnie występują tetradryt i siarkosole srebra. Żyłom towarzyszy sylikacja i w nieco większej odległości serycytyzacja i propilityzacja; lokalnie pojawia się granat (almandyn). W płaszczyźnie żył Sta Rosa stwierdzono 3 pnie rudne, każdy o długości 200–400 m.

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.

Kościół w Madrigal zbudowano z początkiem XVII w., a potem rekonstruowano po zniszczeniach przez trzęsienia ziemi (Gutiérrez 1986). Osada ta jest niefortunnie zlokalizowana na uskoku, którego aktywność przed kilku laty zrujnowała wieś Maca po drugiej stronie Doliny Colca i prowokuje osuwiska między tymi miejscowościami (Dávila *et al.* 1988). Biedny wystrój kościoła w Madrigal nie wskazuje na jakieś korzyści z bliskości kopalń. W latach 70. XX wieku podjęto budowę drogi z Arequipy do Madrigal, która obok projektu irygacyjnego Majes, przyczyniła się walenie do udostępnienia Doliny Colca. Nie uratowała ona jednak kopalni, która wyczerpała wkrótce zasoby bogatszych żył.

Mina Rodriguez

Kopalnia soli kamiennej Rodriguez znajduje się na wysokości 3800 m n.p.m. na stoku Cerro Sucna nad Huambo. Pięć kilometrów od niej na zachód działała kopalnia Pucahuayco w tych samych warstwach czerwonych, miejscami pstrych, górnokredowej formacji Seraj. Wśród osadów piaszczysto-mułowcowych znajdują się warstwy skał węglanowych, przechodzące w soczewki gipsów i soli kamiennej o grubości 1 do 2 m (Caldas 1993). Sól jest wydobywana na małą skalę prymitywną metodą i w kawałkach wysyłana karawanami lam, nawet w tak odległe rejony jak Cuzco. Eksploatacja jest prowadzona bez koncesji.

Kopalnia trawertynu w Huambo

Około 10-kilometrowej długości, gruby język czwartorzędowego trawertynu w dolinie Huambo jest od kilku lat eksploatowany lokalnie i wykorzystywany do produkcji materiału wiążącego. Mała kopalnia podziemna, młyn i piec do wypalania wapna znajdują się przy drodze, 2–3 km na południe od Pueblo. W zakładzie pracuje kilkanaście osób. Wydobycie nie jest zarejestrowane przez Ministerstwo Energii i Górnictwa, ani uwzględnione w raporcie DESCO (2005). W sztolniach wydobywczych brak podstawowych zabezpieczeń co grozi zawaleniem stropu.

Kopalnie kamienia budowlanego

W różnych miejscach prowadzona jest eksploatacja skał na potrzeby lokalnego budownictwa dróg i kanałów irygacyjnych. Są to przeważnie skały wulkaniczne przydatne do produkcji kruszywa łamanego oraz tefra lapillowa. Kopalnie takie istnieją m.in. w stożkach piroklasycznych Cerro Mauras nad Orcopampa i Antapuna Este przy drodze Orcopampa–Caylloma, ponad tunelem wodnym Ashua na południe od Huambo. Eksploatacja jest prowadzona doraźnie, bez koncesji. Przy obecnej skali wydobywania nie wywołuje istotnych zmian krajobrazowych i środowiskowych.

INNE DUŻE INWESTYCJE

Do innych dużych inwestycji, które wpływają na środowisko biotyczne, walory krajobrazowe, dostępność turystyczną i zagospodarowanie okolic projektowanego parku narodowego należą: projekt irygacyjny Majes–Sigüas, linia energetyczna Socabaya–Mantaro i rozbudowa sieci drogowej.

Projekt Majes

Projekt Majes–Sigwas jest ogromnym przedsięwzięciem hydrotechnicznym doprowadzenia wód spod lodowców Nevado Mismi oraz rzek Apurimac i Colca na pustynną równinę Majes–Sigwas na zachód od Arequipy (www.autodema.gob.pe) (Fig. 1). Został on zatwierdzony do realizacji uchwałą rządu Peru w 1973 roku, a od 2003 roku przekazany samorządowi departamentu Arequipa. Celem projektu jest dostarczenie wody na użytek rolnictwa i osadnictwa oraz produkcja energii elektrycznej. Realizacja projektu podzielona jest na dwa etapy, z których pierwszy (Majes) został sfinansowany ze środków publicznych w zasadzie do roku 1985. Zbudowano zbiornik retencyjny Condoroma w górnym biegu Rio Colca, spiętrzenie w Tuti (3747 m n.p.m.), tunele przesyłowe (88 km) i kanał (13 km) ponad Doliną Rio Colca do spiętrzenia w Pitay (1665 m n.p.m.) na Rio Sigwas. Stąd kanał magistralny (15 km), a następnie sieć kanałów irygacyjnych nawadniają uprawy rolne na pustynnej dotąd Pampa de Majes i Santa Rita de Sigwas. Tereny nawadniane znajdują się na wysokości średniej 1375 m n.p.m., są silnie nasłonecznione i mają umiarkowany klimat, z wahaniami temperatury od 12 do 26°C, co stwarza korzystne warunki dla rolnictwa i hodowli. W pierwszym etapie projektu nawodniono obszar 14 000 do 15 500 ha, na którym powstały tysiące gospodarstw wielkości około 5 ha i kilka miasteczek. Stworzono 9600 miejsc pracy w rolnictwie i związanym z nim przemysłem rolniczym oraz 12 400 miejsc w usługach. Ocenia się, że projekt spowodował osadnictwo 30 000 ludzi. Był też poważnym impulsem do budowy dróg w rejonie prac hydrotechnicznych.

Obecnie przystąpiono do etapu drugiego, który obejmuje zaporę Angostura na rzece Apurimac, najdłuższym dopływie Amazonki, na wysokości 4220 m n.p.m. Stąd wody kierowane będą tunelami Pucara i Transandyjskim (16.5 km) pod kontynentalnym działem wodnym do Rio Chalhuanca, dopływu Rio Colca. Następnie popłyną systemem tuneli i kanałów od Tuti do Rio Sigwas, przed ujściem do której będą napędzać turbiny przyszłych hydroelektrowni Lluta (274 MW) i Lluclla (382 MW), i ewentualnie Tarucani. Ze spiętrzenia w Pitay woda popłynie tunelem i kanałem nawodnym na Pampa de Sigwas (38 000 ha, 1750 m n.p.m.), a nadmiar wody pozwoli na zagospodarowanie dodatkowych 10 000 ha na Pampa de Majes. Produkcja rolna i energia elektryczna mają być przeznaczone głównie na eksport. Stworzonych zostanie 60–80 tysięcy stałych miejsc pracy, a pośrednio 180 000 miejsc. Koszty inwestycyjne tego etapu oceniono na 261 mln USD, z czego 120 mln USD miałyby dostarczyć budżet państwa (Autodema 2000, www.regionarequipa.gob.pe).

Dla przyszłego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów istotne jest, że na jego terenie prace konstrukcyjne zostały zakończone i nie spowodowały większych negatywnych zmian przyrodniczych. Projekt Angostura spowoduje powstanie jeziora górskiego o powierzchni 40 km² i skomplikowanej linii brzegowej. Jeziora takie są naturalnym elementem krainy Puna, wzbogacają jej krajobraz i stanowią siedliska ptaków.

Linia energetyczna Socabaya–Mantaro

W latach 1998–2000 poprowadzono linię 220 kV z Socabaya koło Arequipa (Fig. 1) do największej hydroelektrowni Peru na Rio Mantaro, w departamencie Huancavelica. Ma ona zasadnicze znaczenie dla kraju spinając dwa główne systemy zaopatrzenia w energię elektryczną: środkowo-północny i południowy. Wykonawcami inwestycji były kanadyjski Hydro-Quebec

i hiszpańska REE. Jest to linia transandyjska o długości ponad 600 km, poprowadzona na ogół na wysokości powyżej 3000 m n.p.m. w bardzo trudnym terenie z rzadką siecią dróg. Doceniając potrzebę i ogrom przedsięwzięcia oraz krótki czas realizacji nie sposób jednak pominąć lokalne niedociągnięcia. Linia przecina teren przyszłego parku na linii Huambo–Andahua i brutalnie zakłóca pierwotny krajobraz najpiękniejszej części Doliny Wulkanów. Postawienie wieży transmisyjnej na pasie startowym małego lotniska w Huambo, bardzo przydatnego do obsługi przyszłego ruchu turystycznego i w sytuacjach nagłych, wyłączyło go zupełnie z użytkowania. Przeniesienie sieci a nawet pojedynczej wieży w inne miejsce wydaje się nie-realne, podobnie jak znalezienie alternatywnego miejsca na pas startowy.

Sieć drogowa

Sieć drogowa rozwija się szybko na omawianym obszarze pomimo jego trudnej dostępności. Miejscowości po południowej stronie Kanionu Colca: Huambo, Cabanaconde i Chivay oraz liczne wioski w Dolinie Colca są połączone drogą bitą z Sumbay i Pedregal, a dalej szosą asfaltową z Arequipą. Z miejscowościami tymi utrzymywane jest 3–4 razy w tygodniu połączenie autobusowe. Z Arequipy docierają do Chivay i Cruz del Condor tysiące turystów, z reguły autobusami przedsiębiorstw turystycznych. Na wschodnim obrzeżu projektowanego parku znajduje się dość ruchliwa droga bita Sumbay–Callalli–Caylloma.

Miejscowości znajdujące się na północ od Kanionu Colca są w znacznym stopniu izolowane od Arequipy. Stosunkowo dobre, choć okrężne jest połączenie z nimi przez Dolinę Rio Majes. Prowadzi tędy droga asfaltowa do Aplao (600 m n.p.m.), która na południowych stokach Nevado Coropuna rozdziela się na dwie gałęzie – do Cotahuasi przez Chuquibamba i Armas oraz do Orcopampa i Andahua. Z Andahua prowadzą drogi do Ayo i Chachas, a z Orcopampa do Arcata i Caylloma, zamykając w ten sposób pętlę (Fig. 1). Wszystkie z wymienionych są drogami bitymi. Orcopampa, Andahua i Cotahuasi mają codzienne połączenia autobusowe z Arequipą.

Wszystkie drogi publiczne, spinające Dolinę Wulkanów i otoczenie Kanionu Colca z Arequipą, prowadzą znaczną część trasy na wysokości powyżej 4000 m n.p.m., pokonując przełęcz około 4900 m n.p.m. Uciążliwa droga z Huambo (3330 m) do Pedregal (1500 m) prowadząca przez dwie niższe przełęcz 4200 i 4300 m n.p.m. jest tu wyjątkiem. Drogi publiczne nie obniżają walorów krajobrazowych omawianego terenu, a przeciwnie dodają mu nawet malowniczości.

Na terenach górniczych istnieje sieć dróg łączących różne obiekty, wymagających na ogół samochodu terenowego. Wyjątkiem jest droga Orcopampa–Poracota, która podobno ma być przedłużona do Armas, co polepszyłoby połączenie z Arequipą i Cotahuasi. CM Buenaventura wspiera budowę drogi i mostu pomiędzy Ayo i Huambo, który jest marzeniem mieszkańców i powtarzaniem hasłem przed wyborami do samorządów. Jest to wyjątkowo trudna inwestycja, bowiem musi pokonać Kanion Colca w urwistej i niestabilnej części, obniżając się początkowo na krótkim odcinku około 500 m a następnie wznosząc blisko 1900 m do góry ponad Cancó. Inwestycja ta zmieni radykalnie dostępność Doliny Wulkanów i północnej strony Kanionu Colca z Arequipą i Chivay. Może mieć jednak niekorzystny wpływ na krajobraz i czystość przyszłego parku. Dlatego projekt powinien być poddany ocenie oddziaływania na środowisko pod kątem przyszłego obszaru chronionego i ewentualnym ograniczeniom realizacyjnym.

SZANSE WSPÓLISTNIENIA KOPALŃ I PROJEKTOWANEGO PARKU NARODOWEGO

Badania autorów w Peru zmierzają do utworzenia nowego parku narodowego na obszarze o wybitnych walorach geologicznych i krajobrazowych, a stosunkowo słabo zagospodarowanym. Obecnie wyznaczenie granic parku jest sprawą otwartą. Potencjalnym zagrożeniem jest konflikt interesów przedsiębiorstw poszukiwawczych i górniczych, które dążą do nieskrępowanego dostępu do złóż. Istotne znaczenie dla powodzenia projektu parku narodowego ma nastawienie społeczności lokalnej i konkurentów do wykorzystania terenu.

W rozmowach z kadrami kierowniczą kopalni i przedstawicielami samorządu pomysł utworzenia parku narodowego w odległości 15–30 km od koncesji górniczych był witany z zainteresowaniem, bez oporu kadry, a z entuzjazmem samorządowców. W tych warunkach można oczekiwać, że nie napotka on na opór również przy wdrażaniu tego projektu. Osiedla górnicze leżące w sąsiedztwie przyszłego parku mogłyby stać się, dzięki już istniejącej infrastrukturze hotelowej, bazą mieszkalną dla przyszłych turystów odwiedzających najgłębszy kanion świata. W tej chwili to właśnie kopalnie złota – budując drogi dojazdowe, osiedla mieszkalne, szpitale, szkoły – są forpaczka rozwoju gospodarczego w tej części wysokich Andów.

Praca została wykonana w ramach badań własnych AGH, nr 10.10.140.449

LITERATURA

- Albareda G., 2000. Peru climbs rapidly up the ranks of the world gold producers. *Engineering & Mining Journal*, 4, 17–22.
- Arana E., (ed.), 2006. Un santuario natural en los volcanes. *Bien Venida*, 55, 58–68.
- Armbrust G.A., Kilpatrick L.R. & Sandefur R.L., 2005. Technical Report, Caylloma Project, Arequipa, Peru. CAM LLC, 51311. Lakewood, Co, USA.
- 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*, 61.
- Bradford J., 2000. Poracota, un yacimiento epitermal de oro de alta sulfuración en el Sur del Perú. Primer Volumen de *Monografías de Yacimientos Minerales Peruanos*, ProExplo '99, 49–60.
- Chacón N., Canchaya S., Morche W. & Aranda A., 1997. Metalogenia como guía para la prospección minera en el Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 87, 15–37.
- Chadwick J., 2000. Latin gold. *Mining Magazine*, 8, 66–74.
- Chavez J.A., 2001. Investigaciones arqueológicas de alta montaña en el sur del Perú. *Chungará* (Arica), 33, 2, 283–288.
- Caldas J., 1993. *Geología de los cuadrangulos de Huambo y Orcopampa*. INGEMMET Boletín 46. Lima.
- Caldas J., 1994. *Mapa geológico del cuadrángulo de Huambo*, 1 : 100 000. INGEMMET.
- Caldas J., La Torre V., Lajo A., Díaz J. & Umpire L., 2001. *Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa* (actualizado) 1 : 100 000 (digital). INGEMMET.
- Chacón N., Canchaya S., Morche W. & Aranda A., 1997. Metalogenia como guía para la prospección minera en el Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 87, 15–37.

- DESCO, 2005. Proyecto Vigila Peru: Vigilancia de las industrias extractivas, Reporte Regional de Arequipa №2. Grupo Propuesta Ciudadana & Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo. Arequipa.
- Echavarría L. & Nelson E., 2002. Structural controls on the Arcata epithermal vein system, Peru. Geological Society of America, 2002 Denver Annual Meeting, Abstracts, session 82-7.
- Echavarría L., Nelson E., Humphrey J., Chavez J., Escobedo L. & Iriondo A., 2006. Geologic Evolution of the Caylloma epithermal vein district, Southern Peru. *Economic Geology*, 101, 4, 843–863.
- 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. *Sociedad Geológica del Perú*, Vol. Jubilar A. Benavides, 103–125.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 320–326.
- Gauthier A., 1998. Where to explore for gold in the Andes. 3rd Int. Gold Symposium, Lima.
- 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. *International Geology Review*, 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. *Economic Geology*, 90, 2317–2325.
- Glave M.A. & Kuramoto J., 2002. Minería, minerales y desarrollo sustentable en Perú. [In:] MMSD – Minería y minerales en America del Sur en la transición hacia el desarrollo sustentable: Abriendo brecha: 529–591. IIED London.
- Gurmendi A.C., 2006. The mineral industry of Peru – 2004. US Geological Survey Minerals Yearbook, 15.1–15-16.
- Gutiérrez R., Esteraz C. & Málaga A., 1986. El Valle del Colca (Arequipa). Inst. Argentino de Invest. en Historia de Arquít. y del Urbanismo. Buenos Aires, 185.
- INGEMMET, 2002. Estudio de los recursos minerales del Perú, franja nº2. *Boletín* 11, serie B: Geología Económica. Lima.
- Injoque J., Valera J., Mayta O., García J.L., Valdivia J., Minaya R., Meza J. & Barrionuevo H., 1995. El complejo volcánico Sarpane y su relación a la mineralización epitermal, distrito minero de Orcopampa, Arequipa, Perú. *Sociedad Geológica del Perú*, Vol. Jubilar Alberto Benavides: 127–133.
- Kauffman F., 2006. Las placas mágicas de Chuchu. *Bienvenida*, 55, 82–88.
- Manrique N., 1985. Colonialismo y pobreza campesina: Caylloma y el Valle del Colca siglos XVI–XX. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo. Lima, 1–237.
- Mayta O. & Lavado M., 1995. Controles estructurales de la mineralización de la Veta Calera – Orcopampa – Arequipa, Sur Perú. *Sociedad Geológica del Perú*, Vol. Jubilar Alberto Benavides, 193–204.
- 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. *Sociedad Geológica del Perú*, Lima.

- 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. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 95, 7, 33–38.
- Olko J., 1998. Sanktuarium Andów. *Wiedza i Życie*, 9, 42–48.
- Paulo A. & Gałaś A., 2005. Epitermalne złoża złota i srebra w okolicy Orcopampa i Caylloma, południowe Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 8, 639–648.
- Paulo A. & Gałaś A., 2006a. Górnictwo a rozwój zrównoważony i ryzyko inwestycyjne w Peru. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN Kraków, 22, zeszyt specjalny 2, 145–166.
- Paulo A. & Gałaś A., 2006b. Górnictwo rud w południowym Peru a ochrona środowiska i zrównoważony rozwój regionu. *Mat. Konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Wydawnictwo Instytutu IGSMiE PAN Kraków, 617–630.
- Petersen U., 1958. Plutones y mineralización en los Andes del Perú, Bolivia y Chile. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 33, 219–240.
- Plan 2006. Plan de gobierno regional 2007–2010 (propuesta). Movimiento regional “Arequipa Tradición y Futuro”. Arequipa.
- Rojas J. & Salazar J.C., 2006. Geología y exploración del yacimiento epitermal Chipmo–Orcopampa. www.iimp.org.pe/ArchivosAdjuntos/Noticias/Noticia104.htm
- Sébrier M. & Soler P., 1991. Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from late Oligocene time to Present. *Geological Society of America Special Paper*, 265, 259–278.
- Soulas J.P., 1977. Las fases tectónicas del Terciario Superior en Perú – corte Ayacucho–Pisco. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 57–58, 59–72.
- Tosdal R.M., Gibson P.C. & Noble D.C., 1995. Metal sources for Miocene precious-metal veins of the Orcopampa, Shila, Cailloma and Arcata mining districts, Southern Peru. *Sociedad Geológica del Perú*, Vol. Jubilar Alberto Benavides: 311–326.
- Vikre P.G., 1989. Fluid – mineral relations in the Comstock Lode. *Economic Geology*, 84, 1574–1613.

www.buenaventura.com

www.minem.gob.pe/mineria/publicaciones

www.hochschildmining.com

Summary

Introduction

Traditionally the mining constitutes an important sector of the Peruvian economy, supplying 5–11 per cent GNP and 45–56 per cent of foreign currency (Báez 2005, Sanchez 2005, Gurmendi 2006) at the cost of depleting non-renewable resources. Main income is generated by the export of gold, silver and base metals. In the Andes, due to severe climate excluding agriculture and residential use, the mining creates the only source of livelihood. However, the conflict in land management arises due to the fact that the mountains reveal extraordinary environmental values and their landscape appears attractive for tourists. Mining investors strive for unrestricted access to the mining leases and exploration areas whereas general public demands protection of environment, and qualification of responsibility for the brownfields resulting from historical mining. Both sides require free access to water and energy. Usually environmental

protection regulations impose serious restrictions on mining investors, therefore increasing company's costs of mitigation and reclamation. New rule guarantees the access to the mining lease for the companies that accomplish environmental operating agreement, known under its Spanish acronym PAMA. Dialog and coordinated actions of central administration, local governments, mining companies, and NGO's initiating future national reserves is necessary.

Mines and undeveloped exploration leases appear to be major neighbours of the potential reserve areas, and mining activity is the major alternative to the tourist services in the Valley of the Volcanoes and Canyon Colca. Therefore a study of the condition of nearby mining is needed, its perspectives, mission and aims. Also there is a need for recognition of other land-use competing entities as well as existing or planned protected areas, which should be bound in common protection system.

This article presents an economic geology description of the ore deposits and mines known to the north of Rio Colca Canyon as well as rock salt and travertine deposits exploited to the south, in the vicinity of Huambo (Fig. 1). Mining activities, cooperation of companies with the local governments, and supervisory actions of state administration are briefly outlined. Actions undertaken towards the protection of natural environment are depicted and perspectives of sustainable development in the post-mining fields are given.

Apart from the mining a big irrigation project Majes–Siguas, high tension power line Socabaya–Mantaro, and main roads influence the biotic environment, landscape, tourist accessibility and development of the reserve project. Their environmental impact is assessed as well.

Mining state of art

At the most contemporary mining in Peru is modern, meeting social demand and environmental standards. It was reformed in 1992 and supported with state economic decrees in 1996 and 1997. Reforms introduced privatization which comprised until the end of 2004 as much as 95 per cent of all mining companies of solid state minerals and 70 per cent in the sector of petroleum and gas. It gave net income of 15.7 billion USD and new owners declared new investments of 10 billion USD in the period 2005–2007 (Gurmendi 2006). Government presses for social investments and environmental protection striving to improve relations with local communities, in spite of it in some regions serious conflicts took place (Paulo & Gałaś 2006). Clear EIA procedures for new projects and programs of adjusting existing mines to environmental standards (PAMA) were introduced. Nevertheless, disagreements and ineffective projects happen, especially when local community expectations fail and become political hot-spots. There is growing experience that outstripping social, archeological, and environmental studies should be taken within a *prefeasibility study*, aimed to recognize whole range of sustainable development requirements.

In the worldwide classification of attractiveness to mining investments by Fraser Institute Peru stands at the 5th position, and if it is rearranged for separate states, at the 2nd position, after Chile. Such a high position follows not only from exceptionally high geological potential but also from relatively liberal organizational conditions and political stability. Professional mining experience of local people is highly appreciated. A positive picture of mining, presented by government agenda, comes from analysis of large and medium mines. However, quite different is the picture of small, family-scale, primitive mines, usually illegal, not registered and not controlled. They allow local people survive, having at the same time negligible input into national economy but may hardly affect environment.

Mine input into economy of region and implementation of environmental policy

Southern Peru became important region of metal production and exploration activity. In department of Arequipa until mid 2005 as much as 2616 exploration and mining leases were registered; they cover 21 per cent of total surface of the department (DESCO 2005). Tax for landuse of 1 hectare of a plot, 3 USD/y is quite small, but multiplied by total surface gives income 3–4 million USD per year. The tax for leases which didn't enter production within first 8 years increases. Tax incomes and other benefits multiply when mining production starts. In Arequipa department mining supplies 86 per cent of all concessioned activity, i.e. much more than hydroenergetics and fishing taken together (DESCO 2005).

In Peru local governments receive half of royalties for allocation in education and social programs. Local communities are increasingly seen as project stakeholders, with whom the investor should establish a partnership. In the strategy of sustainable development of the country it is underlined that depletion of mineral resources should be compensated by other maintenance, which allow local community to sustain living conditions and development both during exploitation and after mine closure. In Peru it means first of all medical aid, education, nutrition, better communication and social programs. A "Mining Program in Solidarity with the Population" was recently proclaimed. In a voluntary, extraordinary and temporary agreement with the Government the mining companies commit a percentage of direct mining operation Net Income (not in excess of 3.75%) to be devoted to social responsibility efforts, invested in the communities surrounding the mining operations and in their respective regions.

Local authorities postulate and come to agreements on local security and environmental protection measures, influence post-mining development. Experienced investor demonstrates that his project avoids environmentally and culturally sensitive areas, therefore endeavours to delimit early sectors interesting for renowned naturalists and curators of historical monuments (Blench 2001). Great care is directed towards increasing qualifications of the staff and safe working conditions (Paulo & Gałaś 2006a). Specific actions undertaken by the major mining companies in the area are exemplified below.

Buenaventura Mining Co. (S.A.A., open stock company)

Buenaventura is Peru's largest publicly-traded precious metals company and a major holder of mining rights in Peru, active more than 50 years. The company is engaged in the mining, processing, development and exploration of gold, silver and other metals from 7 complexes of wholly-owned mines, as well as through its participation in joint exploration projects. In 1960 acquired exploitation rights of Orcopampa mine, which at that time won small quantities of silver. Modernization of the mine and exploration effort in the vicinity directed by outstanding geologist, eng. Alberto Benavides de la Quintana, gave good results. In the period 1979–'98 gold bonanza in unknown portions of Calera vein and several new gold deposits were discovered in the Orcopampa district. This led into significant extension of mine life, increased production and incomes of company and local governments, improved infrastructure, and doubling of Orcopampa population up to some 6000.

Buenaventura's investments in the other regions of Peru were also effective, first of all in Yanacocha, which is now leading gold producer worldwide.

Directors of Buenaventura promote modern managerial methods and tighten bounds within social environment beyond expectations. They declared Buenaventura to be a globally

competitive mining-metallurgical corporation, turning attention to high safety standards, striving to the integrated development of professionals' team, maximum profitability and enhanced shareholder value. At the same time the company claims to be fully committed to responsible practices in the environment and to contributing to the sustainable development of the communities in which it operates (www.buenaventura.com.pe). It proved to contribute in exploration of hydrological resources, promotion of its rational use, construction of public roads, schools, promotion of tourist projects etc.

There is obvious evolution of external social relation along development of geological-mining project. At the stage of exploration the informative-discussion meetings with local people are organized, where goals of the company and expectations of the local governments are presented, and common interests agreed. "Open door" policy is implemented. When the preliminary results are known the economic potential of the microregion is evaluated and in common work with administration a diagnose of sustainable development is established and environmental impact assessed. All this is aimed to make clear vision of future.

At the stage of mine and infrastructure construction the importance of development of dialogue mechanisms is stressed out; they will follow from practicing public reports on advances and plans and at the same time hearing fears and preventing open conflicts. At every opportunity the company emphasizes supporting local initiatives and maintaining the highest environmental standards and best operational practices within a climate of sincere respect for other people, and their culture.

At the stage of exploitation a matter of great importance is protective clothing and general system of work safety. At that stage "open door" policy manifests itself among others in entertaining guests and trainees and cooperation with NGO's. Students of mining in American and European universities have there their practical trainings. Mining camp is well designed and carefully executed in contrast with poor local edifices.

Being censorious observers from abroad, visiting this part of Peru during sufficiently long period of 4 years we easily perceive realities and progress. We may confirm: public relations of Buenaventura are partnership, and progress is astonishing.

During the last 10 years Buenaventura has invested in the province of Castilla (part of Arequipa department) alone over 1.3 million USD to benefit local population by improving its potential for production, design and creation of community projects. Otherwise, it created direct and indirect employment. Orcopampa Division employs 380 persons in Chipmo mine, and 820 persons in exploration, pilot mine Poracota, and extensive infrastructure. In 2004 we profited in Orcopampa from public, fast internet. In the website www.buenaventura.com one can find the following information: "Our company contributes to decentralized development of Peru. We have constructed facilities for 107 villages, among other things:

- 4 schools for 1000 disciples,
- 4 hospitals, seeing 36 300 patients yearly,
- 315 km powerlines and 8 transformer stations,
- 384 km new macadam roads i 140 km renewed,
- 200 km roads of permanent maintenance,
- satellite TV lines since 1980,
- satellite telecommunication since 1996,
- 2 airports and 1 heliport."

However, some activities seem to be rather advertising message, eg. installation of trout farm and eco-park below cyanide leaching pond (Fig. 2), to prove, that implemented technologies are environmentally safe. A zoo and botanical garden are local attractions, when seeding plantation shall serve for future turfing of reclaimed dumps. Public objects and historic monuments are restored being particular about information plaque on sponsor (Paulo & Gałaś, 2006b). In 2006, alcalde (mayor) of Orcopampa with the financial help of Buenaventura arranged and opened to public a natural reserve “Waterfall and Icefalls of Panahua”, and a journal “BienVenida” promoting cultural tourism in Peru (www.bienvenidaperu.com) has dedicated its number 55 to show the attractions of “Astonishing Valley of the Volcanoes” and its surroundings. For the first time in professional manner the landscape, archeological and biodiversity aspects were popularized, and a profile of eng. Mauricio de Romania, Peruvian pioneer of sightseeing in this part of the country was given.

Procedures in accordance with quality norm ISO 9001 and environmental management in accordance with norm ISO 14001 were implemented, and audited by renowned foreign firms. Mining company declares that in the stage of mine closure will rehabilitate the lease aiming to restore balanced ecosystems and will train employees to work in new professions.

Buenaventura is able to cover high environmental expenses thanks to economic boom in the noble metal markets and low operation costs.

Hochschild y Cia Group

Hochschild belongs to the world class companies involved in exploration, evaluation, extraction, processing and sale of silver and gold, having over 40 years experience. It owns 3 mines in Peru and one more in advanced construction. Two of them – Arcata and Ares, and several mining leases are situated close to planned park. Hochschild proclaimed its mission as achieving high profitability and sustained growth with responsibility and excellence, whilst maintaining a strong focus on social and environmental responsibilities. An earlier proclamation of working safety and cooperation with local communities appeared not realistic in 2006 due to unexpected events. An external auditor, German firm DQM shown by MEM, who controls twice a year Hochschild activities in terms of safety and environmental standards, found during the passed years satisfactory compliance. Ares mine with its leaching facility was awarded in 2005 a prestigious CONAM prize for ecologically clean and efficient production as well as early implementing of environmental management system.

However, local communities in next Peruvian departments, Apurimac and Ayacucho, are quite distrustful to the actions of mining and administration. In 1999 a National Organization of Communes Affected by Mining (CONACAMI) was formed, which claims to integrate 1650 commune representatives from 18 departments of Peru (where 26 departments exist), in it from all major mining districts. CONACAMI is important but difficult partner in social dialog, being supported by ecological organizations from some developed countries. In 2006 it was reported that water samples from Rio Chalhuanca, tributary of Apurimac, in the distance of some 200 km from Rio Colca, have shown large contamination with arsenic as a probable cause of cattle and trout deaths. Ares mine (who is organizationally bound to mining leases there) was requested to cover the costs of establishing pollution source and proclaiming alert in the river basin. Dwellers of neighbour communes, extremely poor, demanded renegotiation of the lots selling act, considering it invidious, and additional payment of about 60 million USD, six fold higher than agreed earlier (www.conacami.org/demandas). The lawsuit seems

difficult to solve, as pollution of Rio Chalhuanca may have different source, and it was earlier claimed for compensation from another mining company. This case, in spite of occurring at distant terrain, clearly illustrates current mining problems in national scale.

Until 2006 Hochschild was proud being leader of working safety without any accidents, nevertheless, recently four fatal casualties took place (www.hochschildmining.com).

Ares and Arcata mines are active in almost uninhabited area. Therefore problems of cooperation with local communities and related expenditures are negligible, but the costs of importing work force and infrastructure stand higher. Hochschild employs 1935 contracted workers, including some 150 in Arcata and Ares mines. Because no permanent settlements in the vicinity exist the workers usually come in from distant towns, eg. from Puno. Mining campsites serve for three week shifts.

Earlier policy of not serving informations to the public is changing along with entering London Stock Exchange at the end of 2006. Extensive investments were made aimed to increase production. For 2007 following expenditures are planned: exploration 35 million USD, own mining projects 100 million USD, acquisitions from other companies 250 million USD. Part of them will be located in Arequipa department.

Metallogeny

Miocene magmatism controls the majority of Peru's ore deposits (Petersen 1958, Ericksen *et al.* 1995, Chacón *et al.* 1997, Ingemmet 2002). Locally the same conditions governed until Pliocene (Candiotti de los Rios *et al.* 1995). Magmatic rocks of Neogene epoch built great part of Western Cordillera to the north of Rio Colca. In many places they are covered by Plio-Quaternary stratovolcanoes of the Barroso Group, and lava flows and small scoria cones of Quaternary Andahua Group. These two last groups are considered barren. Extensive deluvia and covers of glacial and glaci-fluvial deposits obscure volcanic and tectonic structures (see Paulo 2008, this volume).

Gold, silver, and minor base metal deposits known in Orcopampa and Caylloma districts (Fig. 1) belong to epithermal type. They are related in space to the Neogene caldera complexes (Ericksen *et al.* 1995, Gibson *et al.* 1995, Noble *et al.* 2003, Echavarría *et al.* 2006), and hydrothermal activity generated around small hypabyssal stocks (Blès 1989, Candiotti de los Rios *et al.* 1990, Mayta & Lavado 1995, Tosdal *et al.* 1995, Mayta *et al.* 2002). This activity resulted in extensive alterations: propylitization, alunitization, argillization, and silification, whose bright colours facilitate exploration of the ore deposits (Fig. 3). The most productive appears Orcopampa Formation of the Tacaza Group. It is cut by a series of NE-E trending gravitational faults with downthrow up to 500 m (Gibson *et al.* 1993). The faults are ore-bearing. After epithermal mineralization Orcopampa Formation was gently folded and repeatedly faulted. Displacements along post-ore faults may exceed 100 m (Echavarría & Nelson 2002).

