

POSZUKIWANIA ZŁÓŻ SUROWCÓW MINERALNYCH W MONGOLII

EXPLORATION FOR MINERAL DEPOSITS IN MONGOLIA

TOMASZ ĆWIERTNIA¹, JADWIGA PIECZONKA¹, ADAM PIESTRZYŃSKI¹, WŁADYSŁAW ZYGO¹

Abstrakt. W latach 2007–2011 prowadzono w Mongolii badania terenowe mające na celu znalezienie złóż surowców metalicznych w pięciu różnych obszarach koncesyjnych. W ciągu ostatnich dwóch lat skoncentrowano się na obszarze M2, położonym w zachodniej części Mongolii (ajmak Bayankhongor), w którym poza bogatą mineralizacją miedziową, występującą w skałach okwarcowanych i granitopodobnych, zaobserwowano również w serpentynitach strefy zawierające okruszczenie Ni i Cu. Badano także wychodnie serpentynitów pod kątem występowania w nich spineli chromowych i platyny.

Słowa kluczowe: poszukiwania rud metali, Mongolia.

Abstract. In 2007–2011, exploration work was carried out for metallic deposits on five tenements. During the last two years, the work was focused on area M2 in the western part of Mongolia (Bayankhongor province). In addition to rich copper mineralization found in silicified rocks and granitoids, Ni and Cu mineralization was reported in serpentinites, which were also analysed for Cr-spinels and platinum.

Key words: prospecting for mineral deposits, Mongolia.

WSTĘP

W 2007 r. rozpoczęto poszukiwania złóż metali w zachodniej Mongolii w ajmaku Bayankhongor (fig. 1). Podczas kolejnych wyjazdów (lata 2008–2011) na obszarze objętym koncesją (M2) przeprowadzono rekonesanse i podstawowe badania geologiczne. W trakcie badań terenowych zidentyfikowano szereg odsłoneń z makroskopowo widocznym okruszczeniem, z których pobrano próbki minera-

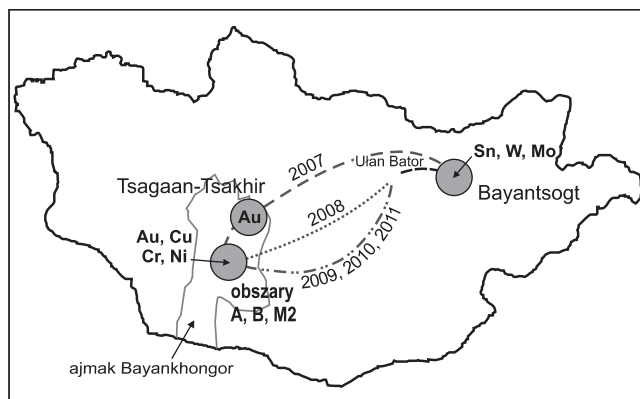


Fig. 1. Obszary eksplorowane przez geologów z AGH w latach 2007–2011

Areas explored by geologists from AGH-US&T in period 2007–2011

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: tcwiertnia@geol.agh.edu.pl, jpieczon@geolog.geol.agh.edu.pl, piestrz@geol.agh.edu.pl, wzygo@geol.agh.edu.pl

logiczne, służące do rozpoznania budujących je skał i określenia ich znaczenia surowcowego. Pobrano też próbki glebowe oraz bruzdowe do badań geochemicznych. W kolejnych latach oprócz rekonesansów geologicznych wykonano mapy szlichowe, mapy geochemiczne wyselekcjonowanych części obszaru (2009 r.) oraz zaplanowano wykonanie badań

geofizycznych (2010 r.) i wiertniczych (2011 r.). W roku 2011, we wskazanych miejscach mongolska firma wiertnicza wykonała cztery otwory wiertnicze o łącznej długości ponad 1000 m. W niniejszym artykule przedstawiono podsumowanie i ocenę dotychczasowych wyników badań.

GEOLOGIA W ZARYSIE

Obszar Mongolii znajduje się pomiędzy kratonem syberyjskim na północy a kratonami tarimskim i sino-koreańskim od południa i południowego wschodu (Badarch i in., 2002). Takie położenie sprawia, że przez Mongolię przebiega centralna część środkowozjatyckiego pasa orogenicznego, na który składają się utwory stref akrecji, łuków wysp, ofiolitów oraz szelfów kontynentalnych (Osozawa i in., 2008). Mongolia jest podzielona na dwie części, północną – składającą się głównie ze skał wieku prekambryjskiego i dolnego paleozoiku oraz południową – z przeważającymi skałami dolnego i górnego paleozoiku (Badarch i in., 2002). Obie części rozdziela główny lineament mongolski, stanowiący przybliżoną regionalną, morfologiczną i strukturalną

granice. Badarch i in. (2002) dzielą też obszar Mongolii na 44 jednostki geologiczne (terrany) oddzielone uskokami.

