

## UWAGI DO METODYKI ZDJĘCIA GEOCHEMICZNEGO NA OBSZARACH OBJĘTYCH WPLYWAMI PRZEMYSŁOWEJ I ROLNICZEJ DZIAŁALNOŚCI

UKD 550.84.093(438-14)

W planach Państwowego Instytutu Geologicznego przewiduje się wykonanie zdjęcia geochemicznego na obszarze bloku przedsudeckiego. Celem tego zdjęcia jest wyjawienie anomalii geochemicznych związanych z mineralizacjami rudnymi występującymi w skałach krystalicznych bloku przedsudeckiego, a przykrytych osadami kenozoicznymi o miąższości do 200 m.

Blok przedsudecki obejmuje obszar o powierzchni ok. 7000 km<sup>2</sup> i jest powierzchniowo równorzędny Sudetom. Jego budowa geologiczna jest dotychczas słabo poznana, ze względu na miąższe przykrycie osadami kenozoicznymi; podobnie niewiele wiadomo o mineralizacjach rudnych występujących w obrębie skał krystalicznych tego bloku.

Obszar bloku przedsudeckiego zajęty jest w ok. 70% przez użytki rolne, w ok. 10% przez zabudowania miejsko-wiejskie, pozostałe 20% przypada na lasy. Z danych tych wynika, że co najmniej 4/5 obszaru ma zachwianą równowagę geochemiczną w strefie powierzchniowej, wywołaną działalnością człowieka. Ingerencja człowieka w naturalny obieg pierwiastków spowodowała zachwianie równowagi fizykochemicznej w warstwie gleby, wywołując wzrastające zakwaszenie gleby; zbiór i wywóz plonów powoduje zubożenie jej w metale.

Według J. Bojakowskiej (1) zakwaszenie gleb w Polsce jest powszechne, ponieważ proces ten w strefie klimatu umiarkowanego jest procesem naturalnym, a ostatnio przyspieszonym i spotęgowanym przez stosowanie nawozów sztucznych i odpadów oraz kwaśnymi opadami wywołanymi emisją związków siarki i azotu.

Wywołane działalnością człowieka zachwianie równowagi geochemicznej na przeważającym obszarze bloku przedsudeckiego wymaga uwzględnienia tego faktu i odpowiedniego dopasowania metodyki zdjęcia geochemicznego.

Metodyka poszukiwań mineralizacji rudnych występujących pod miąższym przykryciem osadami kenozoicznymi nie była dotychczas stosowana w Polsce. Przystępując do prac poszukiwawczych, podjęto badania metodyczne, których celem jest opracowanie skutecznej metody geochemicznej, umożliwiającej detekcję mineralizacji rudnych pod osadami kenozoicznymi, a jednocześnie umożliwiającą uniknięcie wpływu czynników wywołanych działalnością człowieka.

Jednym z istotnych zagadnień metodycznych jest problem optymalnej głębokości pobrania próbki do badań geochemicznych. Pod tym pojęciem rozumie się taką głą-

bokość, która umożliwi uniknięcie wpływu anomalii technogenicznych, a jednocześnie gwarantuje wyjawienie wtórnych aureol rozproszenia pierwiastków w pokrywie osadowej nad mineralizacją rudną. W celu rozwiązania tego problemu wykonano opróbowanie geochemiczne w rejonie Środy Śląskiej i Paszowic (ryc. 1). Wybrany teren jest reprezentatywny dla bloku przedsudeckiego. W rejonie Środy Śląskiej podłoże krystaliczne bloku przedsudeckiego występuje na głęb. 150–200 m i jest zbudowane z gnejsów amfibolowych, charakteryzujących się wysokimi zawartościami Ni, Co, Cr, oraz obecnością mineralizacji siarczkowej (3).

Podłoże krystaliczne w rejonie Paszowic występuje na głęb. 1–25 m, jest zbudowane z granitów, w obrębie których są znane przejawy mineralizacji siarczkowej Mo, Cu, Zn (4, 6).

W rejonie Środy Śląskiej wykonano profil geochemiczny długi 9 km, krok opróbowania 100 m; natomiast w



Ryc. 1. Przybliżona lokalizacja profili geochemicznych na tle głównych jednostek strukturalnych Dolnego Śląska

Fig. 1. Approximate localization of the geochemical profiles on the background of the structural pattern of the Lower Silesia

rejonie Paszowic wykonano dwa prostopadłe do siebie profile geochemiczne o dług. 2,5 km każdy, krok opróbowania wyniósł tu 50 m. W celu ustalenia optymalnej głębokości opróbowania, próbki geochemiczne pobierano z trzech interwałów głęb.: 0,3–0,5, 0,8–1,0 i 1,3–1,5 m. Górną 30-centymetrową warstwę gleby wyłączono z opróbowania, ponieważ wykonywano je głównie na polach ornych, a do tej głębokości gleba jest wymieszana w wyniku corocznej orki pól – w jej obrębie równowaga geochemiczna pierwiastków jest zachwiana w najwyższym stopniu przez doprowadzenie metali z atmosfery – oraz z nawozami mineralnymi i odprowadzaniem metali wraz z płodami rolnymi.