Mines and dressing plants

Mining has long traditions north of Rio Colca. It developed in the colonial epoch in Caylloma, Madrigal, Arcata and Orcopampa, but probably existed there earlier, under Inca administration. Geology of mineral deposits, their resources and reserves (Tab. 1), mine and dressing plants production (Tab. 2), expected reserves sufficiency, and environmental problems are

given in the main body of present article. Detailed data were presented in extensive literature, collected in attached bibliography for facilitating technical informations.

During the last quarter century in the vicinity of Orcopampa many gold-silver ore deposits were discovered (or rediscovered, as during mining activity traces of ancient mineworks are frequently found). The mines Arcata and Ares are owned by Hochschild Group, Chipmo, Shila, Paula, Layo, Soras, and majority of Poracota belong do CM Buenaventura (Fig. 1). Good results of exploration and high profits of the mines attract new investors and employees resulting in economic boom. Geological concessions cover an area of some 1500 km². Nevertheless, it shall be stressed that epithermal deposits, present in the region, display capricious structures, small reserves, extreme variability of noble metal grades, what expresses in short term and risky bussiness.

Caylloma is the oldest mine district in described area. It flourished in XVII and XVIII centuries as a source of silver. It supplied more than 4000 tons of silver, being second after Potosi large center in Virreynato del Peru (Ericksen *et al.* 1995). Then facilities were destroyed during uprising in 1780 led by Tupac Amaru II and only in mid XX century significant activity was restored, supplying Cu–Pb–Zn ores with Ag and Au admixtures. At present three mid scale mines are active: San Cristobal (owned by Hochschild, then Fortuna), Sandra 104 and Sandra 105, and two small mines Candel. Being suspended in 2003–2005 production was resumed in the second half of 2006 by Fortuna Silver Mines (www.fortunaventures.com). Reserves and production are small (Tab. 1 and 2) and noble metal recoveries rather poor.

Caylloma deposit consists of at least 25 steep, branching veins, 0.2–20 m thick (in average 1.2 m) at the altitude 4500–5000 m a.s.l. which continue some 300 m down deep. The veins are composed of quartz, rodonite, rodochrosite, calcite, adularia, pyrite and other sulphides. In the past short veins rich in silver sulphosalts and native silver avoked main interest, but present day exploitation embraced longer veins San Cristobal–Esperanza and Animas (1.5–3 km). The last one characterises by high content of Zn, Pb, Cu sulphides with gold admixture.

Spaniards forced noble metals winning but neglected agriculture, as it was difficult to export its products. Colonial mining has brought about serious changes in the economy of the region, as it demanded numerous work force. In 1640 as much as 800 Indian slaves were employed (Gutiérrez *et al.* 1986) and total number of workers in Caylloma mines reached almost 9000 (Manrique 1985). Resettlement of Indians resulted in collapse of agriculture in nearby Colca Valley – once a granary of Incas – and pasturing in the highland. Their return into the valley, when mining collapsed, appeared difficult as irrigation system not repaired underwent erosion. Until today vast system of terraces in the Colca Valley is inadequately used. This example is frequently used by ecologists in the campaigns against mining.

Madrigal is situated in the lowest position among mining campsites in the described region, at some 3200 m a.s.l. It is at the edge of arable Colca Valley, passing nearby in the deep canyon. At the same place two deep gorges converge which grooved Miocene andesites and conglomerates, a small dacitic stock and folded Jurassic and Cretaceous sedimentary rocks. At the altitude 3200–3600 m a.s.l. a set of polymetallic veins was also eroded which facilitated localization of mine galleries. The mines were active in colonial times and modernized in XIX century by A. Babinski (1823–1899), Polish political refugee from tsar regime. In the last few years exploitation ceased. However, vast mine dumps remained and their neutralization poses serious problems. Meetings of local authorities with officers of mining, sanitary aid etc. to solve the problem appear fruitless (DESCO 2005).

Madrigal church was constructed at the beginning of XVII century, and many times reconstructed after earthquakes (Gutiérrez 1986). Madrigal is located at the fault, whose activity devastated Maca village, on the opposite side of Colca Valley and provokes landslides in between them (Dávila *et al.* 1988). Poor décor of the church suggests that it not derived larger benefits from the mine.

Orcopampa was initially a place of extracting silver from ores exposed at Manto and Tintaymarca zones. In the end of XVIII century exploitation descended more than 100 m down steeply dipping veins, and in 1842 ceased. After 1960 new veins were found under landslides cover. Calera vein contained more than 2 million ton ore bonanza averaging 4.7 g/t Au i 555 g/t Ag. This allowed for extending mine life for 1981–1992 period. New discoveries in the vicinity, some 3–5 km west of Manto, and construction of a new gold mine Chipmo, active since 1999, prolong life of the district. Modern dressing plant improved metal recoveries and diminished environmental impact.

In the period 1969–1999 all exploited veins supplied nearly 2200 t Ag and 17 t Au (Rojas & Salazar 2005). In Chipmo (Fig. 4) four main veins 2 km long and 2–4 m wide are exploited, actually to the depth of 600 m. Until the end of 2006 more than 40 t gold were extracted here. Remaining reserves of some 1.1 million ton ore at 23.4 g/t Au and 10 g/t Ag (www.buenaventura.com). It allows to sustain production until 2009–2010. Operation costs are low, 145 USD/t in 2006, which guarantees high profit. Summing up quantities extracted in both Orcopampa deposits, which form a huge hydrothermal system we receive more than 92 t Au and 2200 t Ag. This is much in comparison to the greatest USA epithermal deposits: Comstock about 312 t Au and 7300 t Ag, and Goldfield 136 t Au plus almost 49 t Ag (Vikre 1989).

Nevertheless, perspective of mining activity in the district is quite short. Therefore exploration in Layo and Soras prospects, pilot mine Poracota and deeper levels of Paula mine is intensified. High prices of noble metals may incline towards reevaluation of abandoned projects.

Eastward from Orcopampa, in Alhuire and Santa Rosa veins of antimonite and galena in shattered Cretaceous quartzites and Neogene volcanic rocks were exploited. Both prospects were abandoned and large scale reclamation implemented in Blancas at Alhuire.

Expenditures of Orcopampa for environmental protection and infrastructure development, which were initially planned at 820 000 USD surpassed 1.3 million USD in effect of PAMA auditing and voluntary contributions.

Four large exploration prospects exist to the west of Orcopampa operations. They are Pucaylla–Jallhua (2 lots), Layo, and Recursos de los Andes occupying surfaces of 100, 48, 64 and 200 km² respectively. Until now only Layo entered detailed exploration stage.

Shila mine extracted silver and gold from some 20–30 epithermal veins in Cordillera Shila (Fig. 5) at the altitude 4900–5200 m a.s.l. in the period 1990–2005. The ore field is 20–25 kms away from Orcopampa, so in the vicinity own flotation and leaching plant operates.

Paula mine operating since 1996 is one of the most elevated worldwide (Fig. 6). Its mineworkings are at 5030–5280 m a.s.l. (Fig. 7). Ore is transported some 40 kms to dressing plant of Shila. A tunnel is actually dig via Ancoyo Valley for shortening interconnection and make levels 4980–4880 m a.s.l. of Paula accessible. Recently both mines were joined. During 17 years they extracted roughly 1 mln ton ore recovering almost 11 t Au and 221 t Ag. Their leases cover area of 374 km². Access roads and three mine camps were built.

Paula mine camp is the closest settlement to Rio Colca Canyon. There is a 14 km straight line distance between them, however a high range Quiscapanca–Silanque–Escribano forms a natural barrier. High assets of nature in the neighbouring eastern terrains induce to include them into future reserve.

Arcata underground mine was erected in 1964 in the site of surface exploitation of silver in the colonial period. It exploits ore shoots containing silver minerals (pyrargyrite, tetrahedrite and acanthite) in few veins (Fig. 8). Mining lease extends on 240 km² at 4600–4900 m a.s.l. At the place mine camp and flotation plant is founded. Until 1989 only silver concentrate with gold admixture was produced, later on time to time Zn and Pb concentrates were won. In the last years yearly yield was 100–150 t Ag plus 220–370 kg Au (Tab. 2). Great variability of the veins influences ideas about mine life time. Recent figures give 4–10 years and 50 per cent production increase (www.hochshildmining.com). There are not reports on environmental problems.

Ares mine has at disposal over 227 km² highland area where ice cap quickly disappears. The exploitation was commissioned in 1998, 10 years after gold-silver ore discovery at the altitude 4950 m a.s.l. A stockwork vein is exploited to a depth of 275 meters below surface. Crushed ore is delivered to an on-site cyanide leaching plant which feeds pregnant solution to Merrill Crowe plant to produce doré; recoveries being achieved are approximately 93% for silver and 96% for gold. The mine stands among the biggest gold producers in the region, being at the same time the cheapest one, below 110 USD/tr.oz. In 2006 operating cost increased because of lower grade of ore from marginal part of the deposit. E.g. average head grades for the leaching in 2005 and 2006 lowered from 22.8 to 17.4 g/t Au and from 355 to 310 g/t Ag. Reserves are sufficient for mine life until 2010. The capacity of dressing plant will be doubled as it serves for distant Selene and Pallancata mines in Apurimac department. Since 2005 this plant receives electricity transmitted by 66 kV powerline from Callali at the Pacific coast. The line shall additionally supply Orcopampa and Shila–Paula plants, where constantly diminishing flow of power generating rivers is observed.

Rodriguez rock salt mine operates at 3800 m a.s.l. in the massif of Cerro Sucna above Huambo. Five kilometers westwards Pucahuayco mine exploits salt from the same red beds of Upper Cretaceous Seraj Formation. Generally sandy-silty sediments contain carbonate intercalations with gypsum and salt lenses 1–2 metres thick (Caldas 1993). Salt is crushed out by handcraft method and in lumps transported by llama caravans to the mountain regions even so distant like Cuzco. The mines have not any concession.

Travertine mine in Huambo operates in 10-kilometer long, thick tongue of Quaternary lime deposit, producing cal. Primitive underground mine, mill and cal furnace are situated at the main road. A dozen people are employed. Extraction is not registered by the MEM and not included in DESCO (2005) report. It offends against safety.

Crushed stone is quarried in many places for construction of local roads and irrigation channels. Volcanic rocks are preferred for aggregate, especially lapilli tephra. Larger quarries were observed within pyroclastic cones of Cerro Murras above Orcopampa, Antapuna Este near the road Orcopampa–Caylloma, above water tunnel south of Huambo. Exploitation is intermittent, without concession. At the present scale it does not influence seriously landscape and biosphere.

Other large projects

Biotic environment, landscape, touristic access and development of the surroundings of future national park are largely affected by following projects, which add to the impact of mining. They are irrigation project Majes–Siguas, powerline Socabaya–Mantaro and regional road system.

Project Majes–Siguas presents huge hydrotechnical undertaking to carry glacial waters of Nevado Mismi (5597 m a.s.l.) and Apurimac and Colca rivers as well into desert foothills Majes–Siguas to the west of Arequipa town (www.autodema.gob.pe). It was accepted to performance by a special resolution of the government of Peru in 1973, and in 2003 passed for administration of regional government of Arequipa. Project accomplishment is composed of two stages, the first one (Majes) was financed from public sources until 1985. A retention reservoir Condorama and a dam in Tuti (3747 m a.s.l.) in the upper course of Rio Colca were built, then water was carried in tunnels (88 km) and a channel (13 km) above Colca Valley to the dam in Pitay (1665 m a.s.l.) on Rio Siguas. From there arterial channel (15 km) and a net of irrigation channels supply agriculture in former deserts of Pampa de Majes and Santa Rita de Siguas. Irrigated fields have mean elevation of 1375 m a.s.l., moderate climate with temperature fluctuations 12 up to 26°C, are well exposed to the sun's rays, and therefore suitable for cultivation of cereals and animal husbandry. In the first stage in the irrigated area of 14 000 up to 15 500 ha, thousands of 5 ha farms and few townships aroused. Some 9600 workplaces in the agriculture and food processing plus 12 400 in services were created. About 30 000 people settled there.

Actually the second stage begins, which includes Angostura dam on Rio Apurimac, the longest tributary of Amazon river, at the elevation of 4220 m. Waters will be directed to Pucara and Transandean tunnels (16.5 km) under continental divide and then to Rio Chalhuanca, tributary of Rio Colca, and join existing system. Just before entering Rio Siguas hydro-energetic plants Lluta (274 MW), Lluella (382 MW), and eventually Tarucani are to be constructed. A dam in Pitay, tunnel and channels will irrigate 38 000 ha of Pampa de Siguas (1750 m a.s.l.) and an excess of water shall allow for agricultural development of additional 10 000 ha in Pampa de Majes. Much of the new products will be exported. As much as 60–80 thousands of permanent will be created. Investment cost of this stage is approximated at 261 million USD, with the participation of state budget at 120 million USD (Autodema 2000, www.regionarequipa.gob.pe).

It is essential for the future national park that constructional works in this area were definitely finished and did not introduce negative changes of the environment. Angostura project will result in forming at the surface of 40 km² an intermountain lake showing rather complicated shoreline. Such lakes are natural elements of Puna highland zone, enrich her landscape and form avifauna habitats.

Powerline Socabaya–Mantaro was executed in 1998–2000. It has great importance for whole Peru joining two main electroenergy systems: north-central and southern. A Canadian company Hydro-Quebec and Spanish REE were the main contractors. This is a transandean powerline 600 km long, traced mostly above 3000 m a.s.l. in hardly accessible the terrain devoid of roads. Appreciating the need and dimensions of the project as well as quite short term of execution one must bear in mind that errors in judgement locally occur. This line cuts

future national park along the line Huambo–Andahua (Fig. 1) and brutally disturbs pristine landscape of the most beautiful section of the Valley of the Volcanoes. Location of the transmission tower within landing strip of Huambo, were useful for future tourists and in emergency, completely excluded this potential airport from use. Translocation of the towers or finding alternative landing place seems unrealistic, alas.

Road network develops rapidly in spite of difficult access of the country. Townships to the south of the Colca Canyon: Huambo, Cabanaconde i Chivay and numerous villages in the Colca Valley are connected by the trunk roads with Sumbay and Pedregal, and then by a highway with Arequipa. Those places have regular bus connections 3–4 times a week. Thousands of tourists visit monthly Chivay and Cruz del Condor, arriving usually by buses of tourist services. Along the eastern limit of the projected park a relatively bustling macadam road Sumbay–Callali–Caylloma goes. On the opposite, localities to the north of Colca Canyon are more isolated from Arequipa. They have roundabout, but relatively good connection via Nevado Coropuna platform (ca 4900 m a.s.l.) and Rio Majes Valley. Asfalted section joins Arequipa with Aplao (600 m a.s.l.) and then trunk road splits into two arms: Chuquimamba–Armas–Cotahuasi and Andahua–Orcopampa. Andahua is connected with Ayo and Chachas whereas Orcopampa with Arcata and Caylloma, forming a loop (Fig. 1). All the mentioned localities have daily bus connections with Arequipa. Public roads do not spoil landscape, on the contrary the add picturesque aspects.

Within mining areas there are many service roads which need four wheel drive. The exception is Orcopampa–Poracota broad macadam road, which might be eventually extended up to Armas improving much present public network. Alcaldes (presidents of local governments) in voting campaigns claim that CM Buenaventura aids in the road and bridge construction in between Ayo and Huambo, which is a dream of inhabitants. This is extremely difficult venture, needing careful studies before crossing the canyon in precipitous and unstable portion near Canco. This project would change radically access to the Valley of the Volcanoes and northern part of the region from Arequipa and Chivay, but it may influence negatively landscape and cleanness of future park. Therefore the project should be submitted to EIA procedures including aspects of future reserve and imposing probable limitations.

Odds of coexistence of mining, economic activity and future national park

Determination of limits of future national park is still an open question. Conflicts may arise between mining companies, who prefer unrestricted access to the ore deposits and perspective lots, as well as dwellers willing to built hotels in panoramic places. For the success of the national park project essential will be opinion of the local inhabitants and authorities as well as competitors in landuse.

During our talks with the mine managers and local authorities the idea of establishing national park in the distance of some 10 km from mining leases was welcomed with interest, without managers resistance and with enthusiasm of the authorities. In this circumstances one may expect that the resistance will not arise during implementation of the project. Mining camps existing in the neighbourhood of the future park might be transformed into tourist huts or hostels for visitors of the deepest canyon of the world. Actually, the gold mines, who construct access roads, settlements, hospitals, schools, are exactly those agents outposting economic development in this part of the high Andes.

ATRAKCJE GEOTURYSTYCZNE KANIONU RIO COLCA I JEGO OTOCZENIA

Geotourism phenomena of Rio Colca Canyon and its surroundings

Barbara RADWANEK-BAK

*Państwowy Instytut Geologiczny,
Oddział Karpacki;
ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków;
e-mail: barbara.radwanek-bak@pgi.gov.pl*

Treść: W artykule opisano wybrane atrakcje geoturystyczne Kanionu Rio Colca i jego otoczenia oraz opracowano wstępną koncepcję ich waloryzacji. Przyjęto następujące kryteria oceny: walory edukacyjno-poznawcze, krajobrazowo-widokowe, architektoniczno-kulturowe oraz rekreacyjno-wypoczynkowe. Odrębnie oceniano dostępność obiektów w aspekcie ich dostępności komunikacyjnej, jak i wymagań kondycyjno-technicznych turystów. Na terenie objętym badaniami zinwentaryzowano kilkadziesiąt obiektów o charakterze atrakcji geoturystycznych. Są one bardzo zróżnicowane. Obejmują: formy geomorfologiczne, wulkany, formacje skalne, profile geologiczne, ciekawostki mineralogiczno-petrograficzne, źródła wód termalnych oraz wodospady. Na omawianym obszarze istnieje też możliwość obserwacji aktywnych procesów geologicznych: wulkanicznych, tektonicznych i geodynamicznych. Ze względu na unikatowe walory przyrodnicze, interesującą historię, kulturę oraz żywy folklor, omawiany teren powinien zostać objęty prawną ochroną jako park narodowy. Zebrane informacje stanowią istotny element przygotowywanej obecnie wstępnej dokumentacji geologiczno-fizjograficznej omawianego terenu.

Słowa kluczowe: Kanion Colca, Dolina Rio Colca, Dolina Wulkanów, atrakcje geoturystyczne, waloryzacja atrakcji geoturystycznych

Abstract: This article describes a selection of geotourism phenomena located in a region of Rio Colca Canyon and also presents a preliminary concept of their evaluation. Proposed criteria are as follows: educational-cognitive; landscape-scenic; architectural-cultural; sport-recreational. Separately there were appreciated two aspects of availability: transport conditions and tourist access difficulty level. Assembled information are important component of presently preparing, preliminary geologic and physiographic documentation of mentioned region. The main goal of activity was focused to give the scientific-geological base for the purpose to create here The Colca Canyon National Park.

Key words: Colca Canyon, Colca Valley, Valley of Volcanous, geotourism phenomena, assessment of geotouristical values

WSTĘP

Dolina Rio Colca, w szczególności jej odcinek tworzący najgłębszy kanion świata oraz jego otoczenie, należą do tych szczególnych miejsc, które stanowią unikatową w skali światowej atrakcję turystyczną, odwiedzaną przez rosnące z roku na rok rzesze turystów. Dzieje się tak dzięki wyjątkowym walorom krajobrazowym całej okolicy, sławie i zainteresowaniu jaką budzi sam kanion oraz możliwości podziwiania skrzydlatych władców tej krainy – kondorów, w ich majestatycznych lotach, które można obserwować z punktu widokowego „Cruz del Condor”.

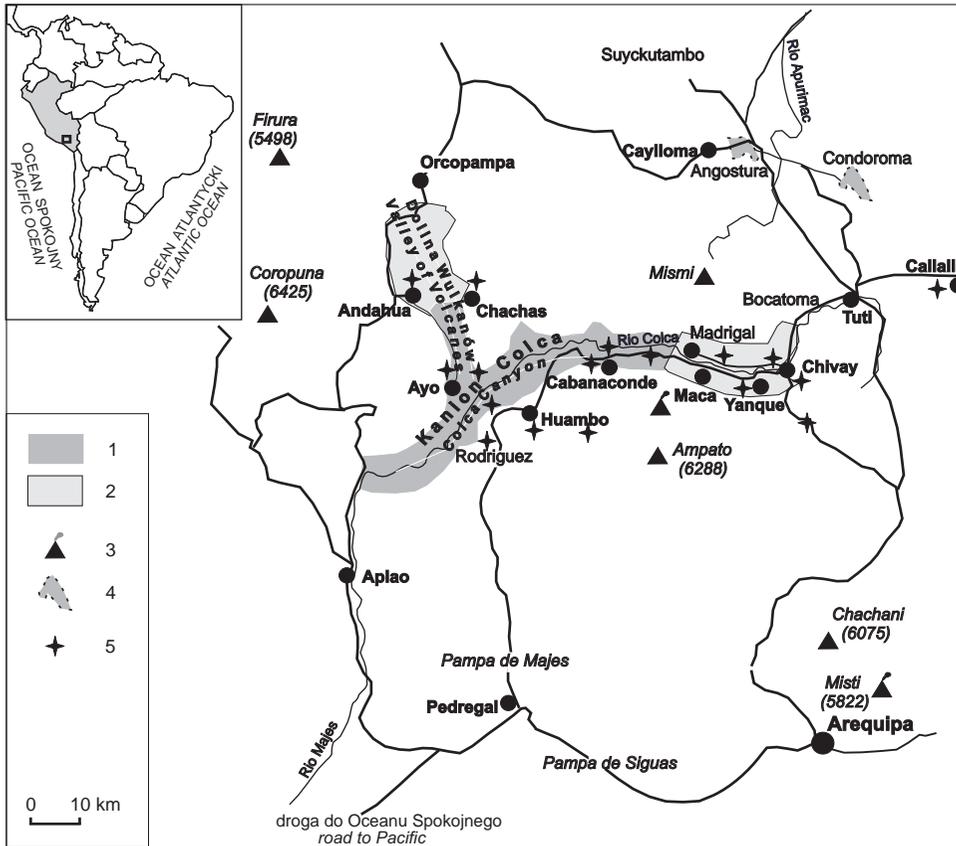


Fig. 1. Mapa okolic Kanionu Colca. 1 – projektowany park narodowy, 2 – strefa buforowa, 3 – strato-wulkan, 4 – jezioro zaporowe, 5 – atrakcja geoturystyczna

Fig. 1. Canyon Colca region. 1 – national park in project, 2 – buffer zone, 3 – stratovolcano 4 – water reservoir, 5 – geotourism phenomena

Kanion Colca i jego otoczenie są jednak przede wszystkim wielką i unikatową atrakcją geoturystyczną. To właśnie walory środowiska abiotycznego w zasadniczy sposób wpływają na atrakcyjność krajobrazową tego obszaru, zaś możliwość obserwacji aktywnych procesów geologicznych stanowi dodatkowy element, mogący przyciągnąć potencjalnych turystów.

W wielu miejscach, np. w USA, miejsca takie objęte są ochroną jako parki narodowe (Migaszewski 2002). Celem polskich badań naukowych kierowanych przez prof. Andrzeja Paulo (AGH) jest przygotowanie projektu Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów.

Zgodnie z definicją (Słomka & Kicińska-Świdorska 2004) atrakcjami geoturystycznymi są zarówno obiekty, jak i zjawiska geologiczne, które mogą być przedmiotem zainteresowania turystycznego. Aby takimi atrakcjami stały się realnie, konieczne jest zazwyczaj ich odpowiednie wypromowanie i udostępnienie. Podstawą do tych działań jest wszechstronna informacja o takich potencjalnych obiektach, zawierająca ich charakterystykę, waloryzację oraz koncepcję udostępnienia.

Zebranie takich informacji stanowiło cel badań prowadzonych przez autorkę w trakcie wyprawy w 2006 roku. Nawiązywały one do prac prowadzonych wcześniej przez dr inż. M. Krzaka w ramach tematu badawczego: „Uwarunkowania rozwoju turystyki w rejonie Andagua (Peru)” (Krzak 2005). W trakcie wyprawy przeprowadzono inwentaryzację kilkudziesięciu potencjalnych obiektów geoturystycznych zlokalizowanych głównie w Dolinie Rio Colca na odcinkach między miejscowościami Sibayo a Cabanaconde, w okolicach Huambo, a także w samym kanionie. Ponadto kontynuowano badania w Dolinie Wulkanów (Fig. 1). Do waloryzacji włączono również obiekty zinwentaryzowane w trakcie wcześniejszych wypraw.

Jedną z cech atrakcji geoturystycznych jest brak ograniczeń dotyczących ich wielkości. Mogą być nimi zarówno wielkoobszarowe formy morfologiczne lub obiekty hydrogeologiczne, jak i pojedyncze odsłonięcia lub ich fragmenty, zawierające ciekawe profile geologiczne albo też wystąpienia o charakterze mineralogiczno-petrograficznym, niewielkie formy geomorfologiczne, źródła, jaskinie, wyrobiska górnicze i inne.

INWENTARYZACJA I WALORYZACJA OBIEKTÓW I ZJAWISK GEOTURYSTYCZNYCH

Inwentaryzacji atrakcji geoturystycznych dokonywano w oparciu o zebrane opracowania źródłowe (Chavez *et al.* 2003, Wernke 2003, Zeballos 2003, 2005), materiały archiwalne udostępnione przez władze lokalne oraz wywiady przeprowadzane z przedstawicielami miejscowych władz, biur turystycznych i rozmowy z mieszkańcami. Uzyskane tą drogą informacje były następnie weryfikowane w terenie. Dla ujednoczenia informacji przy opisie i charakterystyce poszczególnych obiektów stosowano przygotowany wcześniej przez autorkę formularz inwentaryzacyjny (Tab. 1).

Istotnym elementem badań było opracowanie kryteriów pozwalających na waloryzację obiektów geoturystycznych. W opracowaniach poświęconych atrakcjom turystycznym lub geoturystycznym dominuje opisowy charakter ocen. Zdaniem autorki dla lepszego zobiektywizowania tych ocen oraz umożliwienia porównania poszczególnych, bardzo zróżnicowanych obiektów, konieczne jest opracowanie i zdefiniowanie w miarę wyrazistych kryteriów oraz ustalenie zasad i skali ocen. Poniżej zaprezentowana zostanie krótko propozycja takiej waloryzacji.

Dla oceny atrakcji geoturystycznych przyjęto następujące kryteria:

- 1) walory edukacyjno-poznawcze,
- 2) walory krajobrazowo-widokowe,
- 3) walory architektoniczno-kulturowe,
- 4) walory rekreacyjno-wypoczynkowe.

Tabela (Table) 1

Formularz inwentaryzacyjny atrakcji geoturystycznej

Geotourism attraction inventory form

Rodzaj atrakcji geoturystycznej: o – obiekt, z – zjawisko <i>Geotourism attraction type: o – object, p – phenomenon</i>			
Rodzaj obiektu/zjawiska (<i>object/phenomenon type</i>) Obiekt (<i>object</i>): Naturalny: forma geomorfologiczna, nagromadzenie skamieniałości, atrakcja mineralogiczno-petrograficzna, obiekt hydrogeologiczny, formacja skalna, profil geologiczny, jaskinia itp. <i>Natural: geomorphological form, fossil accumulation, mineralogical-petrographical attraction, hydrogeological object, rock formation, geological profile, cave</i> Antropogeniczny: wyrobisko górnicze, kopalnia, hałda, materiał budowlany lub dekoracyjny (fragment budowli, detal architektoniczny) <i>Anthropogenic: excavation, constructional and decorative materials etc.</i> Zjawisko (aktywny przejaw procesu geologicznego): wulkanicznego, geodynamicznego, hydrologicznego, eolicznego, sedymentacyjnego <i>Geological phenomenon (active symptom of geological process): volcanic, geodynamic, hydrologic, eolian, sedimentative</i>			
Numer w bazie danych (<i>database number</i>)			
Lokalizacja (<i>localization</i>): Jednostka administracyjna (<i>administrative unit</i>) Współrzędne (<i>coordinates</i>) Wysokość npm (<i>high above sea level</i>) Nr arkusza mapy topograficznej (<i>topographic map sheet number</i>) Numer obiektu/zjawiska na mapie (<i>object/phenomenon number on the map</i>) Miejsce występowania (na/pod powierzchnią ziemi, pod wodą) <i>Occurrence site (on/under land's surface, under the water)</i>			
Charakterystyka zewnętrzna obiektu (w przypadku zjawiska dotyczy opisu miejsca obserwacji): <i>External characteristics (in case of phenomenon – observatory site description):</i> Geometria obiektu (pojedynczy punktowy, grupowy punktowy, liniowy, powierzchniowy, wielkoobszarowy) <i>Object's geometry (single punctual, punctual group, linear, superficial, large – areal):</i> Przybliżone rozmiary (<i>approximate size</i>): Stopień zachowania (<i>preservation degree</i>): Czytelność treści geologicznej (<i>“readability” of geological content</i>):			
Charakterystyka geologiczna obiektu/zjawiska (<i>geological characteristics</i>): Opis geologiczno-przyrodniczy (<i>geologic-environmental description</i>) Jednostka strukturalna (<i>structural unit</i>): Formacja, ogniwo (<i>formation, member</i>): Wiek (<i>age</i>):			
Waloryzacja (<i>assessment</i>):			
Walory (<i>values</i>)			
Edukacyjno- poznawcze (<i>educational- cognitive</i>)	Krajobrazowo- widokowe (<i>landscape-scenic</i>)	Architektoniczno- kulturowe (<i>architectonical- cultural</i>)	Rekreacyjno- wypoczynkowe (<i>recreational</i>)
Skala ocen: 0 – brak, 1 – małe, 2 – średnie, 3 – duże, 4 – wybitne <i>Scoring system: 0 – none, 1 – small, 2 – mean, 3 – high, 4 – extreme</i>			
Dostępność atrakcji geoturystycznej (<i>availability of geotourism attraction</i>): Dojazd (<i>travel</i>): Stopień trudności (<i>difficulty level</i>):			
Prace konieczne dla udostępnienia (<i>works needed to improve accessibility</i>):			
Uwagi (<i>remarks</i>):			

Pierwsze z nich (1, 2) są elementami niezbędnymi i mają decydujące znaczenie dla uznania obiektu jako atrakcję geoturystyczną. Pozostałe (3, 4) to elementy dodatkowe, które mogą ale nie muszą współwystępować we wszystkich obiektach i zjawiskach geoturystycznych. Obecność co najmniej jednego z nich wydaje się konieczna dla uznania danego obiektu za atrakcję geoturystyczną, a nie tylko obiekt o znaczeniu strictly geologicznym. Oceny dokonywano metodą bonitacji punktowej w oparciu o pięciostopniową skalę (0–4 punkty, oznaczające odpowiednio: brak, 1 – niskie, 2 – średnie, 3 – duże i 4 – unikatowe walory obiektu według ocenianego kryterium). Odrębnie dokonano również oceny dostępności poszczególnych obiektów lub miejsc obserwacji zjawisk geologicznych w aspekcie tzw. dostępności komunikacyjnej i wymagań kondycyjno-technicznych potrzebnych turystom dla ich osiągnięcia.

W trakcie wyprawy zinwentaryzowano kilkadziesiąt obiektów spełniających kryteria atrakcji geoturystycznej. Większość z nich posiada wysokie walory edukacyjno-poznawcze, a równocześnie duże walory krajobrazowo-widokowe (Tab. 2). Niektóre posiadają znaczne walory rekreacyjno-wypoczynkowe, stanowiąc element tras trekkingowych lub wycieczkowych. Oprócz niepowtarzalnych krajobrazów i obserwacji przyrody nieożywionej turyści mogą obserwować zróżnicowanie roślinności i warunków klimatycznych, które zmieniają się wraz z deniwelacją terenu – od wysokogórskich po niemal tropikalne (Tumialan 2004).

Tabela (Table) 2

Wyniki waloryzacji atrakcji geoturystycznych Kanionu Colca i jego otoczenia
Value assessment of the geotourism attractions of Colca Canyon and its surrounding

Punktacja <i>Scoring system</i>	Walory (<i>values</i>)			
	Edukacyjno- -poznawcze (<i>educational- -cognitive</i>)	Krajobrazowo- -widokowe (<i>landscape</i>)	Architektoniczno- -kulturowe (<i>architectonic- -cultural heritage</i>)	Rekreacyjno- -wypoczynkowe (<i>recreational</i>)
0	–	3	28	19
1	2	5	–	3
2	11	5	4	10
3	17	13	8	5
4	10	14	0	3

DOLINA RIO COLCA NA ODCINKU SIBAYO – CABANACONDE

Rzeka Colca bierze swój początek na zboczach szczytu Yanasalla (4886 m n.p.m.) górującego nad wysokogórską równiną, będącą południową częścią Altiplano. Początkowo płynie bezludnymi obszarami, rozcinając młode osady aluwialne utworzone z wietrzejących skał wulkanicznych, głównie tufów i tufitów, ignimbrytów oraz law andezytowych, które związane są z mioceńsko-plioceńskim wulkanizmem. Starsze, mioceńskie skały wulkaniczne budują kilka formacji (Oropampa, Pichu, Tacaza) zaliczanych do tak zwanej grupy Tacaza.