Obszar, na którym prowadzono poszukiwania, należy do jednostki Gobi Altai. Jest to wąska strefa rozciągająca się na południe od głównego lineamentu mongolskiego, wydłużona w kierunku wschód–zachód. Badarch i in. (2002) zaliczają ją do jednostek należących do stref związanych z łukami wysp. Składa się ona głównie z utworów facji zieleńcowej, piaskowców, wapieni płytkowodnych, zlepieńców oraz skał pochodzenia wulkanicznego. Udokumentowano również wystąpienia karbońskich i permskich granitów oraz sylurskich i dewońskich plagiogranitów (Badarch i in., 2002).

PRACE TERENOWE

Pierwszym etapem poszukiwań było wykonanie rekonesansu geologicznego wzdłuż zaplanowanych tras, podczas którego rozpoznano kilka utlenionych stref charakteryzujących się obecnością czap żelaznych (gossan) (fig. 2A, B). Zidentyfikowano również kilka wychodni z makroskopowo rozpoznawalną mineralizacją kruszczową, głównie z pirytem i magnetytem (fig. 2C). W trakcie dalszych badań pobrano próbki materiału klastycznego z rozpoznanych, wyschniętych koryt rzecznych w celu wykonania szlichów. Pobierano 10 litrów materiału, który był przesiewany na sicie o średnicy oczek 4 mm, co pozwalało na usunięcie najgrubszej frakcji, a następnie płukany na miskach, aż do uzyskania czarnego lub szarego szlichu (fig. 2D). W pierwszym roku poszukiwań pobrano 52 próbki szlichowe. Dla porównania w kolejnych latach pobierano już tylko 4 (2009 r.), 3 (2010 r.) oraz 17 (2011 r.) próbek.

Bruzdowe próbki glebowe i litologiczne były pobierane w miejscach stwierdzonej mineralizacji kruszczowej,

wzdłuż wytyczonych linii (fig. 2E), zwykle poprzecznie do rozpoznanej rozciągłości skał. Równoległe do innych badań były prowadzone glebowe badania geochemiczne. Każdorazowo pobierano 20 litrów materiału z głębokości około 20 cm, a następnie przesiewano przez sito o średnicy oczek 0,2 mm, wstępnie redukując wielkość próbki. Glebowe badania geochemiczne były wykonywane tylko w wybranych częściach obszaru. Jedną z nich była strefa granitoidów, w której obrębie zlokalizowano wychodnię z mineralizacją miedziową.

Wszystkie miejsca pobrania próbek lokalizowano urządzeniami GPS, a ich położenie nanoszono na mapy. W terenie posługiwano się mapami satelitarnymi typu TCC (*truth color composition*) z nakładką radarową, dostarczonymi przez mongolską firmę Bayajtatu LLC. Wszystkie próbki były odpowiednio zabezpieczone i magazynowane w obozie przejściowym (fig. 2F).

PRACE KAMERALNE I LABORATORYJNE

Prace kameralne rozpoczynano od wyselekcjonowania i przygotowania próbek do analiz chemicznych. Część tych prac wykonywano zwykle po powrocie z terenu do Ułan Bator, aby zminimalizować wagę próbek wysyłanych do Pol-

ski. Badania szlichów rozpoczęto od obserwacji pod lupą binokularną i wydzielenia frakcji magnetycznej (por. Ćwiertnia i in., 2010). Ujawniły one obecność chromitów, hematytu, magnetytu oraz wodorotlenków Fe. Dalsze bada-



Fig. 2. Prace terenowe

A. Pobieranie próbek z gossanu. **B.** Wychodnia gossanu w terenie (brązowa). **C.** Strefa z mineralizacją pirytową. **D.** Płukanie szlichów. **E.** Pobieranie próbki bruzdowej, litogeochemicznej; dla poszczególnych interwałów zaznaczono wyniki analiz chemicznych. **F.** Obóz założony w korycie okresowej rzeki