Próbki geochemiczne zanalizowano na zawartość: Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pb i Hg. Średnie zawartości pierwiastków w górnym poziomie opróbowania (0,3–0,5 m) istotnie różnią się od zawartości w poziomach środkowym i dolnym (tab. I i II). Różnice te są spowodowane wpływem działalności ludzkiej, zmieniającym naturalne warunki środowiska przyrodniczego. W przypadku ołowiu obserwujemy wzbogacenie górnego poziomu opróbowania, co jest związane najprawdopodobniej z zanieczyszczeniem gleby, aż do poziomu 0,5 m, wywołanym spalinami samochodowymi. W przypadku Ni, Co, Cu i Mo obserwujemy zjawisko deficytu tych pierwiastków w górnym poziomie opróbowania, wywołanego pobieraniem ich przez rośliny uprawne. W długim okresie proces ten prowadzi do zubożenia górnego poziomu w metale. W środkowym i dolnym poziomie opróbowania zawartości badanych pierwiastków są podobne, występujące różnice między zawartościami średnimi nie są istotne (tab. I i II).

Z powyższych danych można wnioskować, że wpływ

Tabela I

ZESTAWIENIE ŚREDNICH ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW W PRÓBKACH GEOCHEMICZNYCH Z REJONU ŚRODY ŚLĄSKIEJ (Z OKREŚLENIEM ISTOTNOŚCI RÓŻNIC WARTOŚCI ŚREDNICH WEDŁUG KRYTERIUM t-STUDENTA, NA POZIOMIE 0,01%; t tab. = 2,66)

Strefa opróbowania w m	Zawartość metali w ppm (Hg w ppb)													
	Mo	t obl.	Co	t obl.	Ni	t obl.	Cu	t obl.	Zn	t obl.	Pb	t obl.	Hg	t obl.
0,3–0,5	0,46	2,56	10,6	0,54	18,1	3,85	14,9	1,89	119,8	3,54	28,5	5,59	111,6	2,93
0,8–1,0	0,65		11,7		26,9		18,6		98,1		18,5		70,0	
1,3–1,5	0,62	0,41	11,8	0,04	27,3	0,20	18,3	0,20	97,6	0,13	18,4	0,10	71,0	0,08

Tabela II

ZESTAWIENIE ŚREDNICH ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW W PRÓBKACH GEOCHEMICZNYCH Z REJONU PASZOWIC (Z OKREŚLENIEM ISTOTNOŚCI RÓŻNIC WARTOŚCI ŚREDNICH WEDŁUG KRYTERIUM t-STUDENTA, NA POZIOMIE 0,01%; t tab. = 2,70)

Strefa opróbowania w m	Zawartość metali w ppm (zawartość Hg w ppb)													
	Mo	t obl.	Co	t obl.	Ni	t obl.	Cu	t obl.	Zn	t obl.	Pb	t obl.	Hg	t obl.
Profil I														
0,3–0,5	0,36	3,72	12,5	3,27	22,3	4,25	21,4	5,60	83,8	0,05	19,5	3,97	61,8	3,32
0,8–1,0	0,57		17,2		35,7		35,7		84,0		15,3		81,3	
1,3–1,5	0,57	15,2	1,35	29,8	1,78	31,3	1,48	85,0	0,27	13,7	1,41	99,3	2,21	
Profil II														
0,3–0,5	0,29	1,47	8,9	4,40	15,6	3,74	18,6	4,78	83,3	2,12	22,8	7,28	54,4	2,10
0,8–1,0	0,63		13,1		31,6		25,1		90,5		16,1		64,4	
1,3–1,5	1,21	0,73	12,2	0,62	28,8	0,52	26,4	0,65	99,7	1,80	16,8	0,77	74,9	2,00

Tabela III

ZESTAWIENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW KONTRASOWOŚCI ANOMALII GEOCHEMICZNYCH (OBLICZONE WG WZORU A.P. SOŁOWOWA i in. 1985)