Pierwszą bodaj stałą osadą w górnej części doliny jest Sibayo, dalej z biegiem rzeki pojawiają się kolejne miejscowości, z których najważniejszą jest Chivay, lokalne centrum administracyjne i turystyczne. Na odcinku między Chivay na wschodzie, a Huambo na zacho-

dzie dolinę otaczają wysokie stratowulkany: od północy Nevado Mismi (5597 m n.p.m.), Nevado Bomboya (5200 m n.p.m.) i oddalona o ponad 30 km Nevado Coropuna (6425 m n.p.m.), a od południa Nevado Hualca Hualca (6025 m n.p.m.), Sabancaya (5976 m n.p.m.) i Ampato (6310 m n.p.m.). Ich aktywność trwająca od pliocenu, zaznaczyła się obecnością mięjszych utworów wulkanicznych (Fidel *et al.* 1997). Są to lawy andezytowe, dacytowe, dacytowo-andezytowe, tufy, brekcje andezytowe lub zlepierce tworzące kilka różnowiekowych kompleksów, budujących wspólnie tzw. Grupę Barroso (Caldas 1993a,b, Quispesivane & Navarro 2001). Charakter doliny zmienia się. Rzeka wcinając się w mięjsze kompleksy skalne utworzyła kilkupoziomowy system tarasów. Pierwotne ukształtowanie doliny zostało znacznie zmienione wskutek działalności człowieka. Ze względu na korzystne warunki klimatyczne i dobre gleby powstałe na podłożu skał wulkanicznych, ta część doliny była zasiedlona od czasów preinkaskich, a jej zbocza intensywnie użytkowane rolniczo (Wernke 2003). To właśnie tarasowo ułożone poletka uprawne tworzą dziś swoisty, malowniczy i podziwiany przez turystów, krajobraz tej części doliny (Fig. 2).



Fig. 2. Antropogeniczne przekształcenia doliny w wyniku zagospodarowania rolniczego – widok doliny Rio Colca z Pinchollo

Fig. 2. Example of anthropogenic alterations of the valley causing by agriculture – Rio Colca Valley from Pinchollo

Omawiany fragment doliny stanowi sam w sobie atrakcję geoturystyczną, dając możliwość zaznajomienia się z głównymi rysami jej budowy geologicznej, inwentarzem skalnym oraz geomorfologią i wpływem wielowiekowych przekształceń antropogenicznych.

Szczególne możliwości obserwacji doliny dają punkty widokowe. Wytypowano kilka takich punktów:

- Mirador de Pata Pampa (4800 m n.p.m.), zlokalizowany przy drodze z Arequipy do Chivay (Zeballos 2005),
- ruiny twierdzy inkaskiej nad Chivay przy drodze Inków z Chivay do Cuzco,
- Mirador Antahuique, położony na zachód od Chivay,
- Mirador Chooquetico, zlokalizowany koło miejscowości Yanque,
- Mirador Pinchollo, w miejscowości Pinchollo na początku ścieżki zejściowej do doliny.

W obrębie omawianej części doliny znajduje się ponadto szereg mniejszych, samodzielnych atrakcji geoturystycznych dużej klasy, mogących być zarazem stanowiskami dokumentacyjnymi. Są to w szczególności miejsca, w których można bezpośrednio obserwować aktywne zjawiska geologiczne:

- strefa uskokowa Maca–Madrigal (Zeballos 2003)(Fig. 3) – strefa aktywnego uskoku o znaczeniu regionalnym. Strefę tę o generalnym przebiegu NW-SE można obserwować na dystansie kilku kilometrów, głównie w rejonie tunelu drogowego na trasie Chivay–Maca. W terenie widoczne są kolejne generacje rozpadlin i szczelin uskokowych, w tym formy najmłodsze. Czytelne są skrzydła wiszące i zrzucone uskoków. Spektakularny i łatwo dostępny fragment uskoku jest od niedawna oznakowany tablicą informacyjną, sygnalizującą jego obecność. Przyczyną aktywności sejsmicznej całego regionu jest kolizja oceanicznej Płyty Nazca z kontynentalną Płytą Południowoamerykańską.



Fig. 3. Aktywna strefa uskokowa Maca – Madrigal (fot. A. Paulo)

Fig. 3. Active fault zone Maca – Madrigal (phot. A. Paulo)



Fig. 4. Czynne osuwisko Madrigal na zboczach Doliny Rio Colca w okolicach miejscowości Madrigal i Lari

Fig. 4. Huge active landslide on the slopes of Rio Colca Valley nearby Madrigal and Lari

Z procesami subdukcji zachodzącymi na granicy tych płyt związane są trzęsienia ziemi i dyslokacje tektoniczne (Jaillard *et al.* 2002). Sama strefa uskoku Maca była prawdopodobnie wielokrotnie odmładzana podczas kolejnych, częstych tu trzęsień ziemi, z których ostatnie miało miejsce zaledwie przed kilku laty, w 2002 roku. Omawiając osobliwości strefy uskokowej Maca–Madrigal należy również wspomnieć o związanej z nią mineralizacji kruszcowej w postaci żył polimetalicznych. Były one eksploatawalne w kopalni położonej na zboczach Kanionu Colca, w pobliżu miejscowości Madrigal.

- czynne osuwisko koło miejscowości Madrigal wraz z kilkoma jeziorkami osuwiskowymi (Fig. 4). Zajmuje powierzchnię ponad 600 ha. Jest osuwiskiem typu translacyjno-rotacyjnego. Osuwisko to uaktywniło się w 1973 roku (Zeballos 2003). Jest ono dobrze widoczne z przeciwległego (południowego) brzegu doliny, z okolic Pinchollo. Widoczna jest nisza główna oraz nisze śródosuwiskowe i rozległe koluwia z wyraźnymi progami i kilkoma jeziorkami osuwiskowymi. Oprócz walorów poznawczych posiada ono znaczne walory krajobrazowe.

Odrębny typ atrakcji geoturystycznych tworzą źródła i ujęcia wód termalnych: La Caleña w Chivay i w Yanque (Fig. 5). Występowanie źródeł termalnych na tym terenie jest dosyć powszechne i związane z mioceńsko-plioceńską działalnością wulkaniczną okolicznych, dużych stratowulkanów.



Fig. 5. Basen termalny w Yanque (fot. B. Zeballos)

Fig. 5. Thermal water swimming pool in Yanque (phot. B. Zeballos)

Oprócz wymienionych, źródła termalne znajdują się wzdłuż doliny począwszy od miejscowości Callalli aż do Lari i dalej w dnie kanionu w Soro, Canco i około 12 km dalej (Majcherczyk *et al.* 1981), a także w okolicy Huambo. Temperatura wód na wypływie waha się od 43–85°C. Są one zróżnicowane pod względem chemicznym. Wody w Chivay są wodami chlorokowymi o zawartości 2.4 mg/l Cl, zaś wody z Yanque mają charakter siarczkowo-wodorowęglanowy (Zeballos 2005). Periodyczne wypływy wód termalnych obserwować można również w gejzerach. Jeden z nich znajduje się w dnie kanionu koło Sore. Jego aktywność jest ograniczona, gejzer wybucha mniej więcej raz do roku. Drugi, bardziej aktywny gejzer znajduje się w pobliżu miejscowości Pinchollo. Został on jednak częściowo zniszczony podczas prób zagospodarowania.

W górnej części doliny, w pobliżu miejscowości Callalli, można obserwować pięknie wykształcone formacje ignimbrytowe o charakterystycznym ciosie słupowym (Fig. 6). Tworzą one naturalne formy architektoniczne, a dzięki dobrym własnościom termicznym i łatwej obróbce stanowią powszechnie używany, na terenie całej prowincji Arequipa, materiał budowlany.

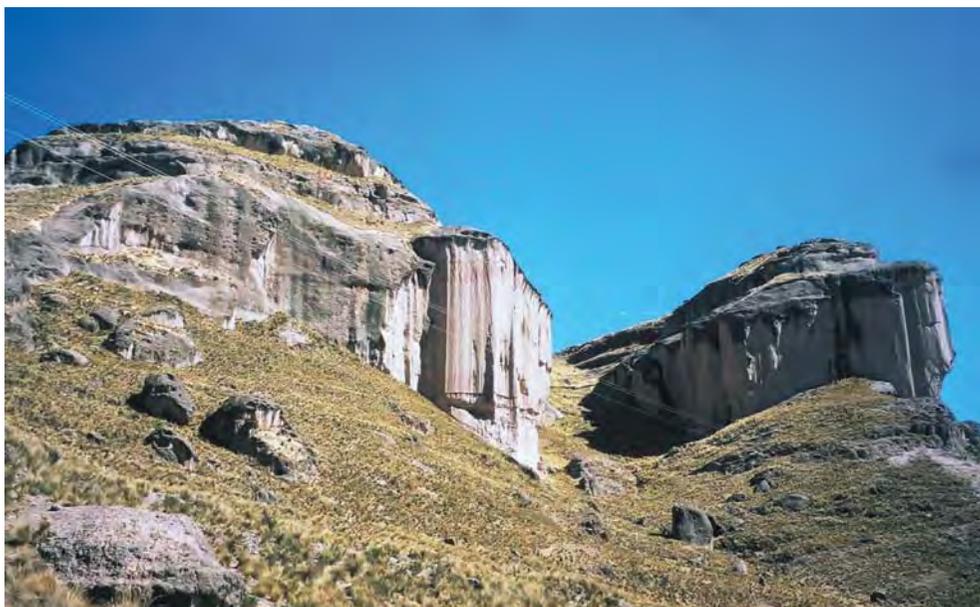


Fig. 6. Ignimbryty koło Callalli z charakterystycznym ciosie słupowym

Fig. 6. Ignimbrite columns near Callalli village

Atrakcją geoturystyczną o charakterze mineralogiczno-petrograficznym jest wystąpienie diatomitów w Maca (Fig. 7). Obecność tej skały, pochodzenia organogenicznego, zbudowanej z fragmentów szkieletów okrzemek, może świadczyć o istnieniu na tym terenie słodkowodnego zbiornika wodnego. Powstał on najprawdopodobniej w czasie wcześniejszych zlodowaceń, u schyłku plejstocenu, jako niewielkie jezioro morenowe. Koncentracji okrzemek sprzyjała zapewne niska temperatura wód oraz duża zawartość rozpuszczonej krzemion-

ki, której źródłem były zapewne powszechne tu utwory pochodzenia wulkanicznego. Diatomity w Maca występują w strefie przypowierzchniowej, tworząc dobrze widoczną wychodnię. Ich miąższość wynosi 2–3 m.



Fig. 7. Wystąpienie diatomitów w Maca (fot. B. Zeballos)

Fig. 7. Diatomite outcrop in Maca village (phot. B. Zeballos)

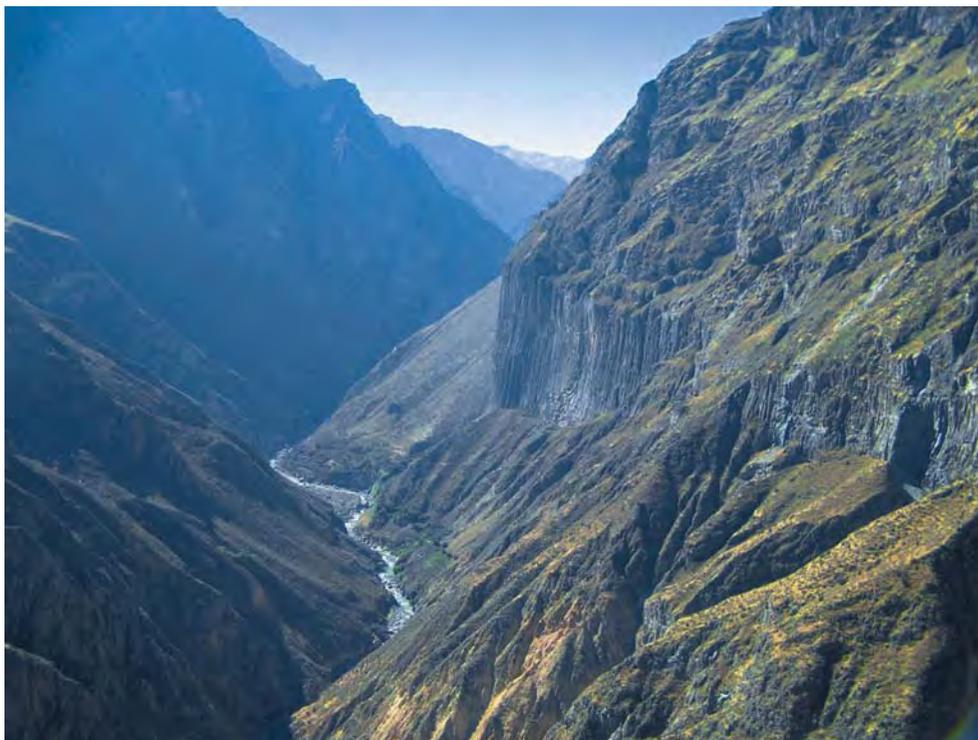


Fig. 8. Kanion Colca widziany ze ścieżki w okolicach Cabanaconde

Fig. 8. View of Colca Canyon from the path by Cabanaconde

Z kolei, spotykane w kilku miejscach doliny rozległe wychodnie laminowanych mułków jeziornych, przewarstwionych niekiedy aluwiami rzecznyymi, mają wyjątkowe walory poznawcze, a także interesujące walory krajobrazowe (Fig. 9). Są to osady młode, najprawdopodobniej późno plejstoceńskie. Ustalenie wieku tych osadów może w istotny sposób przyczynić się do uściślenia geologicznej historii doliny, a w szczególności wieku powstania Kanionu Colca.

Za obiekty, które mogą mieć znaczenie jako atrakcje geoturystyczne można uznać również różnorodne budowle, w tym kamienne kościoły lub ich fragmenty, w których wyeksponowany jest materiał skalny, z których zostały zbudowane. Przykład takiej budowli stanowi fasada XVII-wiecznego kościoła Yanque, wykonanego z tufów, z kamiennymi barokowymi elementami dekoracyjnymi w postaci motywów kwiatowych i płaskorzeźb, typowymi dla całego regionu Arequipy (Gutierrez *et al.* 1980). Interesujące są też: bryła kościoła św. Antoniego z Padwy w Callalli i reprezentacyjna brama wjazdowa do osady, wykonane z bloków ignimbrytowych, pochodzących z pobliskiego kamieniołomu (Chavez *et al.* 2003). Kościoły, które znajdują się niemal w każdej, nawet małej miejscowości (Lari, Maca, Madrigal, Pinchollo, Cosnirhua, Tapay, Ayo, Andagua i in.) należy traktować głównie jako obiekty bogatego dziedzictwa kulturowego tego terenu. Większość z nich to obiekty kilkusetletniej historii,

zazwyczaj dość surowe i skromne w detale ozdobne, ale wyróżniające się typowym układem architektonicznym, charakterystycznymi elementami budowli i ciekawym zwłaszcza dla obcokrajowców wystrojem wewnętrznym (Gutierrez *et al.* 1980).

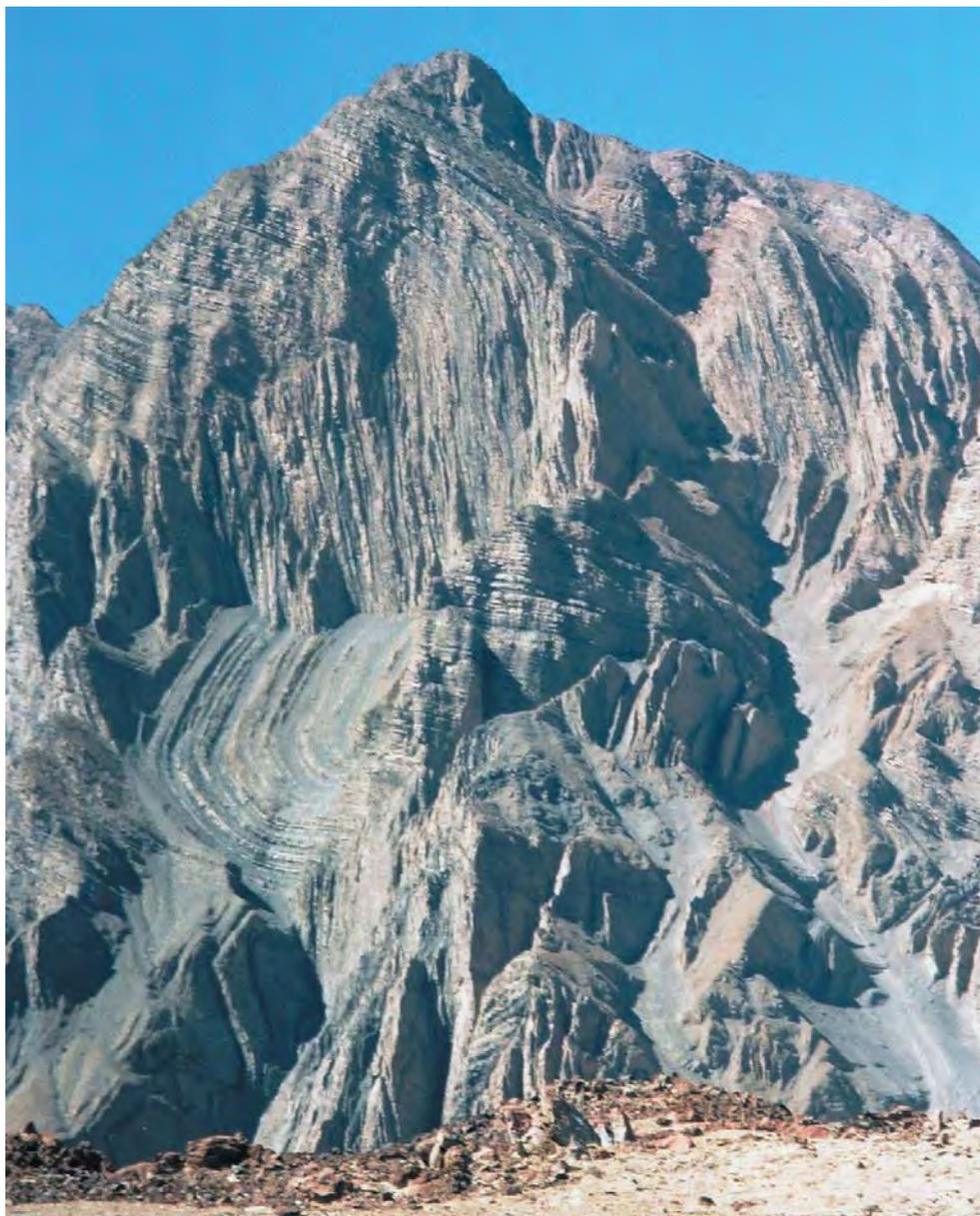


Fig. 9. Struktury fałdowe skał grupy Yura (głównie piaskowce) w okolicach Ayo

Fig. 9. Folded sedimentary rocks (mainly sandstones) of Yura Group – view from Ayo village

KANION RIO COLCA NA ODCINKU PINCHOLLO–CANCO I JEGO PÓLNOCNE OBRZEŻA W REJONIE PAMPA DE AYO

Kanion Rio Colca rozpoczyna się mniej więcej w rejonie miejscowości Pinchollo (Fig. 1). Jego długość wynosi 120 km. W najgłębszym miejscu osiąga głębokość 3232 m (Majcherczyk *et al.* 1981). Jego dostępność jest w dużym stopniu ograniczona. Dotyczy to w szczególności najgłębszej jego części, otoczonej bezwodnymi i bezludnymi terenami. Brak wody oraz konieczność pokonania dużych odległości i deniwelacji terenu są największymi trudnościami, na które napotykają turyści chcący odwiedzić dno kanionu. Dodatkowymi utrudnieniami są strome i kruche skały, wśród których wytyczono tylko kilka ścieżek, użytkowanych od dawien dawna przez mieszkańców tych okolic i ich muły. Turystycznie dostępny jest w zasadzie jedynie początkowy fragment kanionu na odcinku od Pinchollo do Cancó, gdzie jego głębokość (od poziomu doliny) sięga 1800 m. Istnieje tu kilka ścieżek zejściowych (z Pinchollo, Cabanaconde, Huambo). Możliwe, choć wymagające dużej wprawy, jest zejście na dno kanionu od Doliny Wulkanów i miejscowości Ayo.

Zbocza kanionu w rejonie Cabanaconde zbudowane są w większości z miększych kompleksów skał wulkanicznych reprezentujących grupy Tacaza i Barroso (Fig. 8). W dolnych częściach i dnie kanionu odsłaniają się starsze, górnokredowe (oksford, kimeryd) i dolnokredowe (walańżyn) skały osadowe tzw. grupy Yura (Fig. 10), w której wyodrębniono kilka formacji: Puente, Labra, Hualhuani.



Fig. 10. Profil skał grupy Yura i nadległej formacji Murco budujących zbocza kanionu widziany z Ayo

Fig. 10. Geological profile of Yura Group and Murco Formation sedimentary rocks from Ayo

Generalnie formacje te tworzą różnorodne arenity – grubo, średnio, a miejscami cienko-ławicowe piaskowce z przeławieniami lutytów. Piaskowce są zwięzłe, o spoiwie węglanowym lub krzemionkowym, lokalnie kwarcytowe (Caldas 1993). W rejonie Huambo oraz w dol-

nym biegu dopływu Rio Mamacocha, która odwadnia Dolinę Wulkanów i wpada do Rio Colca, skały osadowe grupy Yura budują niemal całe stoki kanionu, zaś na południe od miejscowości Ayo, w jego wyższych częściach występują charakterystyczne pstry osady (łupki przeławiczone czerwonymi piaskowcami) młodszej płytkomorskiej formacji Murco (górną kreda)(Fig. 9, 10).

Profile zboczy kanionu, odsłonięcia formacji skalnych i struktur fałdowych, oraz sama morfologia kanionu są atrakcjami turystycznymi o wybitnych walorach edukacyjno-poznawczych i krajobrazowo-widokowych.

Atrakcje te można podziwiać głównie podczas wycieczek do kanionu. Istnieje również możliwość ich obserwacji z kilku punktów widokowych (Mirador de San Miguel, Mirador Tapay, Mirador Achachujaja), spośród których najsłynniejszym jest Cruz del Condor – miejsce obserwacji kondorów. Najpiękniejsze bodaj stanowiska dokumentacyjne, ukazujące różnorodne formy fałdowe skał grupy Yura, znajdują się w okolicach miejscowości Ayo, nad jeziorem Mamacocha i przy ujściu Rio Mamacocha do Rio Colca.

DOLINA WULKANÓW

Dolina Wulkanów o długości około 60 km, jest boczną doliną w stosunku do Doliny Rio Colca (Fig. 1). Pod względem geologicznym jest to rów tektoniczny wypełniony neogeńskimi ignimbrytami, na których leżą czwartorzędowe lawy grupy Andahua (Gałaś & Paulo 2005).

W obrębie doliny znajduje się kilkadziesiąt karłowatych wulkanów, tworzących regularne stożki (Fig. 11). W materiałach źródłowych podawana jest różna ich ilość, od 31 do 85 (Krzak 2005).



Fig. 11. Karłowate wulkany i potoki lawy grupy Andahua w Dolinie Wulkanów

Fig. 11. The kingdom of dwarf volcanoes and the Andahua lavas – Valley of Volcanoes

„Księżycowy” krajobraz Doliny Wulkanów wraz z jej otoczeniem stanowią unikatową atrakcję geoturystyczną, tak ze względu na walory poznawcze i widokowe, jak i możliwość obserwacji niemal współczesnych efektów działalności wulkanicznej, w postaci wulkanów oraz potoków lawowych o różnym stopniu pokrycia roślinnością, co pozwala wyodrębnić najmłodsze spośród nich (Munos-Najar & Hare 2006). Przeważają czarne lub ciemnoszare lawy afanitowe, rzadziej porfirowe typu andezytowego (Galaś & Paulo 2005).

Bogatą listę geoturystycznych atrakcji Doliny Wulkanów uzupełniają wodospady Shaquillay i Pumajallo na Rio Andagua oraz jeziora Chachas i Mamachocha. Ciekawa jest również tradycyjna zabudowa miasteczka Andagua, szczególnie kryte trawą icha domy zbudowane z tradycyjnie tu używanego materiału budowlanego – cegieł adobe. Jest to mieszanina gliny z wodą z dodatkiem słomy. Po kilku dniach sezonowania formuje się z niej prostopadłościennie bloczki, które po wysuszeniu są gotowe do użycia (Chavez *et al.* 2003).

OKOLICE HUAMBO

Miejscowość Huambo, położona na wysokości 3332 m n.p.m., znajduje się kilkadziesiąt kilometrów na zachód od Chivay. Jest lokalnym centrum administracyjnym i siedzibą władz dystryktu. Z Huambo prowadzi jedna z piękniejszych ścieżek zejściowych do Kanionu Colca. Przebiega ona zboczami Doliny Rio Huambo, początkowo wśród bujnej roślinności i pól uprawnych (m.in. uprawia się tu majeranek i inne zioła, które eksportuje się przez Chile do wielu krajów świata), dalej – wśród pięknie wyrzeźbionych przez naturę kompleksów skalnych należących do grupy Yura. Dają one możliwość obserwacji różnorodnych form fałdowych np. fałdów stojących, skrzynkowych.

Punktem docelowym jest hacjenda Canco (1500 m n.p.m.), złożona z kilku skromnych domostw, w których zamieszkuje kilka rodzin indiańskich. W pobliżu Canco, w Kanionie Rio Colca, znajdują się ciekawe wodospady: Mickiewicza i Jana Pawła II, odkryte i nazwane przez Polaków. Wodospady są również atrakcją bezpośrednich okolic Huambo. Utworzone zostały na wychodniach młodych, czwartorzędowych trawertynów, w które wcina się rzeka (Fig. 12). Wodospadów jest siedem, noszą one romantyczne nazwy, np. wodospad Księżycowy, Śnieżny. Największy z nich ma wysokość około 20 m. Wychodnie trawertynów ciągną się pasem wzdłuż Rio Huambo na odległość kilkunastu kilometrów od miejscowości. Są eksploatowane w niewielkim kamieniołomie jako surowce wapiennicze. Trawertyny te są bardzo młode, niektóre niemal współczesne, o czym mogą świadczyć znalezione w nich odciski liści eukaliptusa, która to roślina została implementowana tu przez hiszpańskich konkwistadorów.

W odległości rzędu 20 km na południe od Huambo, w słabo dostępnym terenie, w obrębie rozległego pola lawowego utworzonego z law grupy Andahua, znajdują się charakterystyczne stożki wulkaniczne Marbas Grande i Marbas Chico.

Nieco dalej ku południowi, na zboczach Cerro Tururunca, znajduje się unikatowe w skali światowej stanowisko rośliny zwanej Puya Raymondi, znane jako tzw. „Las Puya Raymondi” (Brack Egg 2006). Grupuje ono kilkadziesiąt okazów tej reliktovej rośliny tworząc swoisty „las” (Fig. 13). Las rośnie na podłożu skał wulkanicznych grupy Andahua, zaś sam wierzchołek Cerro Tururunca zbudowany jest z piaskowców należących do nierozdzielonej tu grupy Yura.

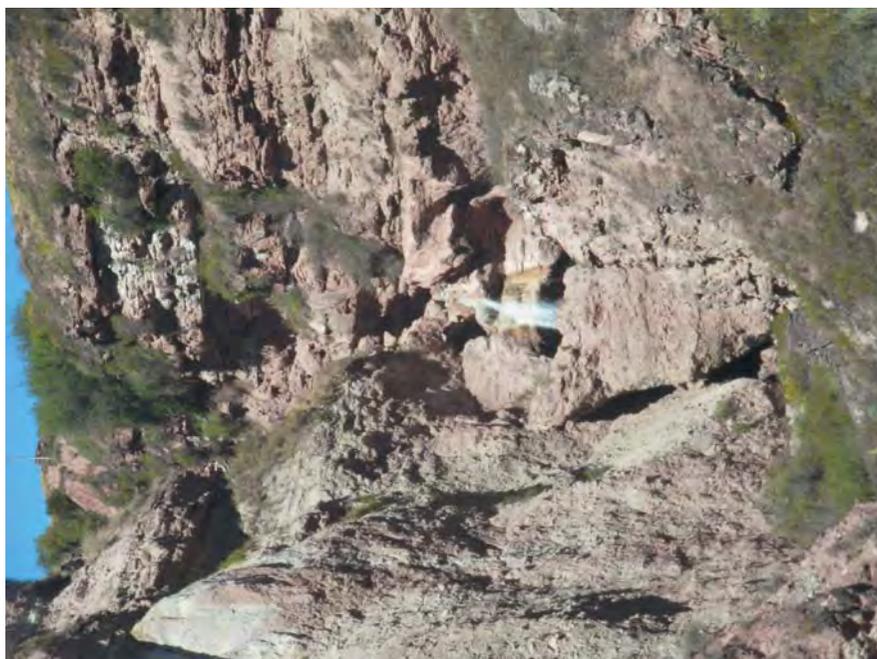


Fig. 12. Wodospady na Rio Huambo

Fig. 12. Huambo waterfalls



Fig. 13. Jedno z drzew Puya Raymondi

Fig. 13. One of tree Puya Raymondi

Zaprezentowane wyniki badań, mimo ich pobieżnego i wstępnego charakteru dają wyobrażenie o niebywałym bogactwie i różnorodności przyrody nieożywionej oraz pięknie krajobrazów Doliny i Kanionu Rio Colca. W połączeniu z ciekawą florą i fauną, wielowiekową historią i kulturą oraz wciąż żywym folklorem, jest to jedno z niepowtarzalnych miejsc na Ziemi, które bezwzględnie należy zachować i chronić. Utworzenie tu Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów pozwoli na ochronę tych unikatowych wartości środowiska przyrodniczego, przyczyniając się równocześnie do rozwoju gospodarczego tego ubogiego rejonu. Rozwoju ukierunkowanego na działanie proekologiczne, pozwalającego łączyć tradycję ze współczesnością.

LITERATURA

- Brack Egg A., 2006. *Enciclopedia tematica del Peru. Ecologia*. Orbis Ventures. SAC. Lima, 45–56.
- Caldas Vidal J., 1993a. Geologia de los cuadrangulos de Huambo y Orcopampa. *Boletin Comision Carta Geologica Nacional*, Lima, 46, 1–62.
- Caldas Vidal J., 1993b. *Mapa geologica del cuadrangulo de Huambo 1 : 100 000*. INGEMMET, Lima.
- Chavez O.A., Chavez P., Malaga J.L., Miranda M. & Soldan E., 2003. *Curso taller Actualizacion y certification de calidad para guias de Arequipa-Valle Colca*. AECI. Arequipa, Peru, Tomo II, 1–201.
- Fidel L.S., Morche W. & Nunez J.S., 1997. *Inventario de volcanes del Peru*. INGEMMET, Boletin, Lima, 15, 1–56.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 320–326.
- Gutierrez R., Esteras C. & Malaga A., 1980. *El Valle del Colca (Arequipa). Cinco siglos de arquitectura y urbanismo*. Libros de Hispanoamerica, Lima, 1–184.
- Jaillard E., Herail G., Monfret G. & Worner G., 2002. Andean geodynamics: main issues and contributions from the 4th ISAG, Göttingen. *Tectonophysics*, 345, 1–15.
- Krzak M., 2005. Ruch turystyczny w rejonie Arequipy i możliwości jego rozwoju w Dolinie Wulkanów (prowincja Castilla) w południowym Peru. *Geoturystyka*, 2, 3–22.
- Majcherczyk J., Piętowski A. & Chmieliński P., 1981. *Deporte y aventura en rios del Peru*. Embajada del Viajero S. A. S. Lima, 1–138.
- Majcherczyk J., 2002. *Zdobycie Rio Colca, najgłębszego kanionu na Ziemi*. Wyd. AAs.c. Kraków, 1–264.
- Migaszewski Z.M., 2002. Ochrona georóżnorodności, krajobrazu i dziedzictwa geologicznego w parkach narodowych USA. *Przegląd Geologiczny*, 50, 596–602.
- Munos-Najar T. & Hare B., 2006. El asombroso Valle de los Volcanoes. *Bien Venida*, Lima, XIV, 55, 6–48.
- Quispesivane L. & Navarro P., 2001. *Mapa geologica del cuadrangulo de Chivay 1 : 100 000*. INGEMMET, Lima.
- Słomka T. & Kicińska-Świdarska A., 2004. Geoturystyka – podstawowe pojęcia. *Geoturystyka*, 1, 5–7.

- Tumialan de La Cruz P.H., 2004. La geologia en relacion al sistema ecologico en el Peru. *Rev. Del Insituto de Investigation FIMMG, Universidad National Mayor de San Marcos Lima*, 7, 13, 9–15.
- Wernke S., 2003. *An Archaeo-history of Andean Community and Landscape. The late prehispanic and early colonial Colca Valley Peru*, Dissertation University of Wisconsin-Madison, 1–443.
- Zeballos B.V., 2003. *Aportes al conocimiento geologico, geotectonico y geodinamico del pueblo de Maca*. INGEMMET, Lima, 1–180.
- Zeballos B.V., 2005. *Geologia del Colca y anexos*. INGEMMET, Lima, 1–104.