Field works

A. Sample collecting from gossan. **B.** Gossan outcrop (brown). **C.** Pyrite mineralization zone. **D.** Panning. **E.** Collection of lithochemical, channel sample; for each interval Cu results have been marked. **F.** Camp in old river bed

nia były prowadzone na preparatach uniwersalnych. Wykonano analizę petrograficzną w świetle odbitym i przechodzącym oraz badania chemiczne w mikroobszarze typu EDS. W wyniku tych analiz udało się zidentyfikować chromit, spinele glinowe i chromowe (fig. 3, 4; tab. 1), magnetyt,

hematyt, pentlandyt, polidymit, ilmenit, chalkopiryt, malachit, arsenopiryt, digenit, kowelin, piryt, manganit, sfaleryt, rutyl oraz wodorotlenki żelaza, cyrkon, granaty, kwarc, minerały z grupy serpentynu i węglany.

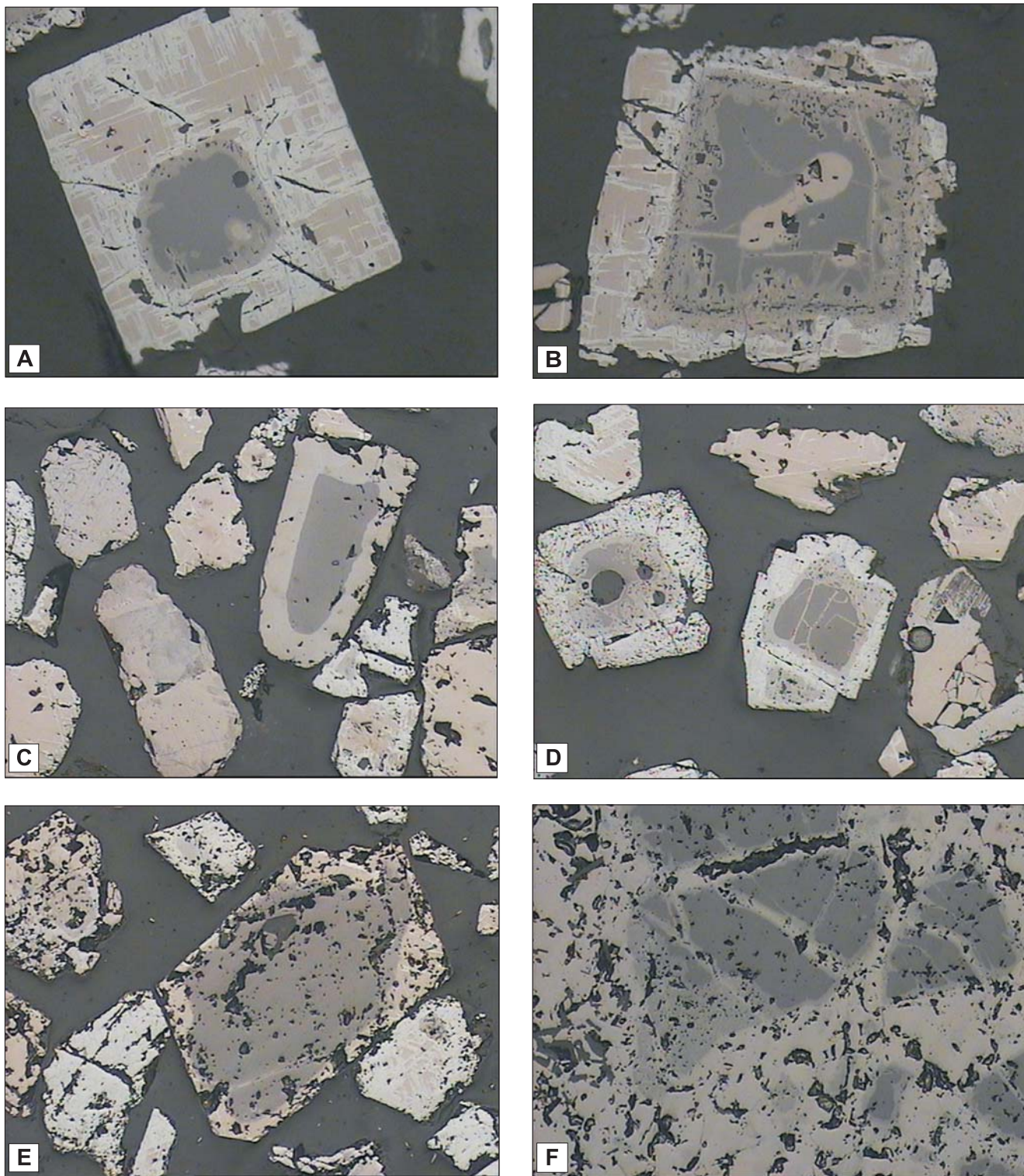


Fig. 3. Zrosty spineli: chromitu (ciemnoszare), magnetytu (jasnobrązowy) z hematytem (jasnoszary)