Summary

The article shortly presents the results of 2006 Polish scientific expedition to Rio Colca Canyon region in Peru. One of the aims of that expedition was to collect information concerning geotourism attractions.

The area of the expedition activity contained: a part of Rio Colca Valley from Sibayo to Cabanaconde, a part of Canyon Colca from Pinchollo to Canco and its northern borders around Pamapa de Ayo, Valley of Volcanoes and surrounding of Huambo village – with Rio Huambo Valley (tributary of Colca River) (Fig. 1).

To ensure the homogenous and rational assessment some special criteria were used. The concept of valorization as well as the criteria were prepared by the author of the presented paper and shown precisely in table 1. The results of assessment were shown in table 2.

All described area is very interesting because of well exposed geological structures, geomorphology, wide range of rock types and multi-ages human activity influence on environment (Fig. 2). In the Colca Valley there are also some individual geologic phenomena, such as fault zone Maca–Madrigal (Fig. 3) or active landslide with few slide lakes nearby Madrigal (Fig. 4). Another amenity is thermal water source (Fig. 5). There are another several interesting places like ignimbrite rocks by Callalli (Fig. 6) or diatomite outcrop in Maca village (Fig. 7).

Colca Canyon seems to be an unique large-area geotourism attraction. Its length is about 120 km and the deepest point is 3232 m. In the upper part there are some mountain paths heading the canyon bottom. Canyon slope profiles, rock formations and folded structures exposition, and canyon morphology are the main attractions of that area (Figs 8–10). There are some viewpoints prepared for tourists to admire them, for example famous Cruz del Condor, where the flying condors use to be observed. The canyon area is limited by difficult access.

The Valley of Volcanoes is another unique place because of its “moon” landscape – dozens of dwarf volcanoes (Fig. 11) and possibility to look at almost present effects of volcanic activity. Another attractions are Shanquillay waterfalls on Rio Andagua and Chachas and Mamachocho lakes.

Huambo district is local administrative unit. From the city of Huambo starts beautiful and full of tourism amenities path to the bottom of Rio Colca Canyon. Near Canco which is situated on the end of mentioned path there are interesting waterfalls, discovered and named by Poles – Mickiewicz Waterfalls and John Paul II Waterfalls. There are seven more waterfalls close to Huambo formed in young travertine rocks (Fig. 12).

Big amount of others geotourism attractions were found, described and valuated during the expedition. Most of them have reached high notes in first two categories of assessment: educational-cognitive and landscape-scenic values. Assembled information are an important component of presently preparing, preliminary geologic and physiographic documentation of mentioned region. The topic of our all activity is focused to give the scientific-geological base for the purpose to create here the Colca Canyon and Valley of Volcanoes National Park.

FLORA MSZAKÓW I POROSTÓW KANIONU COLCA (PERU) – BADANIA REKONESANSOWE

Bryophyte and lichen flora of the Colca Canyon (Peru) – reconnaissance research

Beata CYKOWSKA¹ & Adam FLAKUS²

Polska Akademia Nauk, Instytut Botaniki im. W. Szafera,

¹*Pracownia Briologii i* ²*Pracownia Lichenologii;*

ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków;

e-mail: ibcykowska@ib-pan.krakow.pl, ibflakus@ib-pan.krakow.pl

Treść: Artykuł jest pierwszym doniesieniem o długofalowym projekcie, mającym na celu poznanie różnorodności gatunkowej mszaków i porostów na obszarze projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów (Arequipa, Peru) oraz ich ekologii w kontekście zróżnicowania środowiska abiotycznego. Środowisko przyrodnicze tego najgłębszego kanionu świata nie doczekało się dotychczas kompleksowego opracowania flory mszaków i porostów. Już na podstawie wstępnych obserwacji stwierdzono ich znaczący udział w szacie roślinnej tego obszaru oraz potencjalnie duże bogactwo gatunkowe wynikające ze znacznego zróżnicowania siedlisk. Istotnym wynikiem rozpoczętych badań jest odkrycie pierwszych stanowisk porostów *Lecanora leuckertiana* w Ameryce Południowej i *Lepraria impossibilis* na Półkuli Południowej. Dalsze badania powinny zaowocować opracowaniem pełnej listy gatunków mszaków i porostów Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów oraz dostarczyć argumentów do ochrony jego unikalnej przyrody.

Słowa kluczowe: Ameryka Południowa, Andy, Peru, Kanion Colca, Bryophyta, Marchantiophyta, Anthocerotophyta, grzyby zlichenizowane (porosty), bioróżnorodność, ochrona gatunkowa

Abstract: The paper is a preliminary report of a long-term project that aims at completing the flora of bryophytes and lichens in the projected Canyon Colca and the Valley of the Volcanoes National Park area (Arequipa, Peru). The bryophytes and lichens of this deepest canyon in the world has remained underexplored for a long time. These organisms dominate in the vegetation cover and exhibit a remarkable species diversity resulting from habitat richness in this area. The important result of preliminary studies was discovered the first records of lichens *Lecanora leuckertiana* in South America and *Lepraria impossibilis* in the Southern Hemisphere. Further research should result in completing floristic lists of bryophytes and lichens of the Canyon Colca and the Valley of the Volcanoes National Park and should provide arguments for the protection of its unique wild life.

Key words: South America, Andes, Peru, Colca Canyon, Bryophyta, Marchantiophyta, Anthocerotophyta, lichenized fungi (lichens), biodiversity, species conservation

WSTĘP

W 2006 roku Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN w Krakowie włączył się w cykl badań poświęconych waloryzacji środowiska przyrodniczego Kanionu Colca. Projekt ten, rozpoczęty i prowadzony od kilku lat przez pracowników Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, ma na celu utworzenie w południowym Peru Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów – chroniącego unikalne środowisko najgłębszego kanionu na świecie. W wyniku podjętej współpracy na początku lipca 2006 roku została zorganizowana ekspedycja briologiczno-lichenologiczna do doliny i kanionu rzeki Colca w granice przyszłego parku narodowego.

Celem rozpoczętego projektu jest poznanie różnorodności gatunkowej Kanionu Colca w odniesieniu do organizmów pionierskich jakimi są mszaki i porosty. Wyniki prowadzonej waloryzacji, poza wartością biogeograficzną, posłużą również ochronie przyrody ożywionej projektowanego parku narodowego.

METODYKA

Wstępne prace terenowe przeprowadzone zostały głównie w górnej części kanionu, w okresie 2–8 lipca 2006 roku. Miały one na celu zorientowanie się w możliwościach i potrzebach przeprowadzenia studiów bryologiczno-lichenologicznych w obszarze planowanego parku narodowego oraz zbiór materiału do dalszych badań. Obiektem studiów są mszaki (Bryophyta, Marchantiophyta i Anthocerotophyta) oraz porosty (grzyby zlichenizowane Ascomycota i Basidiomycota), występujące na wszystkich dostępnych w badanym obszarze typach mikrosiedlisk. Materiał zielnikowy został zebrany z 14 stanowisk: w górnej części Kanionu Colca – rejon Cabanaconde, San Juan de Chuccho, Tapay (2535–4140 m n.p.m.) i w Dolinie Colca – rejon Achoma i Soccoro (3349–3500 m n.p.m.). Łącznie zgromadzono około 900 okazów mszaków i porostów, które znajdują się aktualnie w opracowaniu.

SPECYFIKA OBSZARU BADAŃ

Teren projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów leży w południowej części Peru, w departamencie Arequipa i prowincji Caylloma (Instituto Geografico National 1989). Położony jest on na wysokości pomiędzy 2300 a 4800 m n.p.m. i otoczony szczytami górskimi. Od północy są to wulkany Mismi (5597 m n.p.m.), Cutiti (5063 m n.p.m.) i Bomboya (5200 m n.p.m.), a od południa Hualca Hualca (6025 m n.p.m.), Sabancaya (5976 m n.p.m.), Ampato (6310 m n.p.m.) i Ananta (5100 m n.p.m.). Region ten jest zaliczany do Andów Centralnych (południowych tropikalnych Andów) (Gradstein *et al.* 2001).

Rzeka Colca liczy ponad 380 km długości i przepływa przez Kordylierę Zachodnią Andów. Na odcinku około 120 km wciną się do głębokości ponad 3000 m tworząc Kanion Colca. Powstały w ten sposób wąwóz został wpisany do Księgi Rekordów Guinnessa jako najgłębszy kanion świata (patrz Majcherczyk 2002, Gałaś & Paulo 2005). Jego malowniczy krajobraz odznacza się wyraźną rzeźbą wynikającą ze znacznych deniwelacji terenu.

Region Kanionu Colca leży w strefie klimatu zwrotnikowego wybitnie suchego (Podbielkowski 1987). Opady roczne wynoszą średnio 400 mm i są najbardziej obfite w okresie od

grudnia do kwietnia. Temperatury minimalne powietrza wahają się od -2 do 6°C , natomiast maksymalne od 18 do 24°C . Są one dość zmienne w zależności od pory roku i wysokości względnej terenu, wykazują również duże zróżnicowanie pomiędzy dniem i nocą. Przykładowo, w okolicy miasteczka Chivay leżącego w górnej części Doliny Colca średnie roczne opady wahają się pomiędzy 62.5 a 666.9 mm, natomiast średnia roczna minimalna i maksymalna temperatura powietrza pomiędzy 1.5 a 16.5°C (ONERN 1976).

Liczba roślin naczyniowych kanionu jest szacowana na około 250 gatunków. Badania prowadzone w jego bezpośrednim sąsiedztwie (na transekcie Chivay–Yura) donoszą o 122 gatunkach roślin naczyniowych (Linares & Benavides 1995). Mszaki i porosty nie były tam dotychczas przedmiotem badań, przez co prowadzone obecnie prace mają charakter pionierski. Najbliższym terenem badanym bryologicznie były do tej pory wulkany Nevado Coropuna i Nevado Ampato, z których podano w sumie 5 gatunków mchów (Menzel 1986).

Roślinność projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów jest otwarta, o strukturze bardzo luźnej, z dużymi płatami nie porośniętej gleby i licznymi odsłonięciami skalnymi (Fig. 1A). Występują tam zbiorowiska zdominowane przez trawy (np. *Calamagrostis* sp., *Festuca* sp., *Stipa ichu*), drobne krzewy, drzewa oraz liczne sukulenty, wśród których spotykamy znacznych rozmiarów kaktusy (dorastające do 3–4 m wysokości), agawy, aloesy, puje i drobne opuncje (Fig. 1B, 2A–D).

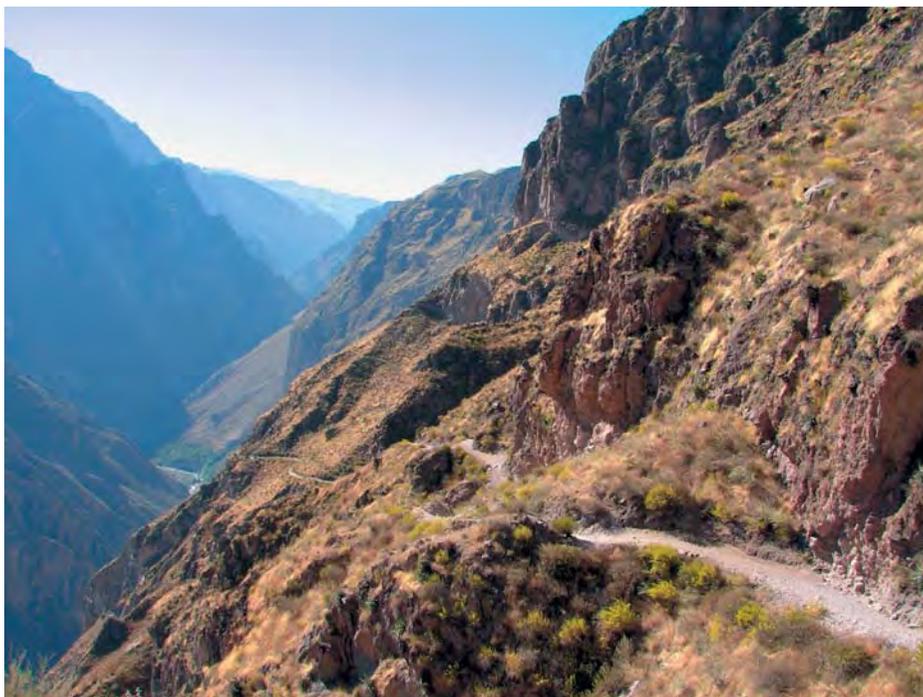


Fig. 1A. Przykład roślinności wykształcającej się na północnych stokach Kanionu Colca (poniżej wioski Cabanaconde)

Fig. 1A. Vegetation covering northern slopes of the Colca Canyon (below Cabanaconde village)



Fig. 1B. *Opuntia* cf. *subulata* dorastająca do 3–4 m wysokości, porośnięta przez epifityczny gatunek z rodzaju *Tillandsia*

Fig. 1B. *Opuntia* cf. *subulata* reaching up to 3–4 m high, coated by epiphytic species of *Tillandsia* sp.



Fig. 2AB. Typowe sukulenty spotykane na obszarze Kanionu Colca: A – przedstawiciel rodziny Cactaceae, B – *Agave* sp.

Fig. 2AB. Typical succulent plants from the Colca Canyon: A – representative of the family Cactaceae, B – *Agave* sp.



Fig. 2CD. Typowe sukulenty spotykane na obszarze Kanionu Colca: C – *Puya* cf. *cylindrica*, D – *Opuntia* cf. *sphaerica*

Fig. 2CD. Typical succulent plants from the Colca Canyon: C – *Puya* cf. *cylindrica*, D – *Opuntia* cf. *sphaerica*



Fig. 3A. Naskalne zbiorowiska mszaków dominujące w krajobrazie w wyższych położeniach Kanionu Colca (południowe zbocze powyżej wioski Tapay, 4100 m n.p.m.)

Fig. 3A. Saxicolous bryophyte communities dominating in the upper part of the Colca Canyon (southern slope above Tapay village, 4100 m a.s.l.)



Fig. 3B. Bogata roślinność przy źródłach wód termalnych (wodosпад w okolicy wioski Sangalle)

Fig. 3B. Rich vegetation in thermal source (waterfall near Sangalle village)

W wyższych położeniach zaznaczają się wyraźnie w krajobrazie rośliny pionierskie – głównie mszaki i porosty (Fig. 3A), można tam również spotkać roślinę (*Azorella yareta*) tworzącą charakterystyczne dla wysokogórskich obszarów Andów kępy zwane Yareta. W niższej położonej części kanionu, przy źródłach wód termalnych wykształcają się wyspy bujnej roślinności (Fig. 3B) będące swoistym urozmaiceniem krajobrazu.

Szata roślinna kanionu charakteryzuje się zmiennością zależnie od wysokości względnej jak również wykazuje charakterystyczną asymetrię na zboczach o wystawach północnej i południowej, która jest związana ze zmiennym nasłonecznieniem, a co za tym idzie, warunkami termicznymi i wilgotnościowymi. Zbocza północne doliny i kanionu są bardziej nasłonecznione, roślinność jest tam dość uboga. Na zboczach południowych spotyka się natomiast bogatszą roślinność, często z zakrzewieniami i zgrupowaniami niewielkich drzew. W wielu miejscach na obszarze kanionu krajobraz naturalny sąsiaduje z silnie przekształconym krajobrazem kulturowym (rolniczym), co jest szeroko spotykanym zjawiskiem w Andach. W miejscach zagospodarowanych przez człowieka wykształca się specyficzna roślinność antropogeniczna (Fig. 4A–B), gdzie pojawiają się nowe siedliska dla mszaków i porostów, które nie były do tej pory obiektem badań.

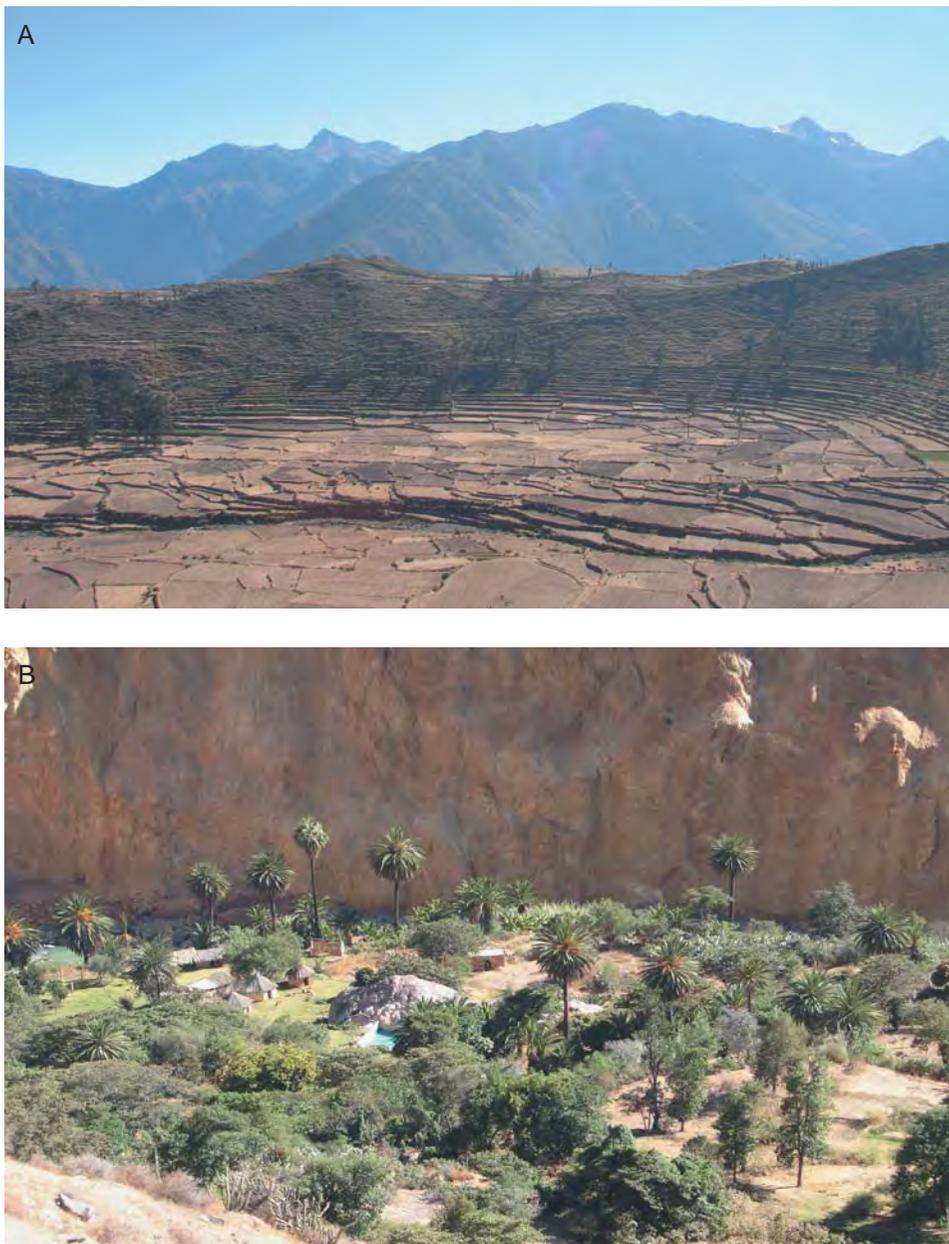


Fig. 4. A – Pola uprawne na krawędzi Kanionu Colca (okolice wioski Cabanaconde); B – Roślinność antropogeniczna z palmami na dnie Kanionu Colca (okolice wioski Sangalle „Oaza Eden”)

Fig. 4. A – Cornfields settled at the margin of the Colca Canyon (near Cabanaconde village); B – Anthropogenic vegetation with palm-trees in the lower part of the Colca Canyon (near Sangalle village “Oasis Eden”)

WYNIKI WSTĘPNE I DYSKUSJA

Peru stanowi bardzo różnorodny fizjograficznie obszar w związku z czym posiada całą gamę siedlisk możliwych do zasiedlenia przez poszczególne gatunki porostów i mszaków. Mimo to, pod względem briologicznym, a szczególnie lichenologicznym, kraj ten wciąż należy do jednych ze słabiej poznanych w Ameryce Południowej. Z obszaru Peru znanych jest około 882 gatunki mchów (Menzel 1992), 498 gatunków wątrobowców i 10 glewików (Menzel 1984), a także niecałe 400 gatunków porostów (Feuerer 2006). Jest to niewiele w porównaniu z krajami takimi jak Brazylia czy Argentyna. Skład gatunkowy oraz rozmieszczenie mszaków i porostów są bezpośrednio związane z ilością dostępnych substratów i bogactwem mikrosiedlisk. Mozaikowość siedlisk i zmniejszona konkurencja od strony roślin wyższych sprzyja ich bogactwu gatunkowemu w obszarach górskich. Wyraźnym przykładem tego zjawiska jest duża różnorodność gatunkowa andyjskich mszaków, która zwłaszcza w ich najwyższych położeniach (w tym w formacjach roślinnych puny i paramo), jest uważana za jedną z najbogatszych w Ameryce Południowej (Churchill 1996). Szacuje się, że bogactwo mszaków andyjskich jest ośmiokrotnie większe niż Niziny Amazońskiej (Churchill 1996). W pięciu krajach Andów tropikalnych występuje około 1500–1700 gatunków mchów (Churchill *et al.* 1995). Ponadto w samych tylko Andach Centralnych występuje 13 gatunków mchów endemicznych (Churchill 1996). Pozwala to przypuszczać, że potencjalne bogactwo gatunkowe mszaków i porostów w słabo poznanych obszarach andyjskich Peru, w tym również na obszarze projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów, jest duże i warte poznania.

Wstępne obserwacje terenowe przeprowadzone podczas pierwszej wyprawy o charakterze rekonesansowym ukazały, że szata roślinna projektowanego parku narodowego charakteryzuje się dominacją roślinności pionierskiej w krajobrazie, w tym mszaków i porostów. Ponadto badany obszar posiada siedliska typowe dla wysokogórskich dolin śródandyjskich, żywiąc swoistą florę tych organizmów. Stałym elementem zbiorowisk roślinnych są mszaki i porosty związane z obecnością skał pochodzenia wulkanicznego bogato reprezentowanych na obszarze kanionu. Gatunki występujące na ścianach skalnych, blokach i głazach oraz drobnych kamieniach, różnicują się zależnie od warunków świetlnych i wilgotnościowych. W miejscach silnie nasłonecznionych dominują mszaki ortotropowe, z takich rodzajów jak: *Schistidium*, *Grimmia* i *Andreaea* oraz jaskrawo ubarwione porosty o plechach skorupiastych (*Acarospora*, *Aspicilia*, *Buellia* s.l., *Caloplaca*, *Lecanora* i *Xanthoria*). Towarzyszą im porosty listkowate z rodzajów: *Xanthoparmelia* s.l. o jasnożółtej barwie plech, *Umbilicaria* o szarych plechach przymocowanych do skały pojedynczym uczepem oraz *Punctelia* ściśle przylegające do podłoża. Obficie występują na tych siedliskach porosty o żółto-zielonych plechach krzaczkowatych i nitkowatych z rodzajów *Ramalina* i *Usnea*. Na skałach ocienionych i wilgotnych spotykamy mchy z rodzajów *Orthotrichum* i *Hedwigidium* oraz porosty o mniej krzykliwych barwach, głównie proszkowate gatunki z rodzaju *Lepraria*, skorupiaste białe plechy *Tephromela* oraz rodzaje *Physcia* i *Lecidea*. Interesującą grupę ekologiczną reprezentują mszaki (np. *Platyhypnidium* i *Amblystegium*) oraz porosty (np. *Verrucaria*) występujące na kamieniach w potokach i źródłach oraz na skałach opryskiwanych wodą. Siedliska nagiej gleby dość obficie porastane są przez mszaki z rodzajów *Bryum*, *Encalypta*, *Syntrichia* i *Marchantia*. W miejscach podwieszonych i osłoniętych przed bezpośrednim działaniem słońca spotykamy niewielkich rozmiarów mchy z rodzajów *Fissidens* i *Aloina*. Wśród porostów siedlisk naziemnych

obserwowano gatunki o skorupiastych plechach barwy szarej (*Diploschistes*), brunatnej (*Toninia*) lub gatunki o plechach łusczkowatych barwy żółtej (*Psora*) i brązowej (*Placidium*). Typowe dla takich siedlisk są także duże listkowate plechy rodzajów *Peltigera* i *Leptogium* oraz często występujące pomiędzy mszakami gatunki o krzaczkowatej plesze barwy białoszarej (*Leprocaulon*) lub zielonoszarej (*Cladonia*). Na rumoszu skalnym bogatym w humus w miejscach bardzo wilgotnych spotykamy mszaki, takie jak: *Platyhypnidium*, *Jungermannia* i *Chiloscyphus*. Swoistą grupą porostów są gatunki epibriofityczne czyli wykorzystujące mszaki oraz szczątki roślinne jako podłoże, wśród nich w Kanionie Colca obserwowane były gatunki z rodzajów: *Caloplaca*, *Heterodermia*, *Leptogium*, *Normandina* i *Xanthoparmelia* s.l. Ostatnią grupę stanowią gatunki epifityczne. Są to mchy (*Syntrichia* i *Bryum*) oraz porosty (*Physcia*, *Xanthoria* i *Teloschistes*) wykorzystujące jako podłoże dużych rozmiarów kaktusy. Do tej grupy zaliczamy także gatunki rosnące na pniach i gałązkach niezbyt licznych na tym obszarze drzew i krzewów, są to głównie porosty listkowate z rodzajów *Xanthoparmelia*, *Xanthoria* i *Leptogium*, jak również drobne porosty skorupiaste np. *Rinodina*, a spośród mchów przedstawiciele takich rodzajów jak np. *Orthotrichum*.

Znaczącym wynikiem rozpoczętych badań jest odnalezienie na obszarze Kanionu Colca pierwszego stanowiska porostu *Lecanora leuckertiana* na kontynencie Ameryki Południowej (Flakus *et al.* 2006) i *Lepraria impossibilis* na Półkuli Południowej (Flakus & Kukwa 2007). Są to gatunki z grupy proskowatych porostów sterylnych, pierwszy z nich znany był z Włoch (Zedda 2000) i podawany jedynie z Europy, natomiast kolejny znany był dotychczas jedynie z El Salvador (porównaj Flakus *et al.* 2006; Flakus & Kukwa 2007).

Wyniki wstępnych badań laboratoryjnych zgromadzonego materiału zielnikowego oraz obserwacje terenowe dokonane podczas pierwszej ekspedycji wskazują, że mszaki i porosty planowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów charakteryzują się potencjalnie dużym zróżnicowaniem gatunkowym i stanowią znaczący udział w jego szacie roślinnej. Ponieważ pod względem briologiczno-lichenologicznym obszar ten wciąż jest praktycznie niepoznany, kompleksowe badania w tym zakresie są konieczne do poznania pełnych walorów przyrodniczych przyszłego parku narodowego. W związku z tym planuje się kontynuację i rozszerzenie studiów, którymi zostaną objęte wszystkie grupy mszaków i porostów występujące na tym obszarze. Poza waloryzacją różnorodności gatunkowej podjęta zostanie próba poznania wzorców przestrzennych i uwarunkowań ekologicznych badanych organizmów w kontekście zróżnicowania środowiska abiotycznego Kanionu Colca. Przyszłe wyniki posłużą do zestawienia pierwszej listy gatunków mszaków i porostów badanego obszaru. Dostarczą wartościowych informacji dotyczących szeroko pojętej taksonomii, geografii i ekologii w odniesieniu do badanych organizmów, jak również będą służyć ochronie unikalnej przyrody ożywionej tego najgłębszego kanionu na świecie.

Pragniemy serdecznie podziękować Profesorowi Zbigniewowi Mirkowi (Kraków) za zachętę do podjęcia badań nad mszakami i porostami Kanionu Colca oraz Profesorowi Andrzejowi Paulo (Kraków) za zaproszenie do badań przyrody projektowanego Parku Narodowego Kanion Colca i Dolina Wulkanów i za życzliwą pomoc podczas prac terenowych. Profesorowi Ryszardowi Ochyrze i dr hab. Urszuli Bielczyk (Kraków) serdecznie dziękujemy za cenne uwagi do manuskryptu.

LITERATURA

- Churchill S.P., 1996. Andean moss diversity and conservation: state of knowledge and prerequisites for the future. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 67, 1, 169–176.
- Churchill S.P., Griffin III D. & Lewis M., 1995. Moss diversity of the tropical Andes. In: Churchill S.P., Balslev H., Forero E. & Luteyn J.L. (eds), *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*, New York Botanical Garden, Bronx, 335–346.
- Feurerer T. (ed.), 2006. Checklists of lichens and lichenicolous fungi. Version 1 November 2006, <http://www.checklists.de>.
- Flakus A. & Kukwa M., 2007. New species and records of *Lepraria* (Stereocaulaceae, lichenized Ascomycota) from South America. *Lichenologist*, 39, 5, 463–474.
- Flakus A., Kukwa M. & Czarnota P., 2006. Some interesting records of lichenized and lichenicolous Ascomycota from South America. *Polish Botanical Journal*, 51, 2, 209–215.
- Gałaś A. & Paulo A., 2005. Karłowate wulkany formacji Andahua w południowym Peru. *Przegląd Geologiczny*, 53, 4, 320–326.
- Gradstein S.R., Churchill S.P. & Salazar Allen N., 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 86, 1–577.
- Instituto Geografico National, 1989. Atlas del Perú. Lima, Perú.
- Linares E. & Benavides M.A., 1995. Flora silvestre del transecto Yura-Chivay, Departamento de Arequipa. *Bolletín de Lima*, 100, 211–254.
- Majcherczyk J., 2002. Zdobycie Rio Colca, najgłębszego kanionu na Ziemi. Wyd. II, Wydawnictwo AA s.c., Kraków, 1 Tosdal *et al.* 1995, 1–247.
- Menzel M., 1984. Katalog der Lebermoose von Peru. *Willdenowia*, 14, 473–523.
- Menzel M., 1986. Beitrag zur andinen Laubmoosflora von Peru. *Willdenowia*, 15, 529–555.
- Menzel M., 1992. Preliminary checklist of the mosses of Peru (Studies on Peruvian Bryophytes IV). *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 71, 175–254.
- ONERN – Oficina de Evaluación de Recursos Naturales, 1976. Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Lima.
- Podbielkowski Z., 1987. Fitogeografia części świata. Tom II. PWN, Warszawa, 1–236.
- Zedda L., 2000. *Lecanora leuckertiana* sp. nov. (lichenized Ascomycetes, Lecanorales) from Italy, Greece, Marocco and Spain. *Nova Hedwigia*, 71, 1–2, 107–112.

Summary

In 2006, study of bryophytes (Bryophyta, Marchantiophyta and Anthocerotophyta) and lichens (lichenized Ascomycota and Basidiomycota) in the projected Colca Canyon and the Valley of the Volcanoes National Park has been initiated. So far, these organisms has not been investigated in this area. The first field work in the study area were conducted from 2nd to 8th July 2006, mainly in the upper part of the Colca Canyon. Herbarium specimens were collected from all available habitats at 14 localities: in Colca Canyon – near Cabanaconde, San Juan de Chuccho, Tapay (2535–4140 m a.s.l.) and in upper part of Colca Valley – near Achoma and Soccoro (3349–3500 m a.s.l.).

Colca Canyon is covered by open and very loose vegetation (Fig. 1A). Plant communities are mostly grasslands dominated by, for example, *Calamagrostis* sp., *Festuca* sp., *Stipa*

ichu and numerous succulent plants (Figs 1B, 2A–D), rarely with an occasional admixture of shrubs and little trees. In the upper part of the canyon dominate pioneer plants communities, especially bryophytes and lichens (Fig. 3A). Rich vegetation islands are fully-developed in thermal sources (Fig. 3B), whereas in places exploited by people one may observe specific anthropogenic vegetation (Fig. 4A–B).

Preliminary field study showed considerable species richness of bryophytes and lichens resulting from a remarkable diversity of habitats. These are as follows:

- insolated rocks – mosses e.g.: *Schistidium*, *Grimmia*, *Andreaea* and lichens, e.g.: *Acarospora*, *Aspicilia*, *Buellia* s.l., *Caloplaca*, *Lecanora*, *Xanthoria*, *Xanthoparmelia* s.l., *Umbilicaria*, *Punctelia*, *Ramalina* and *Usnea*;
- shady and humid rocks – mosses e.g.: *Orthotrichum* and *Hedwigidium* and lichens e.g.: *Lepraria*, *Tephromela*, *Physcia* and *Lecidea*;
- stones in stream and spring, and rocks splashed by water – mosses e.g.: *Platyhypnidium*, *Amblystegium* and lichens e.g.: *Verrucaria*;
- terricolous habitats – bryophytes e.g.: *Bryum*, *Encalypta*, *Syntrichia*, *Marchantia*, *Fissidens*, *Aloina* and lichens e.g.: *Diploschistes*, *Toninia*, *Psora*, *Placidium*, *Peltigera*, *Leptogium*, *Leprocaulon* and *Cladonia*;
- rock rubble rich in humus in very moist places – moss e.g.: *Platyhypnidium* and liverworts e.g.: *Jungermannia* and *Chiloscyphus*;
- epibryophytic habitats – lichens e.g.: *Caloplaca*, *Heterodermia*, *Leptogium*, *Normandina* and *Xanthoparmelia* s.l.;
- epiphytic habitats on cactuses – mosses e.g.: *Syntrichia*, *Bryum* and lichens e.g.: *Physcia*, *Xanthoria* and *Teloschistes*;
- epiphytic habitats on twigs and trunks of tree and scrubs – lichens e.g.: *Xanthoparmelia* s.l., *Xanthoria*, *Leptogium* and *Rinodina* and mosses e.g.: *Orthotrichum*.