Światło odbite; powiększenia: **A** – $\times 600$, **B** – $\times 1200$, **C-F** – $\times 600$

Intergrowth of different spinels: chromite (dark grey), magnetite (pale brown), and hematite (light grey)

Reflected light; magnifications: **A** – $\times 600$, **B** – $\times 1200$, **C-F** – $\times 600$

Stwierdzono obecność dwóch charakterystycznych paragenez, tlenkowej i siarczkowej, które oceniono jako ważne pod względem jakościowym i ilościowym. Do paragenazy tlenkowej zaliczono trzy różne spinele i hematyt. Spinel o składzie chromitu (fig. 4; tab. 1) jest otoczony obwódkami o składzie Cr-Al-Mg-spinelu oraz Cr-magnetytu (fig. 3A–F; tab. 1) odróżniającymi się zdolnością refleksyjną i odcieniami barwy. Podobne fazy rozpoznano w masywnych serpentynitach odsłaniających się na powierzchni (fig. 3F). W pochodzących z nich próbkach i w wykonanych z nich preparatach obecność spineli była związana z rozpoznawalnymi, magnetycznymi obszarami. Obecność tekstur prezentowanych na figurze 3 wskazuje na metasomatyczne zmiany chromitów podczas serpentynizacji. Pomimo dużej ilości spineli we frakcjach ciężkich, obszary ich akumulacji zostały określone jako nieperspektywiczne ze względu na małą ilość potencjalnych zasobów. W badanych próbkach pochodzących z litych serpentynitów zawartość spineli chromowych została oceniona jako nieekonomiczna. Serpentynity odsłaniające się w dwóch równoległych pasmach na powierzchni powinny być jednak poddane dalszym badaniom, gdyż oprócz obecności paragenazy spineli chromowych stwierdzono obecność drugiej paragenazy kruszcowej, występującej w ich sąsiedztwie (Ćwiertnia i in., 2010).

Potwierdzenie obserwacji mikroskopowych uzyskano dzięki badaniom chemicznym w mikroobszarze (EDS), wykonanym na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. Tą metodą potwierdzono również występowanie w próbkach chalkopiryty, kuprytu, tenorytu, rammelsbergitu, heazlewoodytu i millerytu (fig. 5A, B, 6; tab. 2). Często były obserwowane zrosty chromitu z magnetytem i hematytem oraz wodorotlenki żelaza z relikami chalkopiryty lub piryty.

Mineralizację niklową znaną podczas badań mikroskopowych w próbkach szlichowych stwierdzono również w serpentynitach masywnych występujących na tym obszarze. Obserwacje mikroskopowe w świetle odbitym próbek