The recently described lichen species *Lecanora leuckertiana*, and some others sterile lichens including *Lepraria impossibilis* – species new to Southern Hemisphere, was discovered in the area of the projected Canyon Colca and the Valley of the Volcanoes National Park during preliminary studies (Flakus *et al.* 2006; Flakus & Kukwa 2007). Further research on bryophyte and lichen flora of the study area are planned and they should result in completing lists of species of these organisms and should provide arguments for the protection of its unique wild life.

WSTĘPNE OPRACOWANIE BIOTY POROSTOWEJ W OBREBIE KANIONU COLCA ORAZ DOLINY WULKANÓW (PERU)

Preliminary study on lichen biota of Colca Canyon and Valley of the Volcanoes (Peru)

Katarzyna SOBIECH-MATURA & Michał WĘGRZYN

*Uniwersytet Jagielloński,
Instytut Botaniki, Zakład Badań i Dokumentacji Polarnej im. Zdzisława Czepego;
ul. Kopernika 27, 31-501 Kraków;
e-mail: katarzyna.sobiech@uj.edu.pl, michal.wegrzyn@uj.edu.pl*

Treść: Badania lichenologiczne prowadzone były w rejonie Doliny Colca, Kanionu Colca oraz Doliny Wulkanów (Andy Centralne), na obszarze piętra roślinnego puna, na wysokości 3000 do 5000 m n.p.m. Na 20 stanowiskach, zlokalizowanych za pomocą odbiornika GPS, zebrano 150 okazów porostów. Z do-tychczasowych badań wynika, że dominują tu gatunki skorupiaste, mniej liczne są porosty o plechach plakodiowych, listkowatych lub krzaczkowatych. Gatunki porostów naskalnych najczęściej należą do rodzajów *Acarospora*, *Buellia* oraz *Psiloparmelia*. Porosty epigeiczne i epifity są nieliczne. Wśród porostów epigeicznych najczęściej były notowane gatunki z rodzaju *Acarospora*, *Flavoparmelia*, *Lecidea*, *Caloplaca*, *Lepraria* i *Physconia*. Na zdrewniałych częściach kaktusów zidentyfikowano rodzaje *Buellia*, *Caloplaca*, *Teloschistes* i *Xanthoria*, a na zdrewniałych tkankach roślin wyższych *Physcia*, *Buellia*, *Candelariella*, *Usnea*, *Parmelia* oraz *Caloplaca*. Badania zmierzają do oznaczenia gatunków oraz oszacowania bioróżnorodności porostów na badanym obszarze.

Słowa kluczowe: Porosty, bioróżnorodność, Kanion Colca, Dolina Wulkanów, Peru, Ameryka Południowa

Abstract: Lichenological investigations were conducted in the region of Colca Valley, Colca Canyon and Valley of the Volcanoes (Central Andes), in the area of puna, at altitudes between 3000 and 5000 m a.s.l. Specimens were collected on 20 sites, located using GPS receiver. Most of the 150 specimens are crustose lichens. Squamulose, foliose and fruticose lichens are less frequent. Epilithic lichens belong mostly to genera *Acarospora*, *Buellia* and *Psiloparmelia*. Among epigeic lichens most common are species of following genera: *Acarospora*, *Flavoparmelia*, *Lecidea*, *Caloplaca*, *Lepraria* and *Physconia*. On wooden parts of cacti genera: *Buellia*, *Caloplaca*, *Teloschistes* and *Xanthoria* were identified, and on wooden parts of vascular plants genera: *Physcia*, *Buellia*, *Candelariella*, *Usnea*, *Parmelia* and *Caloplaca*. Now further work is being done to determine the species and the level of lichen biodiversity in this region.

Key words: Lichens, biodiversity, Colca Canyon, Valley of the Volcanoes, Peru, South America

WSTĘP

Peru jest rozległym krajem w środkowo-zachodniej części Ameryki Południowej o dużym zróżnicowaniu botanicznym. Na badanym obszarze peruwiańskiej części Andów większość powierzchni terenu pokryta jest puną. Jest to bardzo uboga gatunkowo formacja roślinna, która wykształciła się na wysokości od 3000 do 5000 m n.p.m., w wyniku oddziaływania pustynnego i półpustynnego klimatu. W krajobrazie wysokogórskim Andów, w którym praktycznie nie występuje roślinność drzewiasta, szczególnie eksponowane są formacje naskalne.

Porosty, inaczej zwane grzybami zlichenizowanymi, to organizmy pionierskie. Stanowią one unikalne połączenie dwóch symbiontów – fotobionta (glonu lub sinicy) oraz mykobionta (grzyba), które wspólnie tworzą unikalną strukturę. Porosty jako pierwsze kolonizują obszary o niekorzystnych warunkach siedliskowych, takie jak np. nagie skały w obszarach suchych i nasłonecznionych. Są one szeroko rozpowszechnione na całej kuli ziemskiej i stanowią ważny składnik wielu zbiorowisk roślinnych, poczynając od wilgotnych lasów tropikalnych, aż do zimnych i suchych obszarów polarnych (Brodo *et al.* 2001).

Kanion Colca oraz przylegająca do niego Dolina Wulkanów nigdy wcześniej nie były badane pod względem lichenologicznym. Plany utworzenia na tym terenie parku narodowego przyczyniły się do podjęcia trudu opracowania rozmieszczenia i różnorodności porostów tego najgłębszego na świecie kanionu. Znaczące różnice wysokości względnych na badanym obszarze, dochodzące do kilku tysięcy metrów n.p.m., to jeden z głównych czynników decydujących o ogromnej różnorodności gatunkowej porostów. Pustynny i półpustynny klimat występujący ponad kanionem, przeciwstawia się nieznacznie wilgotniejszemu klimatowi w obrębie kanionu rzeki Colca. Wspomniane zróżnicowania klimatyczne również znacząco przyczyniają się do występowania dużej różnorodności widocznej w lichenobiocie badanego terenu.

Niniejsze wstępne opracowanie podsumowuje pierwszy etap prac w ramach Polskiej Wyprawy Naukowej do Peru w 2006 roku. W jej trakcie zapoznano się z ukształtowaniem fizjograficznym terenu, jego klimatem, jak również z roślinnością występującą w Kanionie Colca oraz w Dolinie Wulkanów. Założono także wstępne stanowiska badawcze, na których zebrano próbki porostów. Wszystkie dane uzyskane w trakcie prac terenowych, umożliwią zaplanowanie dalszych szczegółowych badań lichenologicznych na kolejne lata trwania projektu.

Na badanym terenie występują głównie skały osadowe, wulkaniczne, magmowe oraz metamorficzne. Duże powierzchnie bloków skalnych pokryte są gatunkami porostów epilitycznych, najczęściej skorupiastych, głównie z rodzaju *Buellia* (Magnusson 1954). Przypuszcza się, iż ten rodzaj pełni w południowej hemisferze rolę podobną do tej, jaką rodzaj *Rhizocarpon* spełnia w górach półkuli północnej. Powszechne są także gatunki należące do takich rodzajów jak *Acarospora*, *Caloplaca*, *Candelariella*, *Lecidella*, czy też endemicznego rodzaju *Psiloparmelia*, którego rozmieszczenie ograniczone jest jedynie do obszaru Andów (Feuerer *et al.* 1998).

Analizując światową literaturę lichenologiczną, śmiało można stwierdzić, że pod względem poznania bioty porostowej, terytorium Peru jest jednym z najslabiej zbadanych obszarów Ameryki Południowej. Obecnie podawanych jest z tego kraju jedynie 235 gatunków grzybów zlichenizowanych (Feuerer 2005). Prowadzone przez nas badania w obrębie Kanionu Colca oraz Doliny Wulkanów przyczynią się więc nie tylko do opracowania lichenobioty badanego regionu, ale dostarczą informacji na temat porostów cennych dla całego Peru.

MATERIAŁY I METODY

W czasie prac terenowych prowadzonych w terenie między 2 a 19 lipca 2006 roku zebrano ponad 150 okazów porostów. Okazy te zostały zebrane na 20 powierzchniach badawczych. Dla każdego stanowiska za pomocą metody GPS (Global Positioning System) zostały wyznaczone współrzędne geograficzne. Zebrane w ten sposób dane posłużą w przyszłości do wykonania mapy rozmieszczenia gatunków na badanym obszarze. Materiały zielnikowe skatalogowano i odpowiednio zabezpieczono. Obecnie trwają prace nad oznaczeniem zebranych gatunków porostów. W tym celu prowadzone są badania makro- i mikroskopowe z wykorzystaniem lupy binokularnej oraz mikroskopu świetlnego. Dla prawidłowego oznaczenia gatunków konieczne jest też zastosowanie metod chemotaksonomicznych, polegające na barwieniu fragmentów okazów odpowiednimi odczynnikami, jak również na analizie metodą chromatografii cienkowarstwowej (TLC). Po dokładnym oznaczeniu okazy zostaną wcielone do Zielnika Lichenologicznego Instytutu Botaniki UJ (KRA).

OBSZAR BADAŃ

Teren, na którym prowadzono badania obejmuje suche, pustynne i półpustynne obszary środkowych Andów w rejonie Arequipy (Kordyliera Zachodnia). Obszar ten w większości porasta piętro roślinne puna, występujące w przedziale wysokościowym od 3000 do 5000 m n.p.m. W jego skład wchodzi głównie suchoroślowe trawy kępkowate *ichu*, krzewinki oraz rośliny poduszkowe (yareta – *Azorella* sp.), rzadziej krzewy kcapo (*Parastrephia lepidophylla*). W miejscach o bardzo sprzyjających warunkach tworzą się zarośla, zbliżone swym pokrojem do karłowatych lasów. Drzewa występują tu niezwykle rzadko i są to głównie okazy eukaliptusa, pochodzące ze sztucznych nasadzeń, oraz reliktowe queñua (*Polylepis tomentella*) i quishuar (*c'olle*, *Buddleia* sp.). Na rumowiskach skalnych lub w miejscach szczególnie suchych spotkać można liczne gatunki kaktusów drzewiastych.

Stanowiska poboru prób zlokalizowane były zarówno w rejonie doliny rzeki Colca, jak również w obszarze kanionu oraz w Dolinie Wulkanów. Okazy zbierane były w okolicach następujących miejscowości: Chivay, Achoma, Maca, Cabanaconde, Huambo (w dolinie rzeki Colca oraz w obrębie kanionu), Andagua, Soporó oraz Ajo (w Dolinie Wulkanów).

WYNIKI

Prezentowane wyniki są jedynie ogólnymi i niepełnymi informacjami na temat różnorodności i rozmieszczenia porostów w rejonie Kanionu Colca oraz w Dolinie Wulkanów. Jednakże na ich podstawie już teraz można scharakteryzować najważniejsze cechy bioty porostowej tego terenu.

Ze względu na surowy wysokogórski klimat, panujący na badanym obszarze oraz niską wilgotność powietrza, intensywność procesów glebotwórczych jest bardzo mała. Z tego względu dominującą grupą ekologiczną porostów są gatunki epilityczne (naskalne). W grupie tej pod względem morfologicznym dominują gatunki skorupiaste. Mniej licznie reprezentowane są porosty o plechach plakodiowych, czy też w całości listkowatych lub krzaczkowatych. Notowane gatunki porostów naskalnych najczęściej należą do rodzajów: *Acarospora* (Fig. 1A),

Buellia oraz *Psiloparmelia*, która jest taksonem endemicznym dla obszaru Andów (Fig. 1B). Rzadziej notowano takie rodzaje jak: *Trapelia*, *Peltigera*, *Usnea*, *Lecanora*, *Xanthoria*, *Caloplaca*, *Physcia*, *Umbilicaria*, *Thelotrema* oraz *Rhizocarpon* (Fig. 1C). Plechy wymienionych taksonów tworzą na skałach luźną mozaikę porostową.

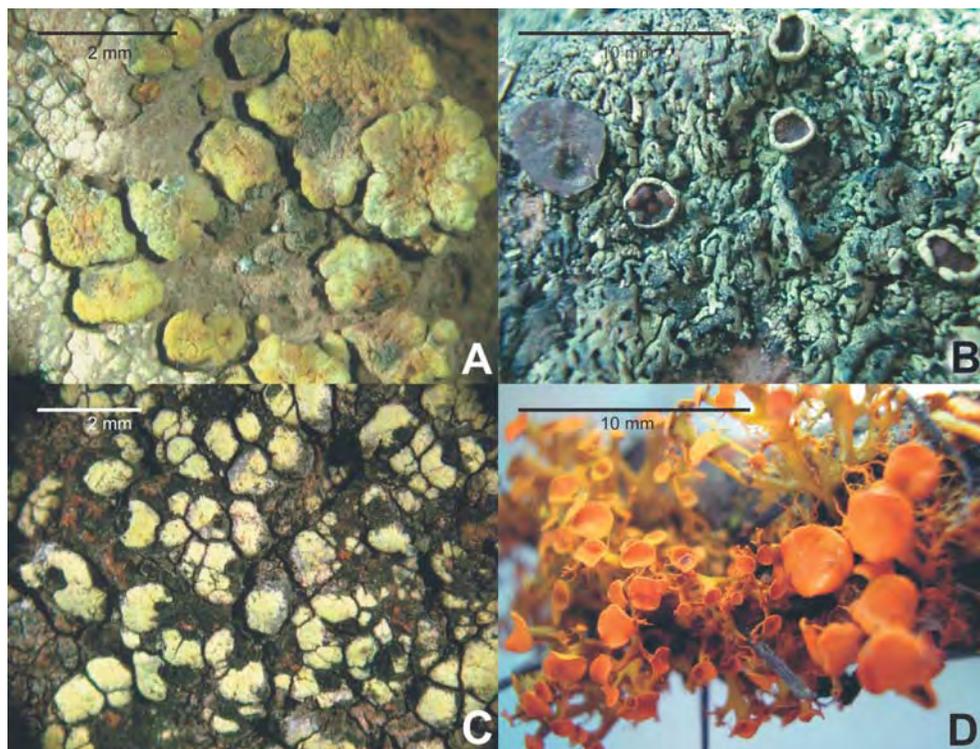


Fig. 1. Porosty zebrane w rejonie Kanionu Colca oraz Doliny Wulkanów. A – *Acarospora schleicheri* (Ach.) A. Massal., B – *Psiloparmelia distincta* (Nyl.) Hale, C – *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC., D – *Teloschistes* sp.

Fig. 1. Lichens collected in Colca Canyon and Valley of the Volcanoes. A – *Acarospora schleicheri* (Ach.) A. Massal., B – *Psiloparmelia distincta* (Nyl.) Hale, C – *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC., D – *Teloschistes* sp.

Porosty epigeiczne, czyli rosnące na glebie, na badanych stanowiskach występowały rzadko. Wśród nich najczęściej były notowane gatunki z rodzaju *Acarospora*, *Flavoparmelia*, *Lecidea*, *Caloplaca*, *Lepraria* i *Physconia*. W większości są to porosty skorupiaste lub skorupiasto-luseczkowate.

Grupą ekologiczną porostów najmniej licznie reprezentowaną są epifity, czyli gatunki rosnące na korze drzew i krzewów, jak również na zdrewniałych częściach kaktusów. W trakcie badań zostały na tym podłożu zanotowane gatunki należące do następujących rodzajów: *Buellia*, *Caloplaca*, *Teloschistes* (Fig. 1D) i *Xanthoria*. Z kolei na zdrewniałych tkankach roślin wyższych odnotowano takie rodzaje, jak: *Physcia*, *Buellia*, *Candelariella*, *Usnea*, *Par-*

melia oraz *Caloplaca*. Nie stwierdzono natomiast na badanym terenie porostów na korze lub liściach drzew.

Katarzyna Sobiech-Matura pragnie serdecznie podziękować tym Osobom, dzięki którym jej udział w wyprawie doszedł do skutku – Prezydentowi Miasta Ruda Śląska, panu Andrzejowi Stani oraz Prezesowi Polonijnego Klubu Podróżnika, panu Jerzemu Majcherczykowi oraz Rodzicom.

LITERATURA

- Brodo I.M., Duran Sharnoff S. & Sharnoff S., 2001. *Lichens of North America*. Yale University Press, New Haven & London, 1–795.
- Feurerer T., 2005. Checklist of Peruvian Lichens and lichenicolous fungi of Peru. wersja internetowa: http://www.biologie.uni-hamburg.de/checklists/southamerica/peru_1.htm.
- Feurerer T., Ahti T. & Vitikainen O., 1998. Lichenological Investigations in Bolivia, w: Marcelli M.P., Seaward M.R.D. (eds.), *Lichenology in Latin America. History, Current Knowledge and Application*, CETESB, Sao Paulo, 71–86.
- Magnusson A.H., 1954. Key to Saxicolous *Buellia* Species, Mainly from South America, *Arkiv för Botanik / Utgivet av Kungl, Svenska Vetenskapsakademien*, 3, 9, 205–221.

Summary

Lichens are symbiotic organisms made up by the association of photobionts (cyanobacteria or green algae) and filamentous fungi. Lichens take the external shape of the fungal partner and hence are named based on the fungus.

Climate of Arequipa department in south Peru is dry, subtropical, largely modified by varying altitudes of the Andes, which impede or deviate the winds. The vegetation unit that appears very often in dry regions of Andean mountain ranges at altitudes between 3000 and 5000 m a.s.l. is called puna. It consists primarily of grasslands made up of small bushy species of plants and different types of grasses, mosses and lichens. Trees are rare at those high altitudes.

Lichenological investigations were conducted in the area of puna, in the region of Colca Valley, Colca Canyon and Valley of the Volcanoes (Central Andes). These regions, as well as the whole area of Peru, are poorly known in relation to lichenobiota.

The field studies were conducted between 2nd and 19th July 2006. During that period 150 specimens on 20 sites were collected. For each one of the sites geographical coordinates were obtained by using the Global Positioning System (GPS) receiver. These specimens were catalogued and now further investigations are made to determine the species.

The most common genera of saxicolous lichens in the investigated regions are: *Acarospora* (Fig. 1A), *Buellia*, *Psiloparmelia* (Fig. 1B), *Trapelia*, *Peltigera*, *Usnea*, *Lecanora*, *Xanthoria*, *Caloplaca*, *Physcia*, *Umbilicaria*, *Rhizocarpon* (Fig. 1C) and *Thelotrema*. Epigaeic genera are *Acarospora*, *Flavoparmelia*, *Lecidea*, *Caloplaca*, *Lepraria*, and *Physconia*, and epiphytic *Buellia*, *Caloplaca*, *Teloschistes* (Fig. 1D), *Xanthoria* (on cactus), and *Physcia*, *Buellia*, *Candelariella*, *Usnea*, *Parmelia* (on vascular plants).

MEDYCYNA KONWENCJONALNA I MEDYCYNA TRADYCYJNA W REJONIE KANIONU COLCA, PERU

Conventional and traditional medicine in Canyon Colca region, Peru

Zdzisław Jan RYN

*Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum,
Wydział Lekarski, Katedra Psychiatrii;
31-501 Kraków, ul. Kopernika 21a;
e-mail: mzryn@cyf-kr.edu.pl*

Treść: Stan lecznictwa w regionie wynika z powszechnego w Ameryce Łacińskiej procesu nakładania się profesjonalnej medycyny europejskiej na wielowiekowe doświadczenia miejscowych uzdrowiaczy. Autor określił stan zdrowia mieszkańców, zachorowalność, stan służby zdrowia oraz związki tradycyjnego leczenia z religią i magią zapisane w obiektach archeologicznych, zmumifikowanych zwłokach ludzi i łatwe do zauważenia w kontynuowanych nadal rytuałach. Opisał leki dostępne na targach, rośliny hodowane w celach leczniczych oraz wywiady z przedstawicielem samorządu i miejscowymi uzdrowiaczami na temat funkcjonowania medycyny tradycyjnej i jej relacji z medycyną instytucjonalną. Rozwój turystyki stwarza pilną konieczność rozwoju oficjalnej służby zdrowia i poszerzenia jej świadczeń, tym bardziej, że zagraniczni turyści nie są na ogół przystosowani do przebywania w strefie wysokogórskiej, 3200–4800 m n.p.m., powszechnej w tym regionie.

Słowa kluczowe: Kanion Colca, prowincja Caylloma, zdrowotność, medycyna konwencjonalna, medycyna tradycyjna, służba zdrowia, sanktuaria andyjskie

Abstract: Health care in the region under study as well as in whole Latin America comes out from overlapping of professional European medicine on long lasting experience of local faith healers. Present author determined state of health and incidence of disease among inhabitants, as well as condition of local health service, and relations between traditional medicine and religion and sorcery which are entrenched in archeological objects, mummified bodies and are observable in continued rituals. Medicines available in the local markets and herbs planted for medical purpose are described. Local authority representative and healers were interviewed on the functioning of traditional medicine and its relation to institutional medicine. Present growth of tourism requires development of official medical staff and services as a matter of great urgency. The need follows, among other, from weak adaptation of foreign tourists to high altitude zone, 3200–4800 m a.s.l. which is common in this region.

Key words: Colca Canyon, Caylloma province, state of health, conventional medicine, traditional medicine, health service, Andean sanctuaries

WSTĘP

Jednym z tematów badań terenowych przewidzianych w programie naukowym Polskiej Wyprawy Naukowej Peru 2006 była ocena sytuacji związanej ze współlistnieniem medycyny tradycyjnej z medycyną konwencjonalną. Od czasu konkwisty hiszpańskiej w XVI wieku na terenie całej Ameryki Łacińskiej obserwuje się złożony proces idiosynkrazji, tj. nakładania się medycyny europejskiej na wielowiekowe doświadczenia miejscowych uzdrowicieli (*curanderos*), którzy stworzyli oryginalne koncepcje związane ze zdrowiem i chorobą (Ryn 2002). Cechą istotną tej koncepcji jest powiązanie zdrowia i choroby z holistycznym ujęciem miejsca człowieka w świecie i wszechświecie. Medycyna tubylcza wiąże się immanentnie z religią oraz magią. Zakłada ona jedność świata materialnego ze światem nadprzyrodzonym (magicznym). Tubylcy nie wyznaczają wyraźnej granicy między tym co realne, a tym co wyobrażeniowe czy postrzegane, np. w stanie zmienionej świadomości. Europejskich przybyszów, zwłaszcza misjonarzy i medyków, zaskoczył wysoki poziom praktyk medycznych w kulturach Azteków, Majów oraz Inków.

LUDNOŚĆ

Dolina i Kanion Rio Colca leżą w prowincji Caylloma, w departamencie Arequipa. Prowincja ta zajmuje powierzchnię 14 780 km². Jej stolicą jest miasteczko Chivay położone na wysokości 3630 m n.p.m. Prowincję zamieszkują potomkowie ludności tubylczej Collaguas i Cabanas. Region był zaludniony i zagospodarowany przed okresem Inków. Miejscowa ludność stworzyła oryginalną i swoistą kulturę i sztukę opartą na miejscowych obyczajach, mitach i wierzeniach.

Według danych statystycznych z 2002 roku departament Arequipy liczył wówczas 1 091 748 mieszkańców; średnio 17.2/km². Z tego na prowincję Caylloma przypadało 50 051 mieszkańców, przy średniej zaludnienia 5.3/km². W roku 2003 prowincja liczyła już przeszło 80 tysięcy mieszkańców, a obecnie zbliża się do stu tysięcy. Gwałtowny wzrost turystyki oraz inwestycje związane z rozwojem regionu (projekt irygacyjny Majes) spowodowały ruchy migracyjne (Diagnóstico 2006). Napływ miejscowej ludności następuje przede wszystkim do terenów upraw i usług turystycznych w dolinach, na wysokości mniejszej od 3600–3700 m n.p.m., powiązanych komunikacyjnie z Arequipą. Leżące w Dolinie Colca, zaludnionej gęściej od reszty prowincji, Chivay liczy około 5000 mieszkańców, a mniejsze miasteczka: Achocha, Coporaque, Lari, Maca, Madrigal i Yanque po około 1000 mieszkańców. Na zboczach Kanionu Colca znajduje się zaledwie kilka osad skupiających najwyżej 100 mieszkańców każde, a na płaskowyżu nad jego krawędzią miasteczko Cabanaconde liczące około 2300 i Huambo – niespełna 1000 mieszkańców.

Prowincja Caylloma słynie przede wszystkim z najgłębszego kanionu świata – Cañón del Colca oraz z licznych i niezwykle bogatych stanowisk archeologicznych (Usca Llaqta, Uyu Uyu, Sonqo Killa, Malata, Kallimarka, Pucara, Pachamanca, Achachiwa i inne) (Mujica & De la Vera Cruz 1998). Na tym terenie znajdują się gejzery Infernillo (Pinchollo) i Paclla (Cabanaconde), a w pobliżu rezerwat narodowy Salinas y Aguada Blanca. Dzięki odkryciu przez Polaków Kanionu Colca prowincja stała się jednym z ważniejszych regionów turystycznych na mapie Peru, przyciągając setki tysięcy turystów z całego świata. Bogactwo kul-

turowe i przyrodnicze przyciąga w ten region także uczonych, odkrywców i dziennikarzy (Majcherczyk 2001).

Chlubną kartę w tej dziedzinie zapisują Polacy, począwszy od polskiej odkrywczej wyprawy Canoandes (1979–1981), po dzisiejszą działalność edukacyjną, naukową i eksplo-racyjną. Wyrazem uznania dla wyczynu uczestników polskiej wyprawy było odsłonięcie obelisku na Plaza de Armas w Chivay oraz rezolucja miejscowych władz z 7 lipca 2006 roku (Nr 060-2006-MPC-Chivay) w 25. rocznicę zdobycia Kanionu Colca przez Polaków.

Masowy napływ turystów stawia nowe wyzwania przed miejscową służbą zdrowia zupełnie nie przygotowaną do świadczenia usług przebywającym tu turystom, tak krajowym, jak i zagranicznym. Problem staje się coraz poważniejszy jeśli uwzględnić, że wzrost ruchu turystycznego sięga 20 procent rocznie i w okresie od 1997 roku (8200 osób) do roku 2005 zwiększył się dwunastokrotnie (103 900 osób) (Diagnóstico 2006, Baldarrago 2007).

W roku 2004 zanotowano przeszło 65 tysięcy turystów, w tym 53 tysiące (83%) turystów zagranicznych. Większość turystów ogranicza się do zwiedzania Doliny Colca i punktu widokowego w czeluści Kanionu Cruz del Condor. Mnożą się problemy związane z usługami o charakterze hotelowym, żywieniowym i edukacyjnym.

WARUNKI SPOŁECZNO-EKONOMICZNE I KULTUROWE

Warunki życia ludności tej prowincji są zróżnicowane i zależne od czynników środowiska naturalnego. W Chivay i okolicy przeważa zatrudnienie w usługach turystycznych, podczas gdy mieszkańcy pozostałej części Doliny Colca i Cabanaconde zajmują się bardziej hodowlą bydła i rolnictwem. Mieszkańcy dolin zajmują się produkcją rolną oraz sadownictwem. Szacuje się, że odkrycie dla świata Kanionu Colca spowodowało przesunięcie zatrudnienia miejscowej ludności do sektora usług, zwłaszcza w sektorze usług turystycznych, który wynosi około 60%.

Atrakcje turystyczne zostały opisane m.in. przez Krzaka (2005) i Radwanek-Bąk (2008). Ludność miejscowa kultywuje dawne obrzędy religijne, składanie ofiar Pachamamie, czyli Matce Ziemi. Współcześni mieszkańcy są dziedzicami bogatej kultury duchowej i materialnej swych przodków. Dotyczy to w szczególności kultury i tradycji w zakresie zdrowia i choroby.

STAN ZDROWIA MIESZKAŃCÓW

Bezpośredni wpływ na kondycję zdrowotną mieszkańców mają warunki środowiska naturalnego, w tym duże wysokości. Niektóre osady ludzkie w tej prowincji są położone powyżej 4000 m n.p.m.

Z danych uzyskanych w miejscowych urzędach wynika, że wskaźnik śmiertelności dzieci jest tu wyższy od średniej krajowej. Wskaźnik śmiertelności dzieci w pierwszym roku życia wynosi odpowiednio 113.7 na tysiąc w prowincji La Uñi6n i 74 oraz 76 w prowincjach Condesuyos i Caylloma. Te wysokie wskaźniki świadczą o szczególnie trudnych warunkach srodowiskowych i sanitarnych. W nich kryje się niski przyrost miejscowej ludności, który dla Condesuyos wynosi 0.3%, a dla La Uni6n jest ujemny i wynosi –0.5%.

W szczególnie trudnych warunkach żyją mieszkańcy prowincji Caylloma, gdzie poziom analfabetyzmu wśród kobiet, poziom chronicznego niedożywienia dzieci oraz mieszkań bez wody bieżącej jest bardzo wysoki. I tak, poziom analfabetyzmu sięga 16.2%, niedożywienia – 33.3%, a domostw bez wody – 38.2%. Wykształcenie podstawowe uzyskuje jedynie 25.4% młodzieży. Wszystko to wpływa bezpośrednio na kondycję zdrowotną społeczności.

W epidemiologii chorób u dzieci przeważają zaburzenia odżywiania, choroby zakaźne oraz przypadki śmierci z powodu biegunki. W okresie dojrzewania notuje się przedwczesne rozpoczęcie życia seksualnego, wysoki odsetek ciąży oraz przerwanie obowiązkowej nauki szkolnej. Wśród ludności dorosłej przeważa anemia i niedożywienie matek karmiących, niska dbałość o własny stan zdrowia i higieny, niski poziom kultury i prozdrowotnego stylu życia. Natomiast w populacji wieku podeszłego główne problemy stanowi brak opieki nad osobami starszymi i opuszczonymi, wysoki odsetek schorzeń zwyrodnieniowych i chorób psychicznych oraz alkoholizm. Szczególne trudności natury socjalnej sprawia niska dbałość o warunki życia codziennego, przemoc wewnątrzrodzinną i społeczną, spadek wartości moralnych oraz bezrobocie.

Notuje się pogłębianie różnicy w poziomie i jakości życia między mieszkańcami stolicy Arequipy, a mieszkańcami prowincji. Wynika to przede wszystkim z braku adekwatnych programów rozwoju opieki zdrowotnej, trudności komunikacyjnych z osadami odległymi od cywilizacji oraz braku inwestycji publicznych i prywatnych w tych odległych rejonach.

Podobnie jak w innych regionach górskich Peru, w prowincji Caylloma istnieje duża przepaść między potrzebami ludności, a możliwościami ich zaspokojenia. Aktualny stan placówek publicznej opieki zdrowotnej nie jest w stanie zapewnić nawet najbardziej podstawowych potrzeb ludności. Nadal funkcjonuje tu odwieczny system medycyny tradycyjnej uprawianej przez ludowych uzdrowicieli (*curanderos*) oraz szamanów.

STAN SŁUŻBY ZDROWIA

Najważniejsza placówka państwowej służby zdrowia to Centro de Salud de Chivay. Centrum to prowadzi nieduży szpital, nadzoruje 7 ośrodków zdrowia oraz 23 punkty medyczne w ważniejszych pueblach. Każdy z takich punktów dysponuje dwoma łózkami dla chorych wymagających obserwacji i prostych zabiegów leczniczych. W prowincji Caylloma istnieje łącznie przeszło 30 ośrodków zdrowia, które świadczą usługi zdrowotne, z czego 10 na omawianym obszarze. Nie posiadają one jednak ani fachowego personelu medycznego, ani odpowiedniego wyposażenia.

Obok szpitala w Chivay funkcjonuje tu niezależny oddział Peruwiańskiego Instytutu Ubezpieczeń Społecznych (Instituto Peruano de Seguridad Social), który świadczy usługi lecznicze osobom ubezpieczonym. Usługi te obejmują takie specjalności, jak medycyna ogólna, stomatologia, położnictwo i ginekologia oraz laboratorium analityczne. Łącznie prowincja Caylloma dysponuje 4 ośrodkami medycznymi i 26 punktami medycznymi z 10 łózkami szpitalnymi (dane za lata 1999–2004).

W Dolinie Wulkanów, w sąsiedniej prowincji Castilla, wiarygodnym informatorem o stanie służby zdrowia oraz jej współdziałaniu z miejscowymi uzdrowicielami, a zwłaszcza w pueblu Andagua (równolegle stosowana jest dawniejsza pisownia Andahua) był alcalde tej miej-

scowości Juan Aguillar Herrera. W Andagua praktykuje trzech znanych i cenionych *curanderos*. Zajmują oni uprzywilejowaną pozycję w miejscowej społeczności. Wiedzę o właściwościach miejscowych roślin leczniczych oraz innych środków uzyskali poprzez tradycję przekazywaną z pokolenia na pokolenie. Zajmują się głównie ziołolecznictwem, używają też liści coca zarówno w celach diagnostycznych jak leczniczych. Obok tradycyjnych uzdrowiaczy Andagua posiada Ośrodek Zdrowia (Centro de Salud) zatrudniające 2 lekarzy, stomatologa, ginekologa, technika do spraw żywienia, 2 pielęgniarki i 3 techników pielęgniarstwa (odpowiednik asystentów społecznych). Ośrodek dysponuje dwoma łózkami służącymi do krótkotrwałej obserwacji przed ewentualnym skierowaniem chorego do szpitala. Najbliższa karetka sanitarna znajduje się w odległej o ponad 30 km Orcopampa. Do tej pory dwukrotnie wzywano helikopter z Arequipy: w przypadku ostrego zapalenia otrzewnej oraz groźnego postrzału z karabinu.