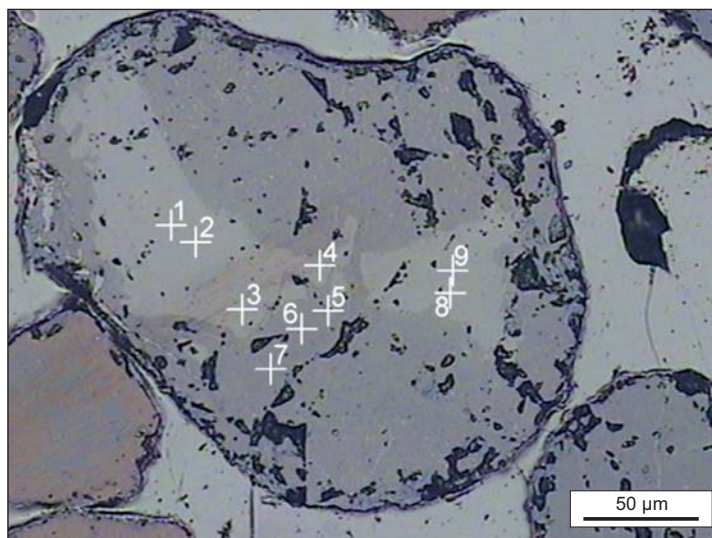


Fig. 4. Miejsca przeprowadzenia analiz EDS

Wyniki w tabeli 1; próbka K72sz

White crosses showed EDS microchemical analyses

Results are shown in Table 1; sample K72sz

serpentynitów pozwoliły na identyfikację siarczkowych minerałów niklu, tj. pentlandytu, millerytu, polidymitu, hazlewoodytu i innych (fig. 5A, B, 6). Obserwacje te zostały potwierdzone analizami chemicznymi EDS (tab. 2). Najwyższa stwierdzona zawartość niklu w masywnym serpentynicie wynosi 0,22% (Ćwiertnia i in., 2010). Próbki zawierające mineralizację miedziową zostały pobrane z wychodni zwierzalej i zmienionej skały o składzie granitoidu. Badania geochemiczne wykazały maksymalną zawartość 8,8% Cu (próbka 249M) w próbce mineralogicznej. Z wychodni pobrano również próbkę bruzdową o interwale 13 m. Średnia zawartość Cu w całej tej próbce wynosi 0,47%. W próbkach pochodzących z wychodni skał zsylikowanych stwierdzono obecność wielu siarczków miedzi, w tym chalkopiryty, chalkozynu i kowelinu (fig. 5C, D). Ich obecność wskazuje na duży potencjał złóżowy tej strefy.

Tabela 1

Wyniki analiz chemicznych (EDS), próbka K72sz

Results of EDS analyses, sample K72sz

Próbka	OK	MgK α	AlK α	SiK α	TiK α	CrK α	MnK α	FeK α	Suma	Minerał
1	31,78	10,06	18,84	0,04	0	26,68	0	12,61	100	Al-spinel
2	32,03	9,92	18,67	0,09	0,12	26,65	0	12,52	100	Al-spinel
6	25,90	0,43	2,15	0,06	0,18	23,27	0	48,01	100	Al-chromit
8	25,30	0,31	0,45	0,14	0,19	23,14	0	50,47	100	chromit
9	31,67	9,95	18,88	0,10	0,06	26,84	0,23	12,27	100	Al-spinel
A-2/5	21,46	0,72	0,48	0,40	0,24	3,77	0,60	71,41	99,04	Cr-magnetyt

Tabela 2

Wyniki analiz chemicznych (EDS), próbka 287M (preparat AP-276)

Results of EDS analyses, sample 287M (EDS specimen AP-276)

Próbka	S	Fe	Ni	Co	Suma	Minerał
B1 p1	28,38	1,99	69,63	0,00	100	heazlewoodyt – Ni ₃ S ₂
B1 p2	33,76	3,31	62,77	0,16	100	milleryt – NiS
B1 p4	34,18	22,25	37,91	5,66	100	pentlandyt – (Fe,Ni) ₉ S ₈
B1 p5	34,53	1,74	63,49	0,24	100	milleryt – NiS
B1 p6	35,09	2,38	62,39	0,14	100	milleryt – NiS
B1 p7	27,35	3,72	68,51	0,42	100	heazlewoodyt – Ni ₃ S ₂