ZACHOROWALNOŚĆ – EPIDEMIOLOGIA

O kondycji zdrowotnej mieszkańców tego regionu świadczą dane statystyczne uwzględniające dziesięć najczęstszych zachorowań w poszczególnych kategoriach wiekowych: w populacji dzieci, młodzieży, osób dorosłych i osób w wieku podeszłym. Przedstawiają się one następująco.

- Dzieci – ostre zapalenie gardła i górnych dróg oddechowych, biegunki pochodzenia infekcyjnego, stany gorączkowe niejasnego pochodzenia, niedożywienie;
- Młodzież – próchnica zębów, ostre zapalenie tchawicy, ostre infekcje górnych dróg oddechowych, biegunki i stany zapalne przewodu pokarmowego pochodzenia zakaźnego, schorzenia dróg moczowych;
- Osoby dorosłe – ostre stany zapalne dróg oddechowych i przewodu pokarmowego, ostre stany zapalne układu moczowego, choroby infekcyjne przenoszone drogą seksualną, lumbagie, infekcje zapalne narządów rodnych;
- Osoby w wieku podeszłym – ostre stany zapalne dróg oddechowych i przewodu pokarmowego, schorzenia dróg moczowych, schorzenia reumatyczne, powikłania mózgowie.

Dodatkowej informacji dostarczają dane epidemiologiczne (Diagnóstico 2000) uwzględniające główne przyczyny śmierci w tych samych grupach wiekowych. W największym skrócie można powiedzieć, że u dzieci przeważają wrodzone wady w układzie sercowo-naczyniowym, ostre stany zapalne dróg oddechowych i przewodu pokarmowego, zwężenia jelit; u młodzieży gruźlica płuc, zatrucia i wypadki komunikacyjne; u osób dorosłych ostre zapalenia dróg oddechowych i niewydolność oddechowa, niewydolność sercowo-naczyniowa, zatory naczyniowe w jamie brzusznej, rak oraz w jednym przypadku zawał serca; u osób w wieku podeszłym niedożywienie, kardiopatie, ostre zapalenie płuc, krwotoki i rak przewodu pokarmowego, niewydolność nerek.

Powyższe dane należy traktować orientacyjnie, gdyż nie uwzględniają one chorych korzystających z usług medycyny tradycyjnej. Wskazują one na bezpośredni związek podstawowych zachorowań z warunkami życia oraz sytuacją środowiskową, głównie stanem sanitarnym oraz urazowym wpływem czynników wysokogórskich, jak niedotlenienie, niskie temperatury, niedostatki odżywiania, itp. (Ryn 1980).

MEDYCYNA ARCHEOLOGICZNA

Prowincja Caylloma obfituje w nadzwyczajne stanowiska archeologiczne i antropologiczne, które stanowią bogate źródło wiedzy na temat kondycji zdrowotnej oraz aspektów antropologicznych dawnych mieszkańców tej ziemi. Mowa tu przede wszystkim o sanktuariach (adoratoriach) andyjskich na wierzchołkach okolicznych wulkanów i gór, w których odnaleziono tzw. mumie andyjskie. Są one materialnym wyrazem ofiar składanych bóstwom w sytuacji katastrof natury (wybuchy wulkanów, trzęsienia ziemi, powódzie lub susze itp.). W ofierze składano najczęściej przedmioty materialne, ale również zwierzęta, a w sytuacjach nadzwyczajnych – ludzi (Ryn 2007).

Jedne z najstarszych „zapisów” związanych z medycyną tradycyjną znajdujemy w miejscowych grotach w postaci licznych rysunków (*arte rupestre*) i rzeźb naskalnych (*petroglifos*). Do najcenniejszych w tym regionie należą rysunki w jaskini Kòllpa-Sumbay pochodzące z przed ośmiu tysięcy lat. W jednej z grot natrafiliśmy na liczne rysunki naskalne, a wśród nich rysunek przedstawiający pierwsze udomowienie lamy w postaci sylwetki tego zwierzęcia uwięzionego na sznurze założonym na szyi.

LAS APACHETAS

Podróżując wzdłuż i w poprzek Kordyliery Andów, niemal wszędzie można spotkać kamienne kopczyki nazywane przez tubylców *Las Apachetas*. Najczęściej stawiano je na wierzchołkach gór, w miejscach niebezpiecznych, na rozstajach górskich ścieżek. Przetrwały przez wieki do naszych czasów. W podzięce za szczęśliwe przebycie drogi Indianie dokładali na kopczykach kolejne kamienie i wypluwali *acullico*, czyli resztki przeżutych liści *coca*. Od okresu konkwisty hiszpańskiej zamiast kamieni i *acullico* wędrowcy zostawiają tam chrześcijańskie krzyżyki. Z tego względu kopczyki uważa się za „ołtarze półpogańskie”. Na kamiennych „pogańskich” ołtarzach widnieją dzisiaj zatknięte krzyże. I dawniej i dzisiaj te święte miejsca służyły modlitwie, jaką podróżujący składali *Pachamama* – Matce Ziemi w podziękowaniu za szczęśliwe przebycie drogi. *Apachetas* przy drodze z Arequipy do Chivay należą do najlepiej zachowanych i ciągle pełnią swe funkcje religijno-mistyczne dla współczesnych mieszkańców.

SANKTUARIA I MUMIE ANDYJSKIE

Muzea Arequipy oraz lokalne muzea zgromadziły bogate zbiory eksponatów związanych bezpośrednio lub pośrednio z medycyną tradycyjną. Do najwspanialszych obiektów tego typu należy zapewne mumia „Juanita”, znaleziona pod wierzchołkiem wulkanu Ampato i przechowywana w muzeum w Arequipie (Reinhard & Ceruti 2000).

Oto skrótowy opis tego odkrycia. Na stokach wulkanu Nevado Ampato, Johan Reinhard, za wskazówkami miejscowego przewodnika Zarate natrafił na pakunek, w którym znajdowała się doskonale zachowana mumia czternastoletniej dziewczyny. Nadano jej imię „Juanita”. Obok mumii znajdowały się statuetki ze złota, muszle, różne gatunki zasuszonych roślin, a wśród nich kukurydza.

Ampato stanowi część łańcucha Cordillera Volcanica, w którym Sabancaya, Misti, Huaynaputina i Ubinas są nadal czynne, a Firura, Coropuna, Chachani i inne niedawno wygasły. Mieszkańcy tej ziemi od wieków doświadczali niszczycielskiej działalności tych wulkanów i wypracowali mistyczne sposoby składania ofiar, aby uniknąć tych nieszczęść. Wulkany, w ich mentalności, były personifikowane i traktowane jako groźne bóstwa (*Apus*). Wszelkie przejawy aktywności wulkanicznej – fumarole, gejzery, erupcje popiołów i lawy – wywoływały zbiorowy lęk, a z drugiej strony utwierdzały w przekonaniu, że to od ich działalności zależy życie. Z topniejących lodowców wypływały potoki i rzeki, których wody były podstawą życia i upraw.

Mumię „Juanity” poddano wszechstronnym badaniom w laboratoriach Johns Hopkins Hospital w Baltimore (USA). Wykonano m.in. tomografię i trójwymiarowe zdjęcia rentgenowskie. Naukowcy doszli do następujących wniosków:

- „Juanita” była w wieku 14 lat i żyła w latach 1440–1450;
- wzrost 140 cm, nadzwyczajna uroda;
- nie stwierdzono żadnej choroby;
- uzębienie w doskonałym stanie, układ kostny silny;
- dobry stan odżywienia;
- dobę przed złożeniem ofiary pozostawała na czczo;
- na czaszce stwierdzono 5-centymetrową szczelinę kostną i ślady wylewu krwi, co było bezpośrednią przyczyną śmierci;
- śmierć nastąpiła gwałtownie w wyniku urazu głowy zadanego prawdopodobnie rodzajem maczugi (Ryn 2007).

Wykonano także badania DNA (kwasu desoksyrybonukleinowego) i porównano je z programem Genomu Ludzkiego. Potwierdziło to bliski związek genetyczny ze szczepem tubylców z Panamy i dawnymi ludami pochodzącymi z dzisiejszego Tajwanu i Korei. Badania DNA „Juanity” potwierdziły, że ludy te przywędrowały na teren Ameryki przez Cieśninę Beringa (Reinhard 1999).

W maju i czerwcu 1996 roku mumia „Juanity” była wystawiona w siedzibie National Geographic Society w Waszyngtonie, a obecnie jest przechowywana w Museo Santuario de Altura del Sur Andino Uniwersytetu Santa Maria w Arequipie. W zbiorach tego muzeum są również mumie „Urpicha” z wulkanu Pichu Pichu, „Sarita” z wulkanu Sarasara oraz pięć mumii znalezionych na wulkanie Misti w 1998 roku.

Wspomniane mumie stanowią bezcenne źródło do rekonstrukcji stanu zdrowia i chorób dawnych mieszkańców tej ziemi. Towarzyszące mumiom przedmioty materialne pozwalają poznać zwyczaje, obrzędy i wierzenia sprzed wieków (Ryn 1978).

W okolicy Chivay, nad osadą indiańską Coporaque, natrafiliśmy na oryginalny zbiorowy pochówek w grocie skalnej. Obudowany kamiennym murkiem zawierał szkielety ludzkie, liczne czaszki z deformacjami typowymi dla epoki Inków oraz resztkami ceramiki i tkanin. Stanowisko to nosi ślady wcześniejszych penetracji przez poszukiwaczy skarbów.

Muzeum w Yanque, z siedzibą w budynku z 1927 roku mającemu służyć miejscowej szkole, zostało utworzone w 1999 roku wspólną decyzją miejscowych władz municypalnych i Uniwersytetu Katolickiego Santa Maria w Arequipie. Wśród zbiorów tego muzeum znajdują się cenne okazy ceramiki, tkanin oraz prostych narzędzi kamiennych (z obsydianu), które służyły miejscowym *curanderos* do praktyk leczniczych. Na uwagę zasługują okazy miejscowych roślin leczniczych oraz środków pochodzenia mineralnego.

MEDYCYNĄ TRADYCYJNA W REJONIE CHIVAY

Najbardziej widocznym przejawem medycyny tradycyjnej tego regionu są miejscowe targi, na których bez trudu można znaleźć różnorodne środki lecznicze używane przez miejscową ludność. Bazar w centrum Chivay może być najlepszym przykładem. Na stoisku z naturalnymi środkami leczniczymi można znaleźć leki pochodzenia roślinnego (zioła lecznicze, kwiaty, nasiona, owoce, kaktusy, środki halucynogenne, liście coca itd.), zwierzęcego (tłuszcze różnych zwierząt, kości, suszony płód lamy, kamienie żółciowe lub moczowe różnych zwierząt, ptasie pióra, pazury jaguara itp.), pochodzenia mineralnego (glinki, minerały, kamienie szlachetne lub półszlachetne używane przez *curanderos*) (Wasilewski 2008), czy różnorodne przedmioty o walorach magicznych. Te ostatnie posiadają wartość uzdrawiającą nie tyle ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne, ile ze względu na walory magiczne nadane im przez uzdrowiacza.

W Chivay oraz w innych pueblach, a także w Dolinie Wulkanów przeprowadzono szereg wywiadów z miejscowymi uzdrowiaczami (*curanderos*, szamani, *naturistas*) na temat funkcjonowania medycyny tradycyjnej i jej relacji z medycyną instytucjonalną.

Do najcenniejszych można zaliczyć wywiady pozyskane od 90-letniego *curandero* Felixa Caseres – specjalisty od składania ofiar Pachamamie (Matce Ziemi) i znacznie młodszego naturisty Juana Olivera Rodrigueza w Chivay, a posługującego się w leczeniu głównie roślinami leczniczymi i innymi środkami pochodzenia naturalnego. Cennych informacji dostarczył też wywiad od naturisty Nestora Castellón z Arequipy oraz od Dante Mufica Canales pełniącego funkcję prezesa Asociación de Naturistas de Peru (ANAP) i prezesa Centro de Investigación de Medicina Tradicional (CIMT) w Arequipie.

Asortyment miejscowych roślin leczniczych jest tu ograniczony ze względu na warunki klimatyczne oraz wysokość. Wiele produktów roślinnych uzdrowiacze sprowadzają z niżej położonych terenów, a nawet z regionu dżungli. Wśród miejscowych roślin leczniczych warto wymienić następujące (alfabetycznie):

- *Agave (Agave salminiana)* – liście stosuje się w leczeniu ran i ukąszeń, łagodzi bóle głowy;
- *Ayrampo (Opuntia soehrensii, Brittan & Rose)* – drobne nasiona w kolorze karminowym używane w dolegliwościach żołądkowych oraz w gorączce;
- *Chachacoma (Senecio eriophyton, Remy)* – napar z tej rośliny łagodzi objawy choroby górskiej „soroche”, łagodzi objawy nerwicowe;
- *Coca (Erythroxylon coca, L.)* – napar z liści coca lub tradycyjne żucie łagodzi uczucie zmęczenia, głodu i chłodu. Stosuje się również u zwierząt jucznych na dużych wysokościach;
- *Cuti wirwinchu, Cuti ibu, Cuti maivillu, Cuti margarita* – to rośliny używane w magicznej ceremonii przywracającej szczęście, powodzenie;
- *Espina colorada (Opuntia off. Boliviana)* – miazga używana jako środek przeciwbólowy (ból głowy, zębów, pourazowe);
- *Estrella del mar* – muszla używana w rytuale składania ofiary za odkrycie nowego źródła wody pitnej. W razie uporczywej suszy Indianie wynoszą dzban z wodą oraz żabę na szczyt góry i tam składają ofiarę Pachamamie. Najbliższy opad deszczu jest oznaką przyjęcia ofiary;

- *Flor de la Puna* (*Chaetanthera sphaeroidalis*) – podaje się do żucia w celu łagodzenia objawów choroby górskiej;
- *Flor de quisaura* – roślina o owłosionych brązowych pączkach używana w przeroście gruczołu krokowego (prostaty);
- *Pan* lub *suplico* – kolorowe krążki lub figurki wykonane z ciasta lub substancji żywicznych, używane w leczeniu El susto (choroba z przestachu); używane też podczas składania ofiar Ziemi;
- *Panchi* – zioło używane w stanach zapalnych przewodu pokarmowego;
- *Qaqa K`isu* – tzw. olej skalny stosowany w formie plastrów w leczeniu lumbago;
- *Quispiño* – mieszanka zawierająca rodzaj fasoli i wapienia stosowana w osteoporozie;
- *Sancayo* – owoc kaktusa używany na „oczyszczenie” nerek i wątroby;
- *Tuna* (*Opuntia ficus-indica*, L.) – opuncja, kaktus stosowany w leczeniu cukrzycy oraz w kosmetyce;
- *Uchicho* – liście tej krzaczastej rośliny, rozcierane w dłoni i nakładane na czoło, łagodzą ból głowy;
- *Wachanga* (*Euphorbia huanchahana*) – wyciąg z korzenia używany w leczeniu kamicy żółciowej oraz w robaczycach;
- *Waqrataya* – napar z tej rośliny stosuje się w leczeniu przewlekłego kaszlu;
- *Yarqueña* lub *Chirchircoma* – płatki kwiatów pomarańczy używane w zatruciach, w tym w leczeniu kaca alkoholowego.

Niestety nie udało się ustalić nazw botanicznych niektórych roślin. Na miejscowych bazarach, obok produktów żywnościowych, można spotkać różnorodne środki lecznicze pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, mineralnego oraz rozmaite amulety i talizmany. Według *curanderos* nie prowadzono badań naukowych nad właściwościami leczniczymi większości tych roślin.

Warto podkreślić, że ludowi uzdrowiacze mogą uzyskiwać oficjalne dyplomy uprawniające ich do świadczenia usług, zgodnie z nadanymi kompetencjami. W większych miejscowościach, jak Chivay, *curanderos* i szamani nie ukrywają swej działalności i wywieszają na swoich domach tablice o charakterze komercyjnym.

Wywiady uzyskane od miejscowych uzdrowiaczy zasługują na transkrypcję i oddzielne opublikowanie wraz z komentarzami. Nagrano 8 kaset, które pozostają do dyspozycji u autora opracowania.

Sumując można stwierdzić, że w prowincji Caylloma, podobnie jak w innych regionach Ameryki Łacińskiej, zwłaszcza w strefie andyjskiej oraz w Amazonii, istnieją dwa światy medycyny: medycyna tradycyjna (etnomedycyna) przekazywana z pokolenia na pokolenie i sięgająca korzeniami okresów prekolumbijskich oraz medycyna profesjonalna oparta na państwowym systemie organizacji, tj. na ośrodkach i punktach medycznych. Miejscowa ludność, zależnie od rodzaju i charakteru schorzeń, korzysta naprzemiennie lub równoległe z usług jednego i drugiego systemu. Ani jeden, ani drugi system nie jest w stanie zaspokoić rzeczywistych potrzeb miejscowej ludności. Świadczenia miejscowych uzdrowiaczy cieszą się większą popularnością, gdyż są łatwiej dostępne, tańsze i trafiają w swoisty system wierzeń i przesądów związanych zarówno z koncepcjami zdrowia i choroby, jak i sięgają do naturalnych środków leczniczych, głównie pochodzenia roślinnego.

Udostępnienie prowincji Caylloma, a zwłaszcza spopularyzowanie Kanionu Colca i masowy napływ turystów zagranicznych stwarza pilną konieczność rozwoju i poszerzenia świadczeń ze strony oficjalnej służby zdrowia. Dotyczy to nie tylko opieki podstawowej, ale również specjalistycznej.

LITERATURA

- Baldárrago E., 2007. Turismo y desarrollo económico local: el caso del Cañón del Colca en la provincia de Caylloma, Arequipa. CIES & UNSA. Arequipa (<http://cies.org.pe>).
- Córdova H., 2000. Turismo y sustentabilidad en el Valle del Colca. Ambiente y Sociedad en los Andes: Políticas y Estrategias (proyecto financiado por la Unión Europea).
- Diagnóstico 2006. Diagnostico de la Provincia Caylloma. Municipalidad Chivay.
- Krzak M., 2005. Ruch turystyczny w rejonie Arequipy i możliwości jego rozwoju w Dolinie Wulkanów (prowincja Castilla) w południowym Peru. *Geoturystyka*, 2, 3–22.
- Majcherczyk J., 2001. *Zdobycie Rio Colca Najgłębszego Kanionu na Ziemi*. Wyd. II uzupełnione i poprawione. Wydawnictwo AA s.c., Kraków, 263.
- Majcherczyk J., Piętowski A. & Chmieliński P., 1981. *In kayak through Peru*. Whitewater guide. Canoandes & Embajada de Viajero. Lima, 139.
- Mujica E. & De La Vera Cruz P., 1999. El Valle del Colca: Un paisaje cultural dinámico en el sur del Perú. In: Mujica E. (ed.) Paisajes culturales en los Andes, 149–168, UNESCO & CONDESAN, Arequipa (www.condesan.org/unesco/paisajes_culturales_andes.htm).
- Radwanek-Bąk B., 2008. Atrakcje geoturystyczne kanionu Rio Colca i jego otoczenia. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, 2/1, 173–192.
- Reinhard J., 1999. Zakłete w lodzie. *National Geographic Polska*, 11, 66.
- Reinhard J. & Ceruti M.C., 2000. Investigaciones arqueológicas en el Volcan Lulluillaco: Complejo ceremonial incaico de alta montaña. Ed. de la Univ. Católica de Salta. Salta.
- Ryn Z., 1978. Sanktuaria na szczytach Andów. *Z archeologii przedkolumbijskiej*. *Wierchy*, 46, 37–64.
- Ryn Z., 1980. W Andach nazywa się soroche. *Wierchy*, 47, 100–115.
- Ryn Z. (red.), 2002. Medycyna tradycyjna w Ameryce. *Sztuka leczenia*, 4, 254.
- Ryn Z., 2007. *Medycyna indiańska*. Wydawnictwo Literackie, Kraków, 1–470.
- Wasilewski M., 2008. Mineralne leki w Chivay i Dolinie Colca (południowe Peru). *Kwartalnik AGH Geologia*, 43, 2/1, 223–242.

Summary

Chapter presents the results of the field investigations conducted in 2006 in Colca Canyon Region (Caylloma, Peru) on the conventional and traditional medicine (ethnomedicine). Author received information from the local medical services and realized the field observations including the interviews with local healers (*curanderos*). A valuable source were anthropological-medical collections in local museums, especially so called Andean mummies and proper excavations of the pre-Columbian tombs.

Region of Callyoma is inhabited by descendents of native groups Collaguas and Cabanas from the preincaic times. Local population created a specific culture and art based on the

tradition, believes and formulated original concepts of health and disease. The main feature of this concept is a link between health-disease and the holistic perspective of the human being in the universe. Ethnomedicine has a close relation to religion and magic.

The health situation of the inhabitants depends on the environmental conditions, including high altitudes, hypoalimantation and low sanitary conditions. The mortality index is higher than national level. In the epidemiology of diseases predominate problems of hypoalimantation, infectious diseases, anemia, degenerative and mental disturbances. There is high suicidal index.

Ancient system of the traditional medicine conducted by the native healers (*curanderos*) and shamans is working till now in this region. Usually they occupy a high social position. During centuries they have elaborated a specific classification of the diseases and original methods of treatment. In the treatment they used a medicinal plants, animal and mineral products, as well as different talismans and amulets. A therapeutic value of the talismans results from magic power introduced by healer.

So called Andean mummies discovered in the sanctuaries situated at high altitudes disclose extraordinary value for the investigations on the health condition of the first inhabitants of the region. The human victims were sacrificed because of the ritual and religious motives. Modern clinical tests are useful in the reconstruction of the anthropological characteristics and the health condition. Detailed description of the mummy "Juanita" explored at the volcano Ampato, close to Arequipa, is given. DNA test confirmed links with Asiatic tribes.

Near to Chivay, over the indigenous village Coporaque, a pre-Columbian grave in the natural cave containing many human skeletons and cranes with characteristic Incaic deformations was discovered. *Apachetas*, i.e. stone pyramidal constructions at the mountain tops and important passes, served as offerings to gods dedicated to avoid cataclysm or disease.

In the Caylloma district, like in other regions of the Latin America, there exist two systems of medicine: traditional medicine (ethnomedicine) transmitted by the generations and professional medicine. Local population, according to nature of sufferings, takes part alternatively or simultaneously in the first or second services. Both systems are insufficient and are not able to respond to real expectations of the inhabitants. Services of the healers (*curanderos*) are more popular because of easier access, lower costs and cultural links with ethnic vision of the universe as well as existing health-disease concept.

The massive growth of the national and international tourism in the Caylloma district, especially in the Rio Colca Canyon, causes a necessity of developing professional medical services, both basic and specialist, among other against altitude sickness.

MINERALNE LEKI W CHIVAY I DOLINIE COLCA (POŁUDNIOWE PERU)

Mineral medicines in Chivay and Colca Valley (Southern Peru)

Michał WASILEWSKI

*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: mikewas.pl@gmail.com*

Treść: Wykorzystanie wielu substancji naturalnych w lecznictwie tradycyjnym (nieakademickim) nie jest pozbawione podstaw racjonalnych. Dowodzą tego zarówno teksty źródłowe, jak również obserwacje terenowe i badania laboratoryjne. Doskonałym dowodem na zasadność takiej tezy może być analiza kilku leków mineralnych stosowanych w medycynie tradycyjnej południowego Peru (departament Arequipa, prowincja Cailloma, Dolina Colca). Znalazły się wśród nich lekarstwa nazywane: *cha'qo*, *qollpa*, *condor qallta*, *qarachunta*, *qollpa transparente*. Według współczesnego nazewnictwa mineralogicznego są to m.in.: smektyty, halotrichit, alun i pokrewne, chalcedon, aragonit, gips. Zestawienie składu mineralnego badanych leków z własnościami leczniczymi, które się im przypisuje, prowadzi do wniosku, że zastosowania owe są w dużej mierze zasadne. Powyższa konstatacja wsparta jest również badaniami porównawczymi leków z innych obszarów (np. Europy, czy Afryki). Można pokusić się o stwierdzenie, że ocena skuteczności i celowości stosowania leków tradycyjnych, oraz eliminowanie środków szkodliwych, może przyczynić się do polepszenia stanu zdrowia ludności, na obszarach i w społecznościach, gdzie medycyna akademicka jest nieobecna lub z wielu względów słabo dostępna. Takie postępowanie byłoby zgodne z postulatem WHO „health by the people for the people”.

Słowa kluczowe: etnofarmacja, minerały lecznicze, litoterapia, Peru, Arequipa

Abstract: Using various natural substances in traditional medicine is founded on rational basis. Written sources, fieldworks and laboratory investigation provide here incontrovertible evidence. Analysis of nine mineralogical remedies used in a traditional health care in the south of Peru (Department of Arequipa, Cailloma Province, Colca Valley) give one more strong proof for this hypothesis. Discussed drugs known as *cha'qo*, *qollpa*, *condor qallta*, *qarachunta*, *qollpa transparente* according to contemporary mineralogical science can be identified as: smectites, halotrichite, potassium-alum, chalcedone, aragonite, gypsum. Juxtaposition of mineralogical composition of analyzed remedies and their ascribed therapeutic values reveals their legitimate application. Comparative analysis of mineralogical drugs from other, often remote, places such as Europe or Africa confirm the aforementioned fact. Scientific evaluation of traditional remedies of mineralogical origin in terms of their effectiveness and purposefulness as well as eliminating harmful substances may contribute to improvement of the local health care in those places and societies where contemporary medicine remains unknown or inaccessible to the majority of the people. This would be in accordance with the WHO's postulate: “health by the people for the people”.

Key words: ethnopharmacy, therapeutic values of minerals, lithotherapy, Peru, Arequipa

WSTĘP

Ameryka Południowa, w tym tereny Republiki Peru, należą do rejonów, w których tzw. medycyna akademicka, czyli system leczenia stosowany dziś w Europie i Ameryce Północnej, nie ma wielu pacjentów. Sytuacja ta wynika między innymi z przyczyn ekonomicznych – poziom dochodów miejscowej ludności jest niewspółmiernie niski w porównaniu z kosztami zabiegów i lekarstw oferowanych przez oficjalną służbę zdrowia. Na popularność tradycyjnych systemów leczniczych wpływa również duży konserwatyzm rdzennej ludności. Jednocześnie trudne warunki środowiskowe, niedożywienie i liczne choroby endemiczne zmuszają do częstego uciekania się do środków leczniczych. Te przyczyny leżą u źródeł silnej pozycji tzw. *curanderos* czyli znachorów–uzdrowiaczy. Ludzie ci, zarówno kobiety jak i mężczyźni, opierając swoją wiedzę i postępowanie na przekazywanej ustnie tradycji i elementach akademickiego systemu leczniczego, oferują relatywnie tanie i często zadziwiająco skuteczne kuracje. Większość z nich bazuje na substancjach roślinnych (na przykład coraz szerzej znane w świecie leczenie amazońskie), ale niektóre wykorzystują również leki nieorganiczne – mineralne. Ponieważ medycyna tego rodzaju staje się coraz bardziej popularna również w Europie i Ameryce Północnej, a brak jest opracowań dotyczących jej aspektu mineralogicznego, postanowiono zrealizować w Dolinie Colca projekt częściowo zapełniający tę lukę. Badania były elementem polskiego projektu naukowego Ekspedycja Dolina Wulkanów–Kanyon Colca 2006.

PRACE TERENOWE I METODY

Badania terenowe koncentrowały się głównie w rejonie miejscowości Chivay, nieformalnej stolicy Doliny Colca. Wszystkie leki pochodziły z odkrywek zlokalizowanych w okolicznych górach. Zbieraniu próbek w terenie towarzyszyły wywiady prowadzone zarówno z mieszkańcami (użytkownikami), jak też z samymi *curanderos* (uzdrowiaczami). Każdy środek został opisany nazwą miejscową, spisane zostały również wszelkie schorzenia, których leczenie mu przypisywano. Zebrane informacje obejmowały także sposób jego ordynacji (w tym dawkę) i ewentualne niebezpieczeństwa lub zastrzeżenia, co do jego stosowania. Niestety niemal za każdym razem próby badania historii leku ograniczały się do stwierdzenia, że jest on *muy viejo* („bardzo stary”) i stosowany był *siempre* („od zawsze”).

Głównym celem przeprowadzonych badań mineralogicznych było określenie składu mineralnego pozyskanych leków. Z tej właśnie przyczyny oparto się w pierwszej kolejności na rozpoznaniu makroskopowym i analizach rentgenograficznych (dyfrakcji RTG), nie stosując bardziej skomplikowanych metod instrumentalnych. Badania wykonywano za pomocą dyfraktometru Philips Xpert APD, z użyciem lampy Cu, na próbkach sproszkowanych. Wyniki opracowano w oparciu o komputerowy program do interpretacji widm rentgenowskich – XRAYAN. W przypadku leków niemożliwych do zidentyfikowania powyższymi metodami zastosowano instrumentalną analizę chemiczną. Użyto do tego celu mikroskopu skaningowego JEOL JSM-5400, z przystawką EDX umożliwiającą określenie składu pierwiastkowego. Próbkę napyłone węglem najpierw analizowano zgrubnie (tzw. uśredniona analiza składu), a następnie szczegółowo (15–20-punktowych analiz chemicznych), w celu rozpoznania ziarn

różnych minerałów i różnic w ich pierwiastkowej kompozycji. Tego typu badania przeprowadzono m.in. w odniesieniu do glin, czyli leku typu *cha'go*. Było to podyktowane faktem stwierdzenia przez innych badaczy pewnych ilości, nieobojętnych dla zdrowia człowieka, pierwiastków akcesorycznych w tego typu środkach.

OBSERWACJE

Lekiem, wedle peruwiańskich *curanderos*, stosowanym stosunkowo rzadko jest minerał nazywany *qollpa*, co w języku *quechua* znaczy po prostu „sól, solny”. Jest to minerał o barwie białej, przechodzącej w zielonkawą lub rdzawą, występujący w skupieniach igiełkowych i włóknistych, czasem spłśnionych lub zbitych (Fig. 1). Rysa minerału jest biała, lekko różowa. Kryształy mają połysk jedwabisty, są przezroczyste do przeświecających, o twardości w granicach 1.5–2 w skali Mohsa. Zarówno obserwowane cechy makroskopowe, jak też badania RTG wskazują, że są to siarczany z grupy halotrichitu ($\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), z niewielkimi domieszkami innych siarczanów, (np. alunogenu ($\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$))(Fig. 2A). Analizy chemiczne EDX pozwoliły dodatkowo ustalić, że dominującym minerałem jest siarczan zawierający żelazo i glin, przy niemal zupełnym braku innych minerałów z jego szeregu (Fig. 2B). Zawartość potasu w próbce może być związana z obecnością alunu ($\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) i/lub minerałów pokrewnych (tj. goldichit i krausyt), które często współwystępują z wyżej wymienionymi.



Fig. 1. Peruwiański lek, nazywany *qollpa*, czyli minerały grupy halotrichitu

Fig. 1. Peruvian medicament, called *qollpa*, composed of the minerals of halotrichite type

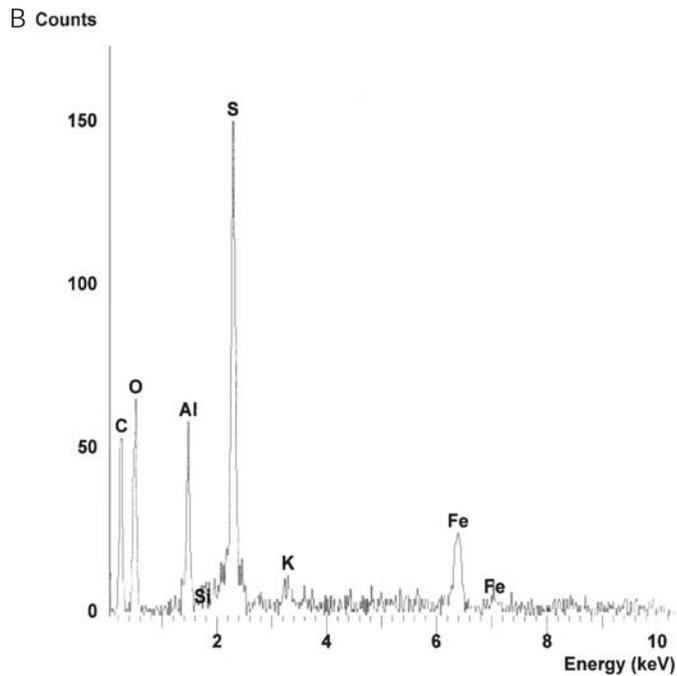
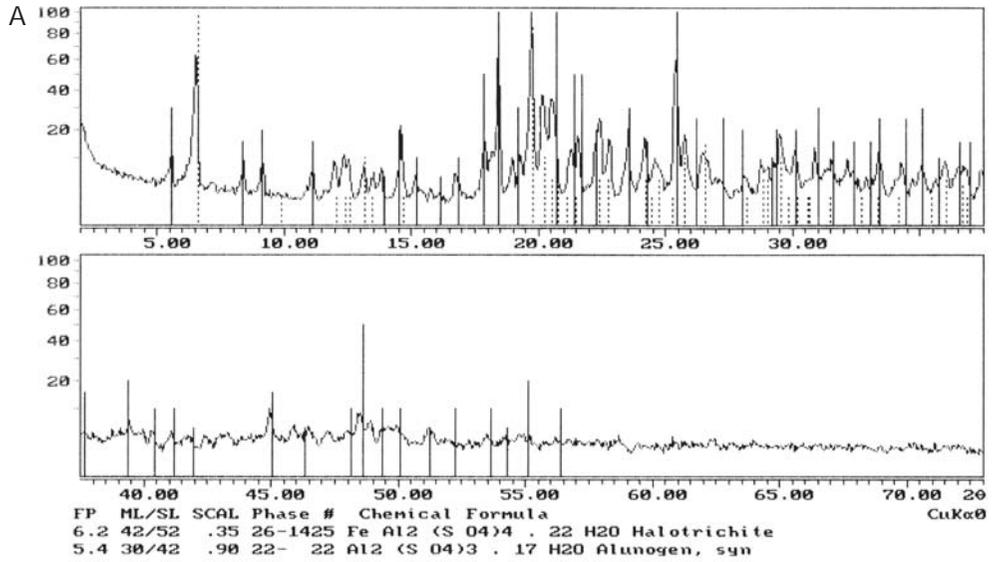


Fig. 2. A – Dyfraktogram RTG próbki *qollpa*: minerały grupy halotrichitu, alunogen (omówienie w tekście); B – wyniki analizy EDX próbki *qollpa* (omówienie w tekście)

Fig. 2. A – RTG diffractogram of the *qollpa* sample: minerals of halotrichite, alunogen (description in the text); B – The results of EDX analysis of *qollpa* sample (description in the text)

Zastosowanie tego środka skupia się na próbach leczenia zmian skórnych, szczególnie dolegliwych i niepoddających się innym kuracjom. Te niezwykle ograniczenia, wynikają z faktu, iż uważa się go za *peligroso* (niebezpieczny). Wspomniane minerały (halotrichit, ałun, alunogen) są dobrze rozpuszczalne w wodzie i mogą na powierzchni skóry ulegać rozkładowi, uwalniając jony Fe^{2+} , K^+ , a także anion SO_4^{2-} . Ze względu na słabe rozpowszechnienie tego rodzaju minerałów, nie spotykamy ich często w innych farmakopeach ludowych.

W górach Peru stosuje się również inny lek nazywany *qollpa*. Jest to mieszanina kilku minerałów, skała o barwie grafitowoszarej z białymi plamkami, po sproszkowaniu szara (Fig. 3). Cechy makroskopowe nie pozwoliły jednoznacznie określić składu próbki. Badania RTG, potwierdzone analizą EDX, wskazały natomiast, że w składzie dominują: piryt, kwarc i siarczan typu ałunitu ($\text{KAl}_3[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)_2]$) (Fig. 4A). Być może w składzie znajdują się także niewielkie ilości innych siarczanów typu ałunu sodowego ($\text{NaAl}[(\text{SO}_4)_2] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) i mendozytu ($\text{NaAl}[(\text{SO}_4)_2] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), na co wskazuje pewna zawartość sodu (Fig. 4B). Pomimo, że jest to środek makroskopowo zupełnie odmienny od poprzedniego (jak zaznaczono również nazywanego *qollpa*), to najprawdopodobniej o jego stosowaniu w leczeniu zranień również decydowała zawartość jonów żelaza i potasu. Warto zwrócić bowiem uwagę, że oba leki *qollpa* są do siebie bardzo zbliżone pod względem chemicznym. Ten przykład utwierdza nas w przekonaniu o zaawansowanej wiedzy praktycznej rdzennych mieszkańców Andów.



Fig. 3. Peruwiański lek, nazywany *qollpa*, mineralogicznie piryt, kwarc, siarczan

Fig. 3. Peruvian medicament, called *qollpa*, composed of pyrite, quartz, sulphates

Jak wskazują wywiady terenowe jako środek odkażający stosowany jest w Peru, ale też w Boliwii i Chile, lek zwany *azufre*, czyli po prostu siarka. Substancja ta nie była jednak poddana bliższym badaniom, bowiem z reguły nie jest pochodzenia naturalnego. Na marginesie dodajmy, że takie zastosowania notuje się powszechnie także w innych częściach świata.

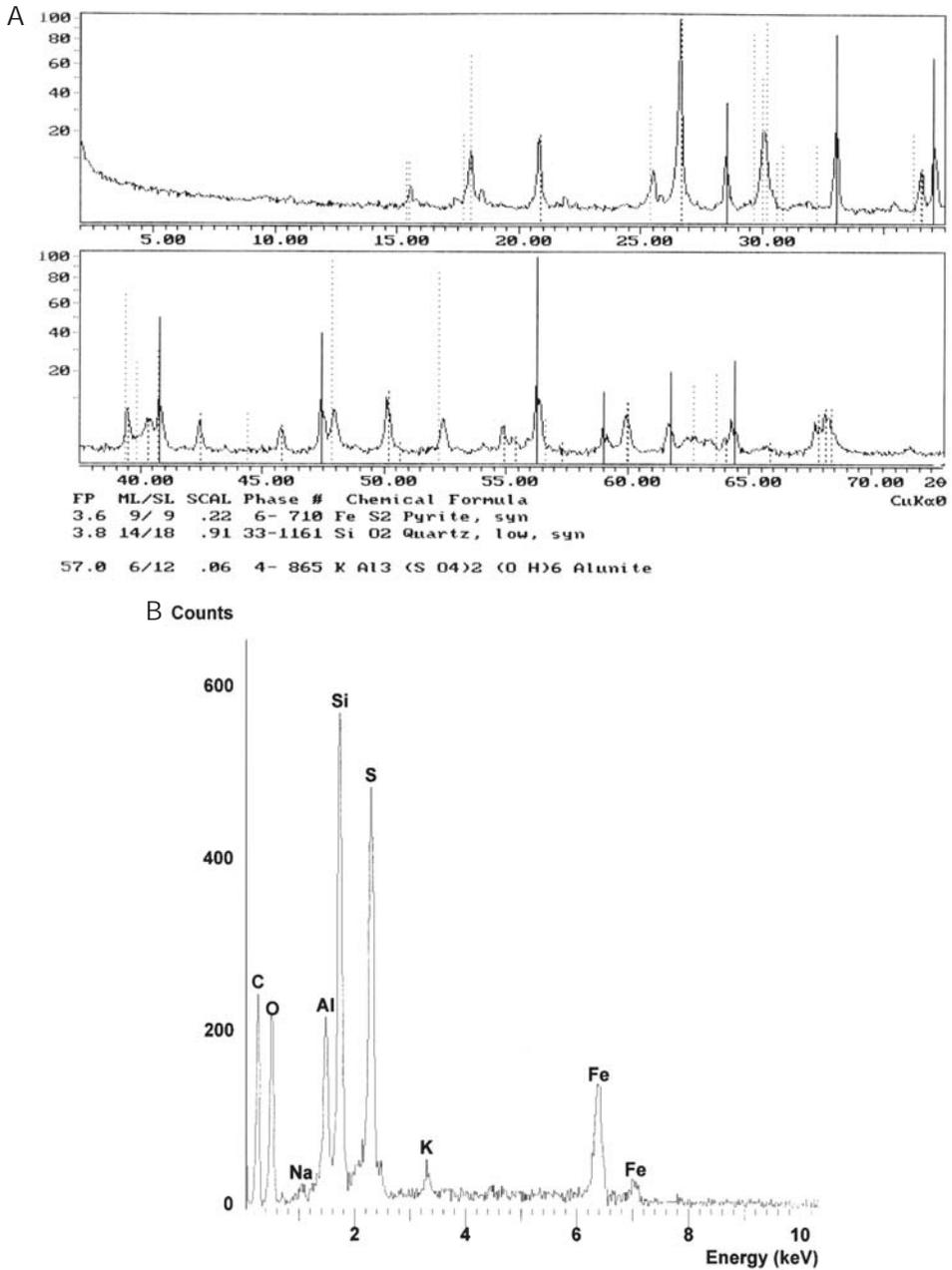


Fig. 4. A – Dyfraktogram RTG próbki *gollpa*: piryt, kwarc, siarczany (omówienie w tekście); B – Wyniki analizy EDX próbki *gollpa* (omówienie w tekście)

Fig. 4. A – RTG diffractogram of the *gollpa* sample: pyrite, quartz, sulphates (description in the text); B – The results of EDX analysis of *gollpa* sample (description in the text)

Innym bardzo popularnym lekiem jest *cha'go* lub *chajo*. Stosuje się go właściwie na całym terytorium Peru. Zazwyczaj informatorzy twierdzili, że lek pochodzi z południa kraju, czyli z okolic Puno–Sillustani. Twierdzili także, że występują tam najlepsze jego odmiany. Preparat sprzedawany jest najczęściej w formie suchych kostek gliny o barwie od jasnoszarej do żółtawej i żółto-zielonkawej (Fig. 5).

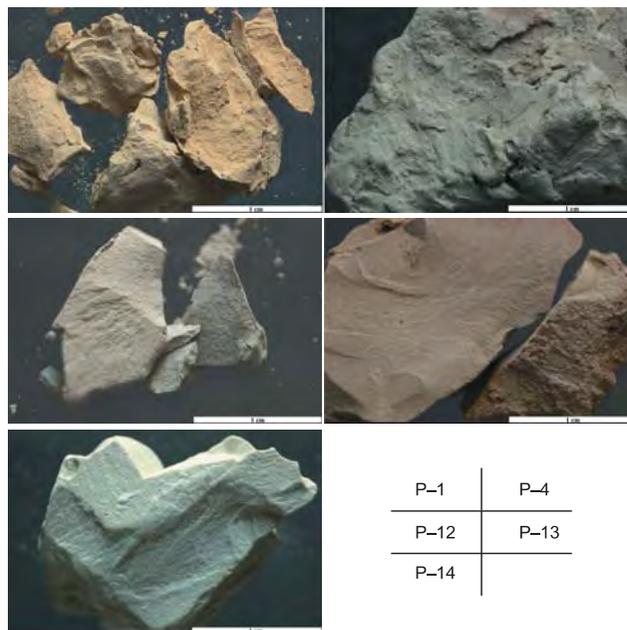


Fig. 5. Próbkki peruwiańskiego leku, nazywanego *cha'go*, mineralogicznie głównie smektyty, kwarc, skalenie Ca-Na, muskowit. Symbole P-1, P-4, P-12, P-13, P-14 to terenowa numeracja identyfikacyjna, pominięta w tekście, użyta przy nawiązaniu figur 6A–E do zdjęcia.

Fig. 5. Samples of Peruvian medicament, called *cha'go*, composed mostly of smectites, quartz, Ca-Na feldspars, muscovite. P-1, P-4, P-12, P-13, P-14 symbols refer to terrain identification (they are not used in this text), and are used in 6A–E description referring to this photograph

Na podstawie badań rentgenograficznych rozpoznano w próbkach przede wszystkim smektyty (beidellit, montmorilonit), kwarc, muskowit, K-skalenie oraz skalenie Ca-Na, czasem występuje w nich illit (Fig. 6A–E). Wydaje się, że wszystkie próbki są niezwykle czyste pod względem zawartości metali ciężkich i innych domieszek niebezpiecznych dla organizmu. Jednak osiągnięcie pewności w tej kwestii wymaga dalszych badań. Konstatacja ta jest bardzo istotna z punktu widzenia wartości medycznej *cha'go*. Recepty wszędzie są jednakowe i polecają spożycie leku albo w formie zawiesiny wodnej, albo po rozprowadzeniu w papce ziemniaczanej. Środek ten stosuje się przede wszystkim przy zapaleniu żołądka, wrzodach, niemytach i innych bólach (np. na tle czynnościowym).

Zebrano także leki, których zastosowania można sklasyfikować jako magiczne. Przedstawione tu środki udokumentowano niejako przy okazji, ze względów poznawczych nie odrzucając oferowanych przez *curanderos* leków, które wedle ich przekonań i sposobu postrzegania świata również służą leczeniu człowieka.

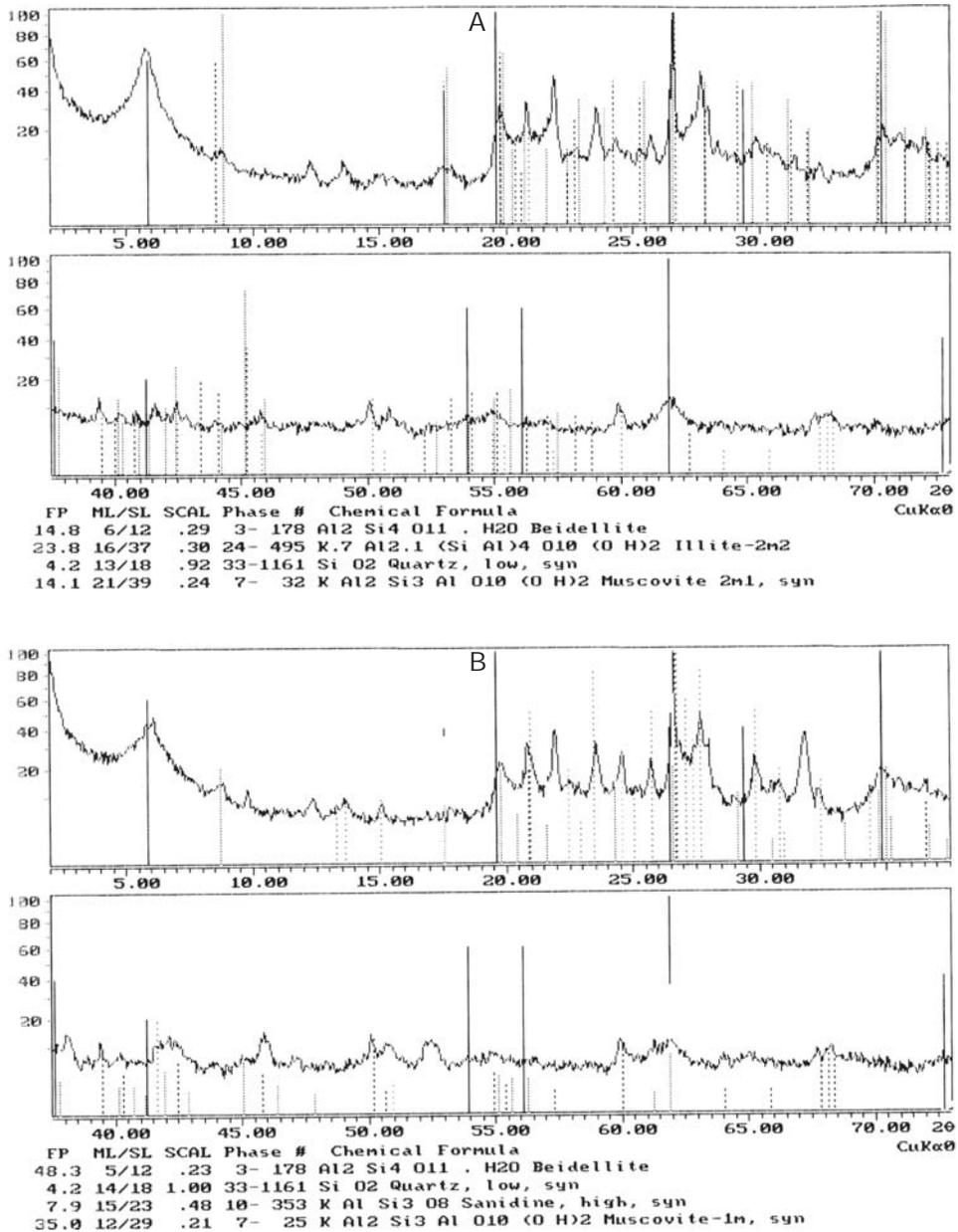


Fig. 6A–B. Dyfraktogramy RTG próbek *cha'go*: smektyty, illit, kwarc, muskowitz, skalenie Ca-Na (omówienie w tekście). Dyfraktogramy odnoszą się do próbek przedstawionych na figurze 5 w sposób następujący: 6A – P-1; 6B – P-4

Fig. 6A–B. RTG diffractograms of the *cha'go* sample: smectite, illite, quartz, muscovite, Ca-Na feldspars (description in the text). The diffractograms refer to the samples from Fig. 5: 6A – P-1; 6B – P-4

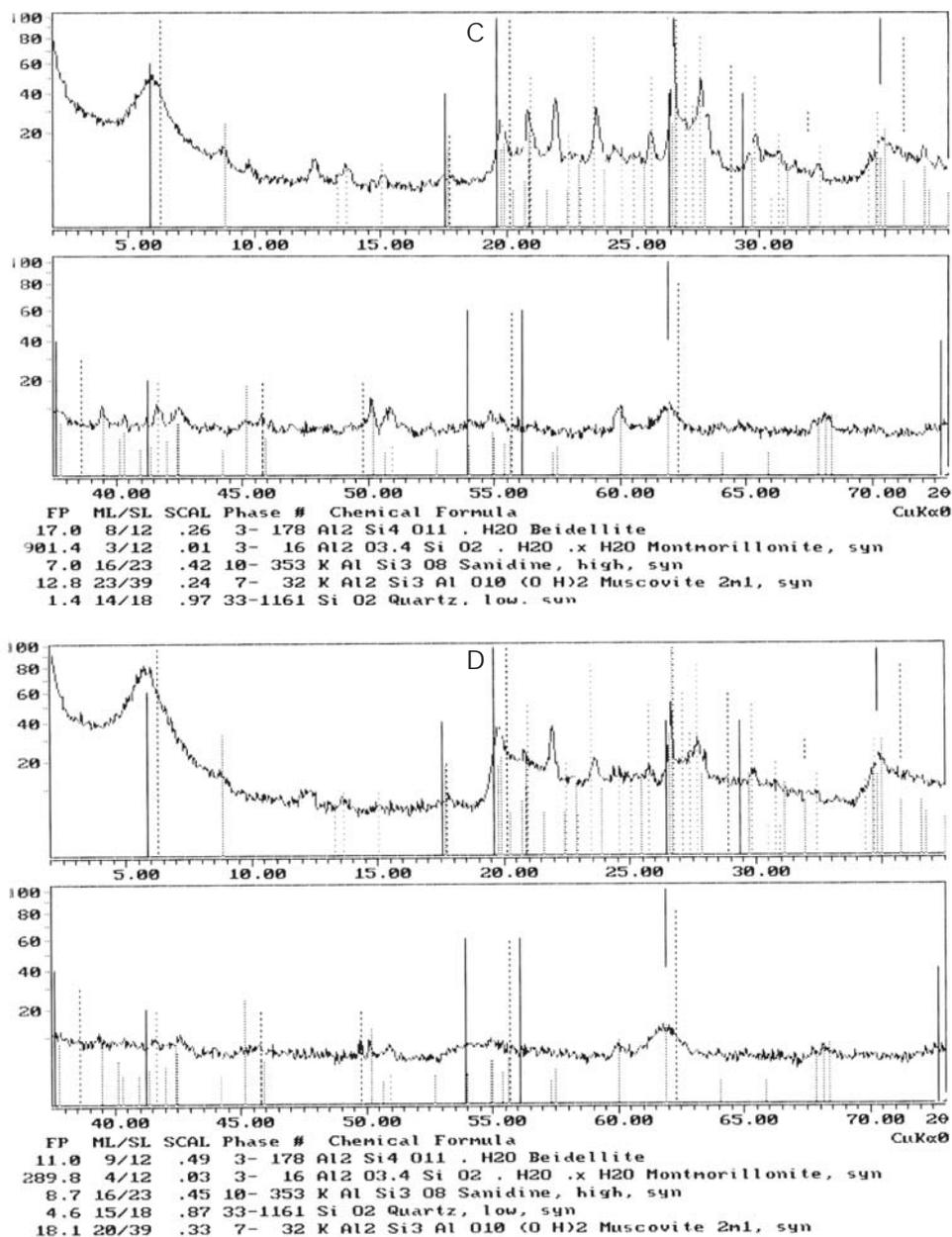


Fig. 6C–D. Dyfraktogramy RTG próbek *cha'go*: smektyty, illit, kwarc, muskowit, skalenie Ca-Na (omówienie w tekście). Dyfraktogramy odnoszą się do próbek przedstawionych na figurze 5 w sposób następujący: 6C – P12; 6D – P13

Fig. 6C–D. RTG diffractograms of the *cha'go* sample: smectite, illite, quartz, muscovite, Ca-Na feldspars (description in the text). The diffractograms refer to the samples from Fig. 5: 6C – P12; 6D – P13

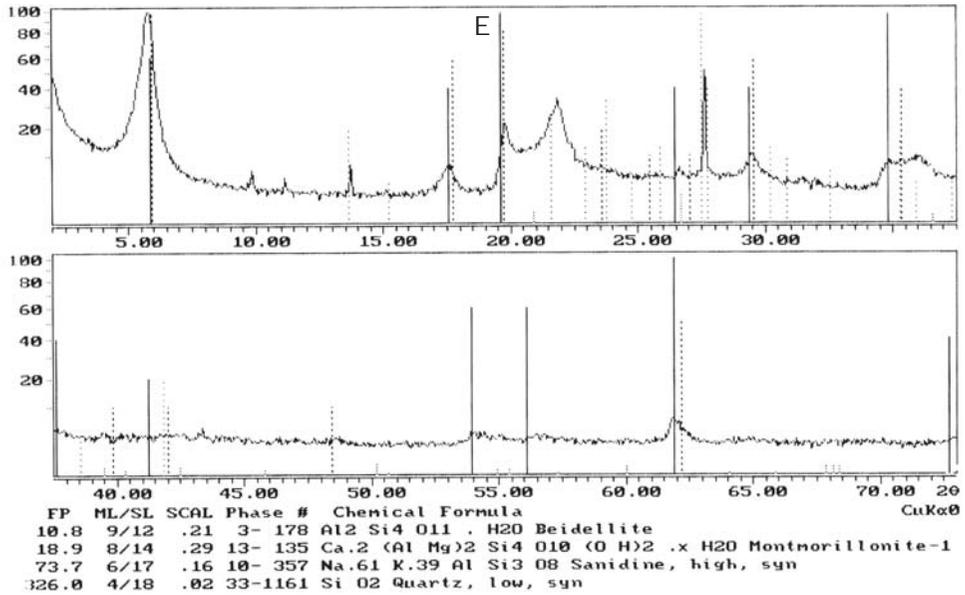


Fig. 6E. Dyfraktogramy RTG próbek *cha'qo*: smektyty, illit, kwarc, muskowit, skalenie Ca-Na (omówienie w tekście). Dyfraktogramy odnoszą się do próbek przedstawionych na figurze 5 w sposób następujący: 6E – P14

Fig. 6E. RTG diffractograms of the *cha'qo* sample: smectite, illite, quartz, muscovite, Ca-Na feldspars (description in the text). The diffractograms refer to the samples from Fig. 5: 6E – P14

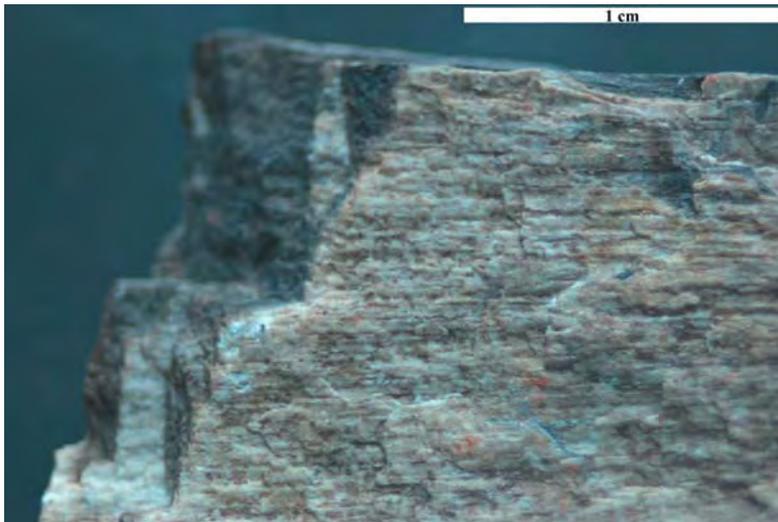


Fig. 7. Peruwiański lek, zwany *quarachunta*, mineralogicznie chalcedon

Fig. 7. Peruvian medicament, called *quarachunta*, which is identified as chalcedony

Pierwsze dwa środki lecznicze noszą tę samą nazwę: *qarachunta*, co w języku *quechua* znaczy „kora drzewa *chunta*”. *Chunta paqpa* lub *cabuya*, to lokalna nazwa agawy z gatunku *Fourcroya andina* (rodzina agawowate – *Agavaceae*). Roślina ta, osiągająca dość spore rozmiary, występuje w Andach, w strefie 2000–3700 m n.p.m. Od czasów przedinkaskich otrzymywano z jej liści, podobnie jak z innych gatunków agaw, włókna tekstylne służące do wyrobu lin, sandałów i ubiorów. Pomimo takiej samej nazwy są to jednak minerały odmienne. Pierwszy z nich jest nieprzezroczysty, kremowo-szaro-czarny, o wyraźnej warstwowej budowie i beżowej rysie (Fig. 7). Analizowana próbka ma oddzielność wedle widocznych makroskopowo warstw, twardość w granicach 6 w skali Mohsa i jest krucha. Drugi minerał ma natomiast barwę białą i taką samą rysę, twardość około 3.5 w skali Mohsa, jest przeświecający, połysk ma szklisty i perłowy (Fig. 8). Opisywany egzemplarz tworzy wyraźnie warstwowane skupienie kryształów igiełkowych, włóknistych (skupienie promieniste), jest kruchy i burzy z kwasem solnym. Badania RTG pokazują, że w pierwszym przypadku mamy do czynienia z kwarcem, a raczej jego drobnokrystaliczną odmianą – chalcedonem (być może z domieszkami materii organicznej); drugi minerał to aragonit.



Fig. 8. Peruwiański lek, zwany *quarachunta*, mineralogicznie aragonit

Fig. 8. Peruvian medicament, called *quarachunta*, which is identified as aragonite

Obu środków używa się w leczeniu choroby określanej w języku *quechua* *huairashca*, czyli *mal viento* (hiszp. „złe powietrze”, „zły oddech”). Jest to choroba o nie wyjaśnionej do końca etiologii. Opisywana najczęściej jako jednostronny paraliż mięśni twarzy, połączony z bólami i zawrotami głowy oraz wymiotami. Jej przyczyny upatruje się albo w nagłym przejściu z miejsca zacienionego i zimnego w słoneczne i ciepłe (i na odwrót), w podmuchu zimnego wiatru, albo też gwałtownej zmianie pozycji (kucnięciu, powstaniu) lub wreszcie w przepracowaniu. Bardzo istotne są także możliwe przyczyny duchowo-społeczne: spotkanie, konflikt, obrażenie duchów zmarłych lub przekroczenie jakiegoś tabu, bądź złamanie zasad współżycia społecznego. Istnieją podejrzenia, że przypadłość ta, dość często opisywana w spo-

leczeńiach andyjskich, ma podłoże psychosomatyczne. W celu wyleczenia chorego uzdra-
wiacze pocierają jego twarz kamieniem (przesuwając go za każdym razem w tę samą stronę),
który następnie wyrzucają (najczęściej do rzeki). Zabiegowi towarzyszy skomplikowany ry-
tuał słowno-gestykulacyjny.

Inny środek z tej grupy – *condor qallta* (quechua – gniazdo(?), początek(?) kondora), to
żółtawy, miękki konglomerat materii organicznej i drobin mineralnych. Lek ten charakteryzu-
je silny, alkaliczny zapach mocznika; substancja po roztrzcieniu jest żółtawa (Fig. 9). Widoczne
na zdjęciu włókna to niestrawione resztki organiczne. Na podstawie analizy dyfraktogramów
rentgenowskich można stwierdzić, że jest to najprawdopodobniej mieszanina rzadkich fosfo-
ranów i siarczanów, wchodzących w skład guana. Nie jest to jednak minerał w rozumieniu
nauk geologicznych, bowiem nie jest to faza krystaliczna powstała w wyniku procesów geo-
logicznych lub kosmologicznych. Proszek uzyskany z *condor qallta* stosuje się jako lek „ostat-
niej szansy”. Naciera się nim ciało chorego, któremu nic innego nie pomaga. Podobno daje on
siłę ptaka, z którego gniazda pochodzi, do walki z chorobą (i przede wszystkim powodujący-
mi ją złymi mocami).



Fig. 9. Peruwiański lek, zwany *condor qallta*, czyli *guano* (zawierające głównie rzadkie fosforany i siarczany)

Fig. 9. Peruvian medicament, called *condor qallta*, which is identified as *guano*

Ostatni minerał o magicznym znaczeniu to *qollpa transparente*, czyli „przejrzysta sól”.
Są to zupełnie przezroczyste kryształy o białej rysie, bardzo niskiej twardości (2 w skali Moh-
sa), doskonałej łupliwości (dzieli się na giętkie, cienkie blaszki) i szklistym połysku (Fig. 10).
Z punktu widzenia mineralogii jest to gips, niezawierający najprawdopodobniej żadnych do-
mieszek. Analizowany kryształ ma formę niewielkiej (2.5 × 3.5 cm) przezroczystej tabliczki,
która to forma jest czasem nazywana „szkłem Marii”. Tego typu kryształy znajdują, według
informerów, zastosowanie w rytuałach rozpoznania i wypędzenia choroby. Te ceremonie,
dość ciekawe z punktu widzenia antropologii, nazywane były podczas wywiadu terenowego,
towarzyszącego pozyskaniu leków: *misas negras* (hiszp. „czarne msze”). Wedle relacji jednej

z uzdrowiaczek, prowadzący (*curandero*) wodzi minerałem ponad ciałem leżącego, nagiego chorego, szukając miejsc lub miejsca, w którym choroba jest najmocniej wyczuwalna. Znalazszy ten punkt dotyka go lub nawet masuje, za pomocą trzymanego w dłoni kryształu. Zaraz potem użyty „lek” musi wyrzucić jak najdalej od miejsca obrzędu i jego uczestników, znów jak poprzednio najlepiej do rzeki. Pomimo wielu pytań, nie udało się jasno stwierdzić na jakiej podstawie uzdrowiacz wie, który punkt jest właściwy do przeprowadzenia ostatecznego zabiegu. Można jednak przypuszczać, że w samym mineralu nie zachodzą żadne widoczne zmiany. Prawdopodobnie *curandero* korzysta w trakcie ceremonii zarówno z wiedzy pozyskanej od samego chorego na temat charakteru jego dolegliwości, jak też z własnego doświadczenia.

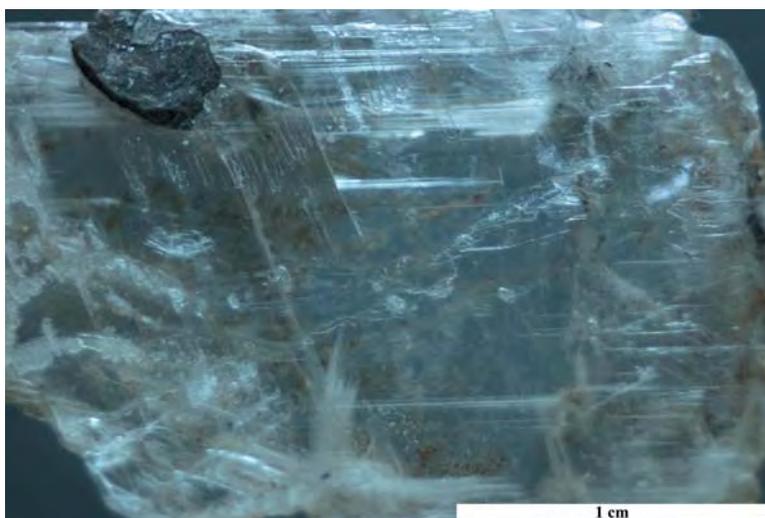


Fig. 10. Peruwiański lek, zwany *qollpa transparente*, mineralogicznie gips

Fig. 10. Peruvian medicament, called *qollpa transparente*, which is identified as gypsum

IMPLIKACJE MEDYCZNE

Wśród kilku leków opisanych powyżej możemy wyróżnić trzy kategorie. Leki odkażające stosowane zewnętrznie (*qollpa, azufre*), lek stosowania wewnętrznego (*cha 'go*) i „leki” magiczne (*qarachunta, condor qallta, qollpa transparente*). Analizując przyczyny ich skuteczności, o której zapewniali zarówno znachorzy jak i pacjenci, zwrócono szczególną uwagę na kompozycję pierwiastkową poszczególnych środków i ich właściwości fizykochemiczne, jednak badania te wymagają bez wątpienia kontynuacji.

Ałun, alunogen, ałunit, halotrichit, piryt i siarka są skuteczne najpewniej dzięki obecności jonów siarki (i jonów siarczanowych), żelaza oraz silnie reaktywnego potasu. Być może np. ałun powoduje obniżenie pH i koagulację cząstek związków zanieczyszczających ranę (w tym również bakterii i innych form żywych) uniemożliwiając lub utrudniając ich wzrost, a ułatwiając ich usunięcie z powierzchni rany (byłoby to analogiczne do zjawisk zachodzą-

cych przy odkażaniu wody). Uważa się, że ałun działa najlepiej w środowisku o pH 5.5–6.0, czyli zbliżonym do naturalnego odczynu skóry. Fakty te mogą tłumaczyć jego dość powszechne użycie jako środka dezynfekującego (używanie go dopuszczają zresztą niektóre farmakopee zachodnie; zob. np. *FDA Cosmetology Administrative Rules: 83.111 i 83.112. Health and Safety Standards, March 1, 2006, 31 TexReg 1280*). Związki żelaza działają podobnie, ale dla optymalnego efektu wymagają nieco niższego pH. Należy też dodać, że ałun ma silne działanie ściągające, co wybitnie pomaga w leczeniu zranień i krwotoków.