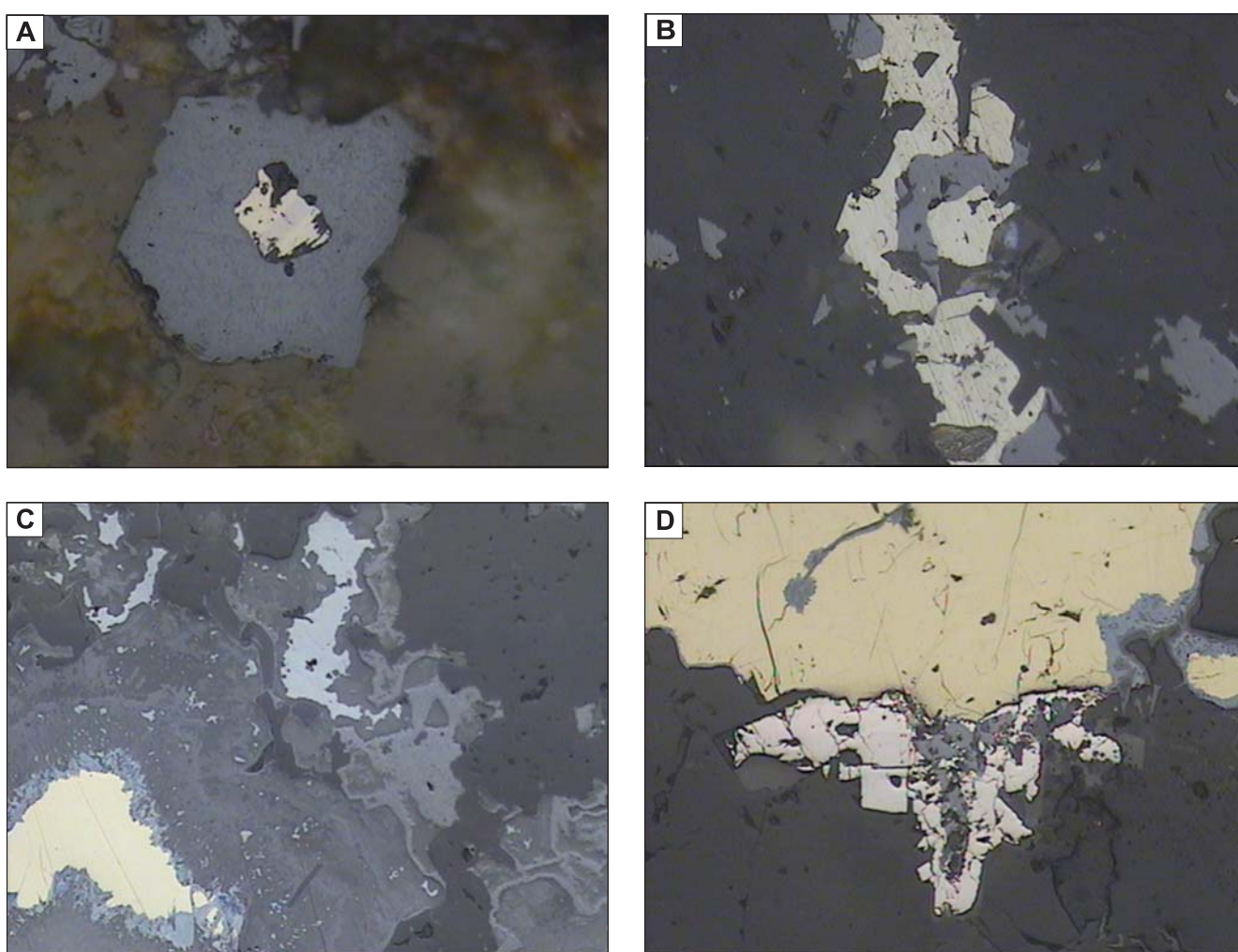


Fig. 5. A. Zrost polydymitu z millerytem (żółte), ciemnoszare – wodorotlenki Fe; światło odbite, pow. $\times 1200$, próbka 1M53. B. Zrost magnetytu (szary), z millerytem (żółty) oraz niewidocznymi wrostkami (w millerycie) pentlandytu i heazlewoodytu (por. z fig. 6); światło odbite, pow. $\times 600$, próbka 252M. C. Chalkopiryty (żółty) zastępowany przez siarczki miedzi i wodorotlenki żelaza, niebieski – kowelin; światło odbite, pow. $\times 600$, próbka 1M74. D. Chalkopiryty (żółty) zastępowany przez siarczki miedzi i wodorotlenki żelaza, jasnoszary – arsenopiryty; światło odbite, pow. $\times 300$, próbka 1M77

A. Intergrowth of polydymite with millerite (yellow), dark grey – Fe-oxides; reflected light, mag. $\times 1200$, sample 1M53. B. Intergrowth of magnetite (gray) with millerite (yellow) and (not visible on picture in millerite) pentlandite and heazlewoodyte (see also Fig. 6); reflected light, mag. $\times 600$, sample 252M. C. Chalcopyrite (yellow) replaced by covellite (bluish) and Fe-hydroxides; reflected light, mag. $\times 600$, sample 1M74. D. Chalcopyrite (yellow) replaced by Cu-sulphides and Fe-hydroxides, blue – covellite, light gray – arsenopyrite; reflected light, mag. $\times 300$, sample 1M77

Pozytywne wyniki badań geochemicznych, potwierdzone obserwacjami mikroskopowymi, były podstawą do zaplanowania badań geofizycznych IP i opornościowych. Badania te zostały przeprowadzone przez firmę mongolską w 2011 r., na wyznaczonych, perspektywicznych częściach obszaru. W wyniku badań powstały mapy i przekroje opornościowe, IP (polaryzacji wzbudzonej) oraz mapa magnetyczna. Na profilach geofizycznych wskazano anomalie, które mogły odpowiadać potencjalnym miejscom nagromadzenia siarczków.

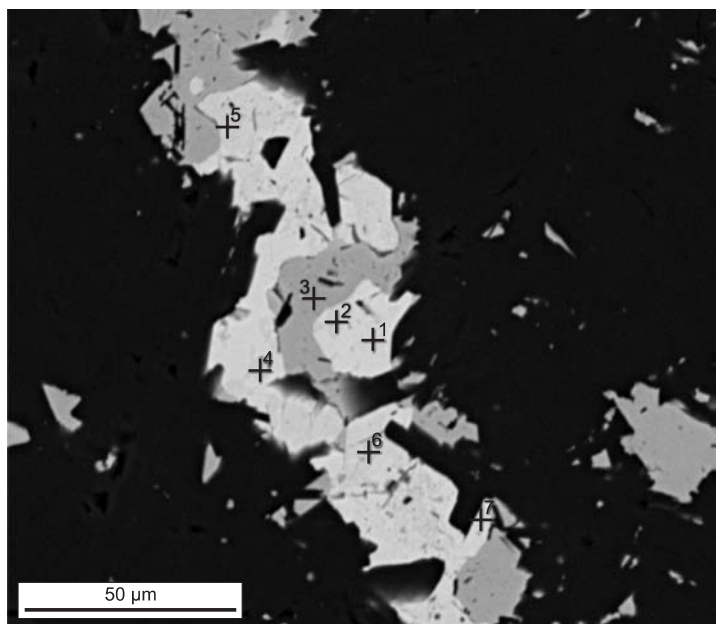


Fig. 6. Miejsca przeprowadzenia analiz EDS

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2, próbka 287M

Black crosses showed EDS microchemical analyses
Results are shown in Table 2, sample 287M

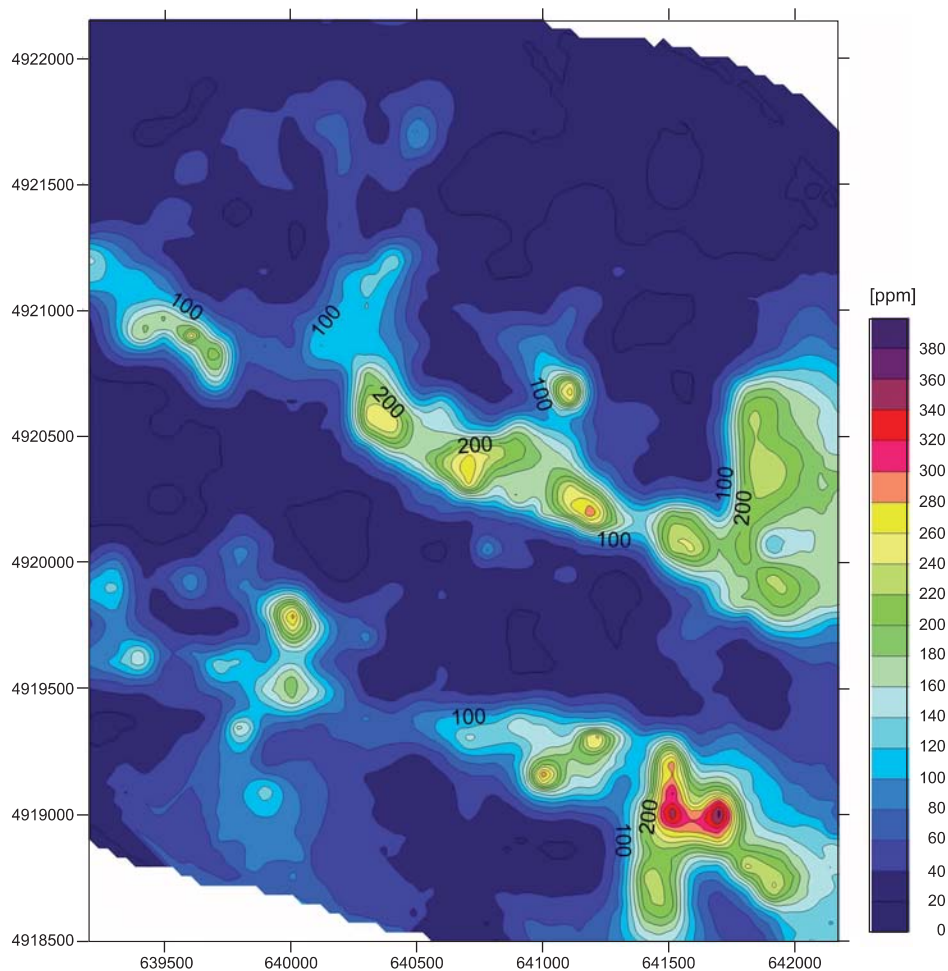


Fig. 7. Mapa geochemiczna zawartości niklu w próbkach glebowych

Pasy o podwyższonej zawartości Ni odpowiadają pasom serpentynitów; strefa pomiędzy nimi odpowiada strefie skał o składzie granitoidów