Siarka ma właściwości bakteriobójcze, grzybobójcze i pasożytoobójcze, jest też środkiem zmniejszającym łojotok i pobudzającym tworzenie się nowej tkanki naskórka. Jednocześnie pierwiastek ten przekształcając się w siarczki (i siarkosole) rozpuszcza tkankę rogową i zmiękcza powierzchnię skóry (jest keratolitem), co było i jest wykorzystywane przy wygładzaniu małych blizn. Siarka stosowana na powierzchni skóry jest toksyczna dla większości organizmów chorobotwórczych (grzybów, bakterii, roztoczy itp.), albowiem jest reduktorem, a także może ulegać przekształceniom np. w kwas $H_2S_5O_6$. Podejrzewa się też, że blokuje ona aktywność niektórych enzymów niszcząc lub przynajmniej hamując rozwój wspomnianych organizmów. Jednocześnie złuszczenie naskórka pozbawia np. roztocza, które żywią się martwą tkanką, dogodnych warunków życia. Siarka stosowana zewnętrznie wchłania się przez skórę i błony śluzowe (ok. 1% ogólnej ilości aplikowanej), co nie jest z reguły dla dorosłego człowieka groźne, bowiem pierwiastek ten jest jednym z makroelementów budujących organizm (Lin *et al.* 1988, Maibach *et al.* 1990). Współcześnie w lekach znajduje zastosowanie głównie siarka koloidalna, dowiedziono bowiem, iż im mniejsze ziarna (cząsteczki) tym lepsze działanie stosowanego leku.

Wreszcie należałoby wziąć pod uwagę, nie do końca wyjaśnioną, bakteriobójczą rolę jonów Fe^{2+} i Fe^{3+} , w obecności których poważnym zaburzeniem ulegają procesy życiowe mikroorganizmów. Jest to zagadnienie o tyle ciekawe, że jak twierdzą niektórzy autorzy, w obecności jonów żelaza na powierzchni skóry może dochodzić do powstania ozonu (O_3) w miejsce tlenu (O_2) (Velo 1984). Jak wiadomo izotop ten jest silnie bakteriobójczy przez swoją reaktywność. Nie mamy jednak pewności, czy warunki panujące na powierzchni skóry pozwalają na rozłożenie dość trwałego połączenia chemicznego jakie tworzy piryt (FeS_2), poza tym badania i wnioski odnoszą się głównie do ochry (Velo 1984).

Bardzo istotnym aspektem stosowania mineralnych leków odkażających jest fakt, iż zaburzają one podstawowe funkcje życiowe zwalczanych organizmów (jak chociażby rozmnażanie, czy odżywianie). Stwarza to sytuację, w której zmienność genetyczna (przystosowania) niszczonego czynnika nie wpływają na skuteczność stosowanego leku. Główną wadą, szczególnie przy podawaniu takich leków doustnie, jest ich niespecyficzność i co za tym idzie równa szkodliwość dla człowieka i jego flory naturalnej, co dla zwalczanych organizmów.

Chemiczne i fizyczne własności glin ściśle zależą od ich składu mineralnego i budowy przestrzennej tworzących je minerałów. Nie bez znaczenia są także warunki zewnętrzne (kwasowość, wilgotność, stopień kompaktacji itp.) panujące podczas sedymentacji i diagenety, jak też w miejscu ich późniejszego użycia. Z punktu widzenia współczesnej nauki minerały ilaste należą do klasy krzemianów i glinokrzemianów warstwowych. Budowa przestrzenna i drobnokrystaliczność powoduje, że niektóre z minerałów ilastych (np. smektyty, czy wermikulity) mają oprócz zewnętrznej, także tzw. powierzchnię wewnętrzną (ang. *internal surface*), co wybitnie zwiększa ich właściwości adsorbcyjne (nie tylko cząsteczek wody, ale i znajdujących

cych się w niej jonów, oraz innych drobin w tym wirusów i bakterii). Dodatkową przyczyną znakomitych właściwości sorbencyjnych smektytów i wermikulitów są uwięzione w ich strukturze krystalicznej kationy, łatwo ulegające hydratacji, czyli również wiążące wodę (Konta 1995). W niektórych minerałach ilastych (smektytach, illicie, kaolinicie, saponicie) może dodatkowo dochodzić do delaminacji (rozchylenia wiązań), dzięki czemu nawet bardzo duże molekuly mogą ulec zakleszczeniu w strukturze minerału. Makroskopowo, konsekwencją wszystkich wspomnianych własności jest znaczące zwiększanie objętości przez omawiane minerały.

Niebagatelne znaczenie przy stosowaniu doustnym ma także wpływ kwasów na gliny. Niejednokrotnie doniesienia naukowe wydają się w tym względzie wzajemnie sprzeczne i dla wyważenia opinii istotna jest znajomość szczegółów prowadzonych badań. Od początku XX wieku wiadomo, że własności katalityczne montmorillonitu można poprawić przez lekkie zakwaszenie środowiska. Część autorów wyraża jednak wątpliwość co do skuteczności leków smektytowych, uzasadniając swoją krytykę obserwacjami, iż mogą one ulegać zniszczeniu w kontakcie z kwasami w żołądku lub w jelicie cienkim (Carretero 2002) i tym samym tracą swoje pierwotne właściwości. Należy bowiem pamiętać, że zakwaszenie roztworu zawierającego minerały ilaste (nie tylko smektyty) do wartości pH3 (soki żołądkowe mają właśnie pH3, a nawet pH1), powoduje częściowe rozpuszczenie (peptyzację) tych minerałów. Co prawda w efekcie mogą one być z łatwością wydalone w postaci koloidów, lecz skraca się czas ich działania i zaburza struktura. Nie bierze się tu jednak pod uwagę, że pH jelit różni się od pH żołądka, co również może wpływać na zmianę własności leku w różnych miejscach przewodu pokarmowego. Pomimo tych zjawisk zdolność sorbencyjna smektytów jest na tyle duża, że nie wyklucza to ich z palety skutecznych leków. Niektóre współczesne badania dowodzą wręcz, że smektyty mogą odgrywać wiodącą rolę w powstrzymaniu biegunek, a ponadto przy umiarkowanym stosowaniu nie wykazują efektów ubocznych (Leber 1988, Guarino *et al.* 2001). We współczesnej farmacji stosowane są zatem z powodzeniem leki takie jak Smecta (smektytowy lek przeciw zatruciom i biegunkom), czy Bédelix (beidellitowy lek osłonowy przy wrzodach i zapaleniach ściany żołądka). Nie są to jedyne leki tego typu, można tu dodać jeszcze Gastropulgate, Kaomuth, Gelox oraz wiele innych stosowanych zarówno wewnętrznie, jak i zewnętrznie. Również wiele leków tradycyjnych składa się w głównej mierze właśnie ze smektytów, w tym przede wszystkim badane przez autora *cha'go*. Środek ten stosowany jest właśnie w wypadku zatruc, wrzodów i innych dysfunkcji żołądka.

Należy jednak pamiętać, że nadużywanie wspomnianych leków (zarówno aptecznych, jak i tradycyjnych) prowadzi do wyjałowienia przewodu pokarmowego. Zjawisko to jest zrozumiałe jeśli uświadomimy sobie, że tego typu leki nie działają selektywnie i oprócz niepożądanых, chłoną również symbiotyczne bakterie z ludzkiego przewodu pokarmowego. Mogą one także wchłaniać składniki diety oraz elementy czynne pozostałych leków (stąd odradza się ich stosowanie wspólnie z innymi medykamentami). Zauważono m.in., że geofagia u niektórych plemion afrykańskich wpływa na pogorszenie rezultatów profilaktyki antymalarycznej, ponieważ składniki glin sorbują czynne substancje podawanych leków (np. Vermeer & Ferrell 1985). Skutkiem takich właściwości jest po pierwsze otwarcie przestrzeni życiowej dla różnych niepożądanych organizmów (bakterii, wirusów), a po drugie upośledzenie trawienia. Warto tu zaznaczyć, jak zauważa Alexander von Humboldt, że już sami Indianie z Orinoko zdawali sobie sprawę z takich efektów rygorystycznie przestrzegając umiaru w je-

dzeniu kulek z gliny (Humboldt 1959). Tłumaczyli oni, że brak powściągliwości w tym względzie szybko prowadzi do wyczerpania, a nawet śmierci. Zakazy wydawane w odniesieniu do pożerania gliny zarówno przez starszyzny plemienne, jak też później przez administrację hiszpańską, nie były, jak widać zupełnie bezpodstawne. Wedle rozlicznych badań dzienne spożycie gliny wynosi na różnych obszarach od 30 g do 300 g (np. Halstead 1968, Abrahams 1997, Barrera-Bassols & Zinck 2003).

Ponadto wpływ na własności glin mają również domieszki w nich zawarte. Stąd właśnie stawiane przez badaczy pytania, czy stosowanie wewnętrzne takich leków nie naraża pacjenta na niebezpieczeństwo zatruc (Mascolo *et al.* 1999, Summa & Tateo 1999). Z wielu badań wynika jednak, że zawartości niepożądanych mikroelementów (np. metali ciężkich) są bardzo niewielkie lub ich brak. Ważnym składnikiem, poza wspomnianymi jonami metali, są także węglany (głównie CaCO_3), których głównym źródłem mogą być skorupki mięczaków. Minerale te wzmagają alkalizujące działanie glin. Niektóre badania dowodzą jednak, że wynikiem nadmiernego raczenia się glinami, zawierającymi domieszki kalcytu i aragonitu, może być w pewnych wypadkach hiperkalcemia (nadmiar wapnia w ustroju i spowodowane z tym dysfunkcje organizmu) i co za tym idzie np. paraliże, zawroty głowy, arytmia a nawet zatrzymanie akcji serca (Gelfand *et al.* 1975). To również tłumaczy umiar w jedzeniu gliny, zalecany częstokroć przez społeczności tradycyjne. Oczywiście sam węglan wapnia, czy to pod postacią wapieni, czy muszli ślimaków i małży, był (i jest do dnia dzisiejszego) z tych samych powodów stosowany w leczeniu nadkwasoty.

Na koniec warto poruszyć rzadko pojawiające się w literaturze zagadnienie jedzenia gliny wśród społeczności górskich, a więc właśnie m.in. w rejonie andyjskim. Być może dieta ta wynika z konieczności uzupełnienia poziomu żelaza we krwi i co za tym idzie podniesienia ilości erytrocytów. Są to zasadnicze elementy procesów oddychania komórkowego, a jak wiadomo wraz ze wzrostem wysokości i spadkiem stężenia tlenu w powietrzu zachodzą one o wiele mniej wydajnie. Argumentami przemawiającymi za tak postawioną tezę są na przykład zachowania obserwowane wśród niektórych zwierząt. Chodzi tu przede wszystkim o goryle górskie (*Gorilla gorilla beringei*) żyjące powyżej 1000 m n.p.m. i bawoły afrykańskie (*Synceus cafer*) spotykane na stokach Mount Kenya, około 2800–3100 m n.p.m. (Krishnamani & Mahaney 2000). Znane są też inne tego typu przykłady w górach Azji (Ayala Loayra 1990). Nie ma niestety wystarczającej ilości badań ani etologicznych, ani mineralogicznych, ani antropologicznych próbujących racjonalnie wyjaśnić te zachowania, jednak pewne wyniki uzyskane przez autora mogą wskazywać na zasadność tak postawionej tezy.

Na zakończenie warto odnieść się do ostatniego dużego obszaru zastosowań minerałów. Wchodzi on raczej w zakres badań nauk antropologicznych (etnografii, religioznawstwa, czy socjologii), a wymyka się – przynajmniej na razie – możliwościom poznawczym nauk przyrodniczych (i medycznych). Te „nietypowe” zastosowania mają charakter magiczno-alchemiczno-religijny. Wspomniane minerały mają poza tym jedną cechę wspólną, która wydawała się bardzo ważna i godna posiadania, a na pewno uważana za leżącą u podstawy ich trwałości. Były one mianowicie doskonale czyste, bez skaży, niemal dziewicze i na dodatek bardzo rzadkie i trudne do zdobycia (np. *condor qallta*).

Takie przesłanki leżały u podstaw stosowania wielu minerałów (w tym szczególnie kamieni szlachetnych i ozdobnych) przeciwko czarom, opętaniom, nałogom, kłáwtwom i wielu innym niebezpieczeństwom czyhającym na człowieka w świecie duchowym i materialnym.

Zupełnie nieuzasadniona lub przynajmniej nie do udowodnienia przy obecnym stanie wiedzy jest wiara w subtelne energie kryształów (czy nawet samych ich kształtów). Te do dziś nie zarejestrowane „siły” mogły działać poprzez przykładanie odpowiedniego kamienia do ciała lub noszenie go ze sobą – to tzw. amulety. Od starożytności znane są jednak i inne sposoby na przejęcie i wykorzystanie „pozytywnych energii” tkwiących ponoć w różnych kamieniach, szczególnie różnych kryształach mających wyraźny, regularny pokrój. W tej kategorii mieszczą się zapewne minerały takie jak *qarachunta* (chalcedon, aragonit), czy *qollpa transparente* (gips). Uzdrawiaczom służyły i służą one albo do rozpoznawania choroby podczas seansów magiczno-leczniczych (kryształy gipsu), albo do zdejmowania z chorego skutków przestachu (np. paraliżu twarzy za pomocą *qarachunta*). Co ciekawe, w obu przypadkach należy szybko pozbyć się zastosowanych kawałków, najlepiej wrzucając je do rzeki. Zagadnienia te są przedmiotem rozlicznych ksiązek antropologicznych czy paranaukowych, a przede wszystkim zupełnie wymykają się naukowemu poznaniu.

KONKLUZJE

Badania i spostrzeżenia autora, jak też liczne analogie etnograficzne, dowodzą jednoznacznie skuteczności badanych leków, także w rozumieniu współczesnej nauki. Ich ogromnym atutem jest ponadto o wiele większa dostępność niż „lekarstw aptecznych”.

Niezwykle skuteczne okazują się peruwiańskie medykamenty typu smektytów (*cha'qo*) używane, podobnie jak europejska Smecta, w leczeniu zatruc i innych schorzeń żołądkowych. W ich przypadku należy podkreślić farmaceutyczną czystość. Nie zawierają one, w zasadzie w ogóle, potencjalnie szkodliwych metali ciężkich takich jak As, Sb, Hg, Cd, Co i inne. To ważna konstatacja, bowiem leki „naturalne” często uważane są za bardzo zanieczyszczone.

Innym bardzo zajmującym odkryciem są dwa leki, makroskopowo zupełnie odmienne, znane w Peru pod wspólną nazwą *qollpa*, czyli „sól”. Te substancje mineralogicznie okazały się zupełnie odmienne. Pierwsza z nich to głównie minerały z grupy halotrichitu, druga zaś to mieszanina pirytu, kwarcu i ałunitu. Ich identyczna nazwa lokalna (*qollpa*), jak też zbliżone zastosowania lecznicze przestają budzić zdziwienie gdy spojrzymy na skład chemiczny. Obie skały zawierają bowiem te same jony: Fe^{2+} , K^+ , Al^{3+} i SO_4^{2-} , które są odpowiedzialne za skuteczność leczniczą. Przykład ten dowodzi dużej wiedzy empirycznej lokalnych *curanderos*. Oczywiście powyższe argumenty trzeba traktować z ostrożnością i nie można wniosków płynących z przedstawionych doświadczeń bezpodstawnie uogólniać i odnosić do wszystkich minerałów i sytuacji. Każdy lek powinien być zbadany indywidualnie, ze zwróceniem uwagi nie tylko na jego skład mineralny, ale także pochodzenie i substancje towarzyszące. Ten ostatni element jest szczególnie istotny chociażby w wypadku trudnych do makroskopowej identyfikacji minerałów ilastych.

W końcu na całe lecnictwo należy spojrzeć rezygnując z europocentrycznego punktu widzenia i dostrzec, że nie wszystkie społeczności mają równie łatwy dostęp do lekarstw medycyny oficjalnej, jak Europejczycy i mieszkańcy Ameryki Północnej. Albowiem skoro w składzie „naszych” leków znajdują się czasem nieorganiczne substancje chemiczne, występujące także naturalnie w przyrodzie i ponadto (przynajmniej lokalnie) łatwo dostępne, nic nie stoi na przeszkodzie, aby usankcjonować ich użycie również z naukowego punktu widzenia. Taka waloryzacja, czy kontrola leków tradycyjnych jest uzasadniona, biorąc pod uwagę

doniesienia o szkodliwości niektórych z nich (Giveon *et al.* 2004). Wystarczy tutaj wymienić dyskusję nad zagrożeniami związanymi ze stosowaniem zawierającego ołów azjatyckiego leku *kushta* (Aziz *et al.* 2002), czy doniesienia o zawartości metali ciężkich w spożywanych w Afryce glinach (Mascolo *et al.* 1999, Summa & Tateo 1999), a także przypadek zastosowania gipsu do leczenia biegunki (M. Ziółkowski inf. ustna).

Musimy się jednak pogodzić z faktem, że zastosowanie medykamentu z naszego punktu widzenia szkodliwego przynosi czasem więcej pożytku, niż szkody, szczególnie kiedy zachodnie leki są nieosiągalne. Uważam, że tylko ten ostatni aspekt wystarczy, aby bliżej zająć się znaczeniem i skutecznością lekarstw, w których składzie wykorzystywane są minerały. Byłaby to w moim przekonaniu skuteczna realizacja hasła WHO „health by the people for the people”. Tym bardziej, że lokalni „lekarze” (zielarze, uzdrowiacze, szamani itp.) nie tylko dysponują praktyczną wiedzą i znajomością skutecznych, tradycyjnych sposobów leczniczych, lecz również mają zdecydowanie lepszy kontakt z pacjentem. Z reguły też są oni obdarzani większym niż lekarz akademicki zaufaniem. Wynika to w dużej mierze z braku bariery językowej, etnicznej, czy kulturowej pomiędzy leczącym i leczonym. Współpracując z nimi i wykorzystując ich wiedzę o miejscu pochodzenia leku jesteśmy z kolei w stanie lepiej pomóc lokalnym społecznościom. Uważam, że podobnie jak królestwo roślin, królestwo minerałów kryje jeszcze niejedyn leki, który można by włączyć do arsenału środków medycyny akademickiej, bądź którego rzeczywistą skuteczność można chociaż potwierdzić w pozostałych systemach leczniczych.

LITERATURA

- Abrahams P.W., 1997. Geophagy (soil consumption) and iron supplementation in Uganda. *Tropical Medicine and International Health*, 2, 7, 617–623.
- Ayala Loayra J.L., 1990. *Insurgencia de los Yaritis – manifestaciones culturales del hombre andino*. Concytec Edición, Lima, 1–327.
- Aziz N., Gilani A.H. & Rindh M.A., 2002. Kushta(s): unique herbo-mineral preparations used in South Asian traditional medicine. *Medical Hypotheses*, 59, 4, 468–472.
- Barrera-Bassols N. & Zinck J.A., 2003. Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma*, 111, 171–195.
- Carretero M.I., 2002. Clay minerals and their beneficial effects upon human health, a review. *Applied Clay Science*, 21, 155–163.
- Gelfand M.C., Zarate A. & Kneppshield J.H., 1975. Geophagia. A cause of life-threatening hyperkalemia in patients with chronic renal failure. *Journal of the American Medical Association*, 234, 7, 738–740.
- Giveon S.M., Liberman N., Klang S. & Kahan E., 2004. Are people who use “natural drugs” aware of their potentially harmful side effects and reporting to family physician? *Patient Education and Counseling*, 53, 1, 5–11.
- Guarino A., Bisceglia M., Castellucci G., Iacono G., Casali L.G., Bruzzese E., Masetta A. & Greco L., 2001. Smectite in the treatment of acute diarrhea. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 32, 1, 71–75.
- Halstead J.A., 1968. Geophagia in man: its nature and nutritional effects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 21, 1384–1393.

- Humboldt A., 1959. *Podróże po Ameryce podzwrotnikowej*. Książka i Wiedza, Warszawa, 1–477.
- Konta J., 1995. Clay and man: clay raw materials in the service of man. *Applied Clay Science*, 10, 275–335.
- Krishnamani R. & Mahaney W.C., 2000. Geophagy among primates: adaptive significance and ecological consequences. *Animal behaviour*, 59, 5, 899–915.
- Leber W., 1988. A new suspension form of smectite (liquid ‘Diasorb’) for the treatment of acute diarrhoea: a randomized comparative study. *Pharmatherapeutica*, 5, 4, 256–260.
- Lin A.N., Reimer R.J. & Carter D.M., 1988. Sulfur revisited. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 18, 3, 553–558.
- Maibach H. I., Surber C. & Orkin M., 1990. Comment on sulfur revisited. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 23, 1, 154–156.
- Mascolo N., Summa V. & Tateo F., 1999. Characterisation of toxic elements in clays for human healing use. *Applied Clay Science*, 15, 491–500.
- Summa V. & Tateo F., 1999. Geochemistry of two peats suitable for medical uses and their behaviour during leaching. *Applied Clay Science*, 15, 477–489.
- Velo J., 1984. Ochre as medicine: a suggestion for the interpretation of the archaeological record. *Current Anthropology*, 25, 5, 674.
- Vermeer D.E. & Ferrell R.E.Jr., 1985. Nigerian geophagical clay: a traditional anti-diarrhoeal pharmaceutical. *Science*, 227, 4687, 634–636.

Summary

Peruvian traditional medicines of mineral composition have not been the subject of complex investigation to the present day. The main goal of the paper is to fill up this gap by finding out whether using mineral drugs has been rationally based and what are the consequences, both positive and negative, of applying them. At the same time the author points out many analogies between contemporary and former medical application of chosen minerals.

Using various natural substances in traditional medicine is founded on rational basis. Written sources, fieldworks and laboratory investigation provide here incontrovertible evidence. Analysis of nine mineralogical remedies used in a traditional healthcare in the south of Peru (Department of Arequipa, Cailloma Province, Colca Valley) give one more strong proof for this hypothesis.

The experimental part focuses on identification of mineral and chemical composition of chosen traditional medicines. Discussed drugs known as *qollpa* (Figs 1, 3), *cha'qo* (Fig. 5), *qarachunta* (Fig. 7), *condor qallta* (Fig. 9), *qollpa transparente* (Fig. 10) according to contemporary mineralogical science can be identified as: halotrichite (Figs 2A–B), pyrite, quartz (Figs 4A–B), smectites (Figs 6A–E), potassium-alum, chalcedone, aragonite (Fig. 8), gypsum. Juxtaposition of mineralogical composition of analyzed remedies and their ascribed therapeutic values reveals their legitimate application.

The author points out the advantages and disadvantages of using discussed medicines in curing particular illnesses. Being a natural science based work but deriving abundantly from the historical and ethnographical material it disputes a common claim that traditional medicine is not rationally based. Collected data as well as original analysis of the author prove the

opposite. Most of the mineral traditional medicines have positive influence on patients health and the precisely defined way of using them which allows to avoid side effects. Collected data prove a huge experience and empirical knowledge of traditional healers. Comparative analysis of mineralogical drugs from different, often remote, places such as Europe or Africa confirm the aforementioned fact.

Widening the knowledge of traditional therapeutic systems is especially important outside Europe where western scientific medicine is only one of many ways of curing, often of the second importance. Scientific evaluation of traditional remedies of mineralogical origin in terms of their effectiveness and purposefulness as well as eliminating harmful substances may contribute to improvement of the local health care in those places and societies where contemporary medicine remains unknown or inaccessible to the majority of the people. At the same time one can observe a clear turn to alternative remedies and therapies even in developed countries.

Wskazówki dla Autorów

Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej **GEOLOGIA** publikuje oryginalne prace, artykuły i komunikaty z zakresu nauk o Ziemi i środowisku w języku polskim i angielskim. Wszystkie prace są recenzowane.

Przy przygotowaniu materiałów do druku należy wzorować się na układzie tekstu, rozdziałów, cytowania i spisu literatury zamieszczonych w bieżących zeszytach, począwszy od zeszytu nr 1 tomu 31 z 2005 roku.

Objętość artykułów nie może być mniejsza niż 5 stron, a nie powinna przekraczać 25 stron (Times New Roman CE 12 pkt, odstęp 1,5), jednak w uzasadnionych przypadkach możliwa jest publikacja prac przekraczających tę objętość. Teksty zawierające dyskusję naukową i/lub stanowisko krytyczne w stosunku do wcześniej opublikowanego na łamach Kwartalnika artykułu są dopuszczone tylko wtedy, gdy zawierają także nowe wyniki badań i oryginalne interpretacje autora. Pierwszy autor ma prawo do ostatecznej odpowiedzi na tych samych zasadach, które dotyczą dyskutanta.

Materiały przeznaczone do druku należy nadsyłać w dwóch egzemplarzach jednostronnego, znormalizowanego wydruku komputerowego (Times New Roman CE 12 pkt, odstęp 1,5 formatu A4, marginesy 2,5 cm, tekst ma być wyrównany tylko do lewego marginesu, bez dzielenia wyrazów) wraz z dyskietką (3.5" lub CD). Dyskietki powinny być wolne od wirusów (dyskowych, plikowych).

Tekst powinien zaczynać się stroną tytułową z następującym układem wierszy: tytuł pracy w języku głównym artykułu i tytuł w języku abstraktu/streszczenia, imię i nazwisko autora(ów), nazwa i adres instytucji zatrudniającej autora(ów) i adresy poczty elektronicznej (e-mail) oraz krótkie streszczenie polsko- (**Treść**) i anglojęzyczne (**Abstract**), które powinny zawierać odpowiednio po 120–130 słów. **Słowa kluczowe (Key words)** nie mogą zawierać więcej niż 7 haseł, powinny być ułożone w sposób hierarchiczny – od haseł ogólnych do szczegółowych.

Na końcu artykułu (po literaturze) winno znaleźć się streszczenie w języku angielskim (**Summary**), w którym należy powołać się na zamieszczone w tekście figury i tabele.

Wszelkie uwagi dotyczące redakcji technicznej należy zrobić ołówkiem na jednej kopii wydruku komputerowego, z zaznaczeniem proponowanej rangi tytułów rozdziałów (I, II, III), miejsc włamania figur i tabel.

Rysunki, zarówno czarno-białe, jak i kolorowe (w skali 1:1), powinny być wydrukowane lub odbite na kserokopiarce z oryginałów dobrej jakości. Nie powinny one przekraczać formatu B5. Jeżeli autor dostarcza rysunki na dyskietce (w jednym z podstawowych komputerowych programów graficznych z preferencją CorelDRAW 7.0), konieczne jest załączenie ich wydruków. **Fotografie** (w tym kolorowe) i **plansze** (kilka rysunków lub zdjęć razem) muszą być kontrastowe, o wymiarach nie przekraczających rozmiarów strony (najlepiej przygotowane w skali 1:1, gotowe do reprodukcji). Rysunki, fotografie i plansze powinny być opisane ołówkiem na odwrocie, z ciągłą numeracją (jako kolejne figury – Fig.), pod jaką znajdują się w tekście. Dwujęzyczne (polskie, angielskie) podpisy do nich należy zamieścić na oddzielnej stronie opisanej tytułem i nazwiskiem autora(ów) artykułu; wszystkie opisy na

rysunkach powinny być również dwujęzyczne. Należy zwrócić uwagę na odpowiednią wielkość liter na rysunkach przeznaczonych do zmniejszenia. Szrafury powinny być oznaczone cyframi objaśnionymi następnie w podpisach. Poszczególne obiekty na planszach mają być opisane dużymi literami (np. Fig. 5B). **Tabele** (w cytowaniu – Tab.) należy przygotować na osobnych stronach (nie w tekście), a tekst w nich zawarty winien być dwujęzyczny.

Spis literatury (**Literatura/References**), zestawiony w porządku alfabetycznym, winien zaczynać się od nowej strony i zawierać jedynie pozycje cytowane. Tytuły prac pisanych alfabetem łacińskim powinny być podane w ich oryginalnym brzmieniu. Prace pisane cyrylicą należy transliterować na alfabet łaciński zgodnie z zasadami międzynarodowymi (zalecenie ISO).

Literatura

- artykuły w czasopismach (periodykach):

Książkiewicz M., 1974. Contribution a l'étude de la faune du Tithonique de Woźniki (Carpathes Polonaises Occidentales). *Acta Geologica Polonica*, 24, 3, 437–456.

Kutek J. & Wierzbowski A., 1986. A new account on the Upper Jurassic stratigraphy and ammonites of the Czorsztyn Succession, Pieniny Klippen Belt, Poland. *Acta Geologica Polonica*, 36, 4, 289–316.

Brower J.C., 2002. *Quintuplexacrinus*, a new cladid crinoid genus from the Upper Ordovician Maquoketa Formation of the northern midcontinent of the United States. *Journal of Paleontology*, 76, 6, 993–1006.

- artykuły w książkach:

Kauffman E.G., Elder W.P. & Sageman B.B., 1991. High-resolution correlation: a new tool in chronostratigraphy. W: Einsele G., Ricken W. & Seilacher A. (eds), *Cycles and Events in Stratigraphy*, Springer-Verlag, Berlin, 795–819.

- książki:

Birkenmajer K., 1979. *Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skalnym*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1–236.

- materiały konferencyjne:

Krobicki M. & Golonka J., 2007. Early Jurassic distribution and migration routes of „Lithiotis” facies bivalves. *1st International Paleobiogeography Symposium, Abstracts*, Paris 10–13 July 2007. Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), Museum national d'Historie naturelle, Paris CNRS, Paris, 59.

Kilka prac jednego autora publikowanych w tym samym roku należy odróżnić małymi literami po roku wydania [np. Nowak (1976a)]. Prace cytuje się w tekście: Kowalski (1985) lub (Kowalski 1985). Praca dwóch autorów ma być cytowana jako: Kowalski & Nowak (1997) lub (Kowalski & Nowak 1997). Jeżeli praca ma więcej niż dwóch autorów, należy cytować: Kowalski *et al.* (1996) lub (Kowalski *et al.* 1996). Cytując kilka prac obok siebie, należy zachować kolejność chronologiczną.

Każdy z Autorów otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Wszelkie pytania dotyczące wydawnictwa należy kierować do Redaktora bądź Sekretarza kwartalnika.

SPIS TREŚCI

CONTENTS

Wprowadzenie	5
Magdalena GŁOGOWSKA & Joanna KRUPA Sprawozdanie z Polskiej Wyprawy Naukowej Peru 2006 <i>Report from Polish Scientific Expedition Peru 2006</i>	9
Andrzej GAŁAŚ & Andrzej PAULO Idea ochrony Kanionu Colca i Doliny Wulkanów <i>Idea of protection of Rio Colca Canyon and Valley of Volcanoes</i>	17
Andrzej PAULO Zarys budowy geologicznej Kordyliery Zachodniej południowego Peru <i>Geology of the Western Cordillera in Southern Peru – an outline</i>	35
Tomasz KALICKI & Józef KUKULAK Czwartorzędowa ewolucja Doliny i Kanionu Colca – raport z badań geomorfologicznych wykonanych w roku 2006 <i>Quaternary evolution of Valley and Canyon of Rio Colca – report from geomorphological studies done in 2006 year</i>	55
Jerzy ŻABA & Zbigniew MAŁOLEPSZY Aktywność uskoków w Dolinie Rio Colca w rejonie Pinchollo – Maca, Andy Środkowe, południowe Peru <i>Fault activity in the Rio Colca Valley in the Pinchollo – Maca Area, Central Andes, Southern Peru</i>	83
Andrzej GAŁAŚ Zasięg i budowlę wulkaniczne grupy Andahua <i>Extent and volcanic's constructions of Andahua group</i>	107
Andrzej PAULO & Andrzej GAŁAŚ Górnictwo i inne inwestycje w sąsiedztwie Kanionu Colca <i>Mining and other investments in the vicinity of Colca Canyon</i>	137
Barbara RADWANEK-BĄK Atrakcje geoturystyczne Kanionu Rio Colca i jego otoczenia <i>Geotourism phenomena of Rio Colca Canyon and its surroundings</i>	173
Beata CYKOWSKA & Adam FLAKUS Flora mszaków i porostów Kanionu Colca (Peru) – badania rekonesansowe <i>Bryophyte and lichen flora of the Colca Canyon (Peru) – reconnaissance research</i>	193
Katarzyna SOBIECH-MATURA & Michał WĘGRZYN Wstępne opracowanie bioty porostowej w obrębie Kanionu Colca oraz Doliny Wulkanów (Peru) <i>Preliminary study on lichen biota of Colca Canyon and Valley of the Volcanoes (Peru)</i>	205
Zdzisław Jan RYN Medycyna konwencjonalna i medycyna tradycyjna w rejonie Kanionu Colca, Peru <i>Conventional and traditional medicine in Canyon Colca region, Peru</i>	211
Michał WASILEWSKI Mineralne leki w Chivay i Dolinie Colca (południowe Peru) <i>Mineral medicines in Chivay and Colca Valley (Southern Peru)</i>	223
Wskazówki dla Autorów	247