Geochemical Ni anomaly contour map

Belts with higher Ni content relates to serpentinites; zone between relates to granitoid rocks

Do wyników badań geochemicznych uzyskanych przez zespół poszukiwawczy dołączono również wyniki, w których posiadaniu była firma Bayajtatu LLC, co łącznie dało 1527 próbek. Na podstawie tych danych wykonano geochemiczne mapy zawartości głównych pierwiastków (Ni – fig. 7, Cu, Pb, Zn, Mo, Au), które następnie skonfrontowano z mapami oraz profilami geofizycznymi.

Na mapie rozmieszczenia Cu nie zaobserwowano znaczących miejsc o anomalnych, podwyższonych zawartościach tego pierwiastka. Jest to prawdopodobnie związane z wysoką mobilnością miedzi w strefach wietrzenia. Nie stwierdzono również podwyższonych zawartości Au na ana-

lizowanym obszarze. Zawartości Pb i Zn korelują się dobrze z pasem skał granitoidowych.

Po analizie wszystkich zgromadzonych do tej pory danych, wyznaczono lokalizację otworów rozpoznawczych. Firma Bayajtatu LLC zdecydowała się na odwiercenie w wyznaczonych miejscach trzech otworów pionowych oraz jednego kierunkowego. Dwa otwory o łącznej głębokości 570 m wykonano na północ i południe od pasa skał granitoidowych, a trzeci – w jego obrębie, w miejscu występowania mineralizacji miedziowej. Zespół prowadzący poszukiwania czeka obecnie na wyniki analiz geochemicznych próbek pobranych z rdzeni oraz na próbki przeznaczone do badań mineralogicznych.

WNIOSKI

Badany obszar jest perspektywiczny pod względem występowania złóż metali takich jak Cu i Ni. W strefie stwierdzonych odsłoneń z okruszczeniem miedziowym możliwe jest występowanie dwóch typów genetycznych złóż: typu sedex i porfirowego. W rejonach występowania serpentynitów konieczne są dalsze prace w celu wyjaśnienia ich potencjału złożowego. W skałach tych udowodniono występowanie bogatszych stref siarczkowych z niklem. Obecność siarczków Ni i pseudomorfoz wodorotlenków żelaza po

siarczkach w strefach odsłoneń serpentynitów potwierdzają taką hipotezę.

Podziękowania. Autorzy składają podziękowania rektorowi AGH, Panu prof. dr hab. inż. Antoniemu Tajdusiowi, oraz dziekanowi Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Panu prof. dr hab. inż. Jackowi Matyszkiewiczowi, za pomoc finansową dla studentów.

Badania kameralne były finansowane z tematu BS – AGH nr 11.11.140.562.

LITERATURA

- BADARCH G., CUNNINGHAM D.W., WINDLEY F.B., 2002 — A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. *J. Asia Sc.*, **21**: 87–110.
- ĆWIERTNIA T., PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., ZYGO W., 2010 — Poszukiwania i rozpoznawanie złóż metali w Mongolii. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **439**: 289–296.
- OSOZAWA S., TSOLMON G., MAJIGSUREN U., SEREENEN J., NIITSUMA S., IWATA N., PAVLIS T., JAHN B., 2008 — Structural evolution of the Bayanhongor region, west-central Mongolia. *J. Asia Sc.*, **33**: 337–352.

SUMMARY

An exploration works have been performed during last four years in Bayankhongor province, Mongolia.

During the reconnaissance, outcrops with copper mineralization and oxidized zones with gossan were found. Schlich, channel, rock and soil samples were collected. Chemical analyses were carried out by AcmeLabs. Microscope and EDS analyses have been performed at AGH-University of Science and Technology in Kraków, Poland.

A two parageneses have been reported: oxide and sulphur. Oxide contacted with magnetite, hematite and spinels

in serpentinites outcrops, and sulphur paragenesis in granite rocks outcrops. An average of 0.47% Cu have been reported in 13 m long channel sample in granite. Reflected light observations have shown occurrence of pyrite, chalcopyrite, Fe-hydroxides, cuprite, tenorite and rammelsbergite.

A geophysics, geochemical exploration and drilling have been performed on tenement.