Rejon	Nr profilu	Strefa opróbowania w m	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Hg	Zespół pierwiastków kontrastujących anomalie
Środa Śląska	I	0,3–0,5	3,8	1,3	3,4	3,9	3,3	3,7	2,8	Ni, Cu, Zn
		0,8–1,0	3,4	4,3	3,3	3,0	3,6	3,2	2,6	
		1,3–1,5	1,8	2,5	3,8	3,2	4,8	2,9	2,4	
Paszowice	I	0,3–0,5	3,2	4,0	4,1	4,3	3,6	2,8	3,8	Mo, Pb
		0,8–1,0	3,5	2,5	2,7	2,5	3,0	3,5	3,5	
		1,3–1,5	3,7	2,9	2,8	3,2	2,3	4,0	2,5	
	II	0,3–0,5	2,4	3,6	2,1	2,2	2,3	3,6	2,9	Mo, Co, Cu, Zn
		0,8–1,0	4,1	4,3	1,9	3,1	3,8	2,6	3,1	
		1,3–1,5	3,9	4,5	4,3	3,7	4,7	4,1	2,3	

zanieczyszczeń technogenicznych dochodzi do głęb. 0,5 m i że optymalną dla opróbowania geochemicznego na obszarze bloku przedsudeckiego jest głęb. 0,8–1,0 m.

Podobne wnioski nasuwają się po przeanalizowaniu współczynników kontrastowości anomalii (tab. III), obliczonych wg wzoru A.P. Sołowowa i in. (7). W górnym poziomie często nie mają one związku z odpowiednimi współczynnikami z poziomu środkowego i dolnego, co świadczy o innym stopniu skoncentrowania pierwiastków w poziomie górnym lub innych formach ich występowania, wywołanych wpływem działalności ludzkiej. Wielkości współczynników kontrastowości anomalii ogólnie wzrastają ku dołowi (tab. III). Wynika z tego, że próbki pobrane z większych głębokości dają bardziej pewne anomalie.

Z danych literaturowych wiadomo, że nad zakrytymi złożami rud metali tworzą się nałożone wtórne aureole rozproszenia pierwiastków występujących w formach łatwo migrujących (3, 5, 8). Stężenia pierwiastków wskaźnikowych w obrębie wtórnych aureol rozproszenia są zwykle niskie, nieznacznie wyróżniają się w stosunku do wartości tła geochemicznego poszczególnych pierwiastków, charakterystycznego dla danego obszaru.

Podstawową metodą poszukiwań zakrytych złóż rud jest metoda zdjęcia geochemicznego, lecz w klasycznym wydaniu nie sprawdza się ze względu na niskie koncentracje pierwiastków w obrębie nałożonych wtórnych aureol rozproszenia, słabo wyróżniających się od tła geochemicznego, poza tym niekorzystny wpływ wywołują przemysłowe zanieczyszczenia gleb zmieniające naturalny obieg i koncentracje pierwiastków w glebach oraz wywołujące anomalie technogeniczne.

Jednym ze sposobów wyznaczania anomalii geochemicznych jest metoda wzmocnienia słabych anomalii pojedynczych pierwiastków ich wpływem sumarycznym. Na możliwość zastosowania takiego sposobu wskazuje analiza współczynników kontrastowości anomalii geochemicznych (tab. III). Na przykład kontrastowość anomalii Ni

w rejonie Środy Śląskiej wynosi 3,4 (tab. III); przy uwzględnieniu wpływu dwu pierwiastków Ni i Cu kontrastowość anomalii wzrośnie do 7,3, a przy uwzględnieniu trzech pierwiastków (Ni, Cu, Zn) – wyniesie 10,6. Doboru pierwiastków wzmacniających anomalie geochemiczne dokonano na podstawie obliczonych współczynników kontrastowości anomalii i współczynników korelacji (tab. IV–VI).

Pierwiastki wykazujące anomalne zawartości (o współczynnikach kontrastowości powyżej 3), a jednocześnie

Tabela V  
ZESTAWIENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI  
PASZOWICE, PROFIL I

Pierwiastek	Poziom opróbowania	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Hg
Mo	0,5	–	–	–	0,70	–	–
	1,0	–	–	–	–	–	–
	1,5	–	0,45	–	0,45	–	–
Co	0,5		0,97	0,77	–	–	0,37
	1,0		0,92	0,77	–	–	–
	1,5		0,82	0,66	0,42	–	–
Ni	0,5			0,81	–	–	–
	1,0			0,83	–	–	–
	1,5			0,83	–	–	–
Cu	0,5				–	–	–
	1,0				–	–	–
	1,5				–	–	–
Zn	0,5					0,48	–
	1,0					–	–
	1,5					–	–
Pb	0,5						0,38
	1,0						–
	1,5						–

Korelacja występująca przy  $r \geq 0,37$ ; – brak korelacji.  
Pierwiastki korelujące dodatnio: Co – Ni – Cu.

Tabela IV  
ZESTAWIENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI  
ŚRODA ŚLĄSKA, PROFIL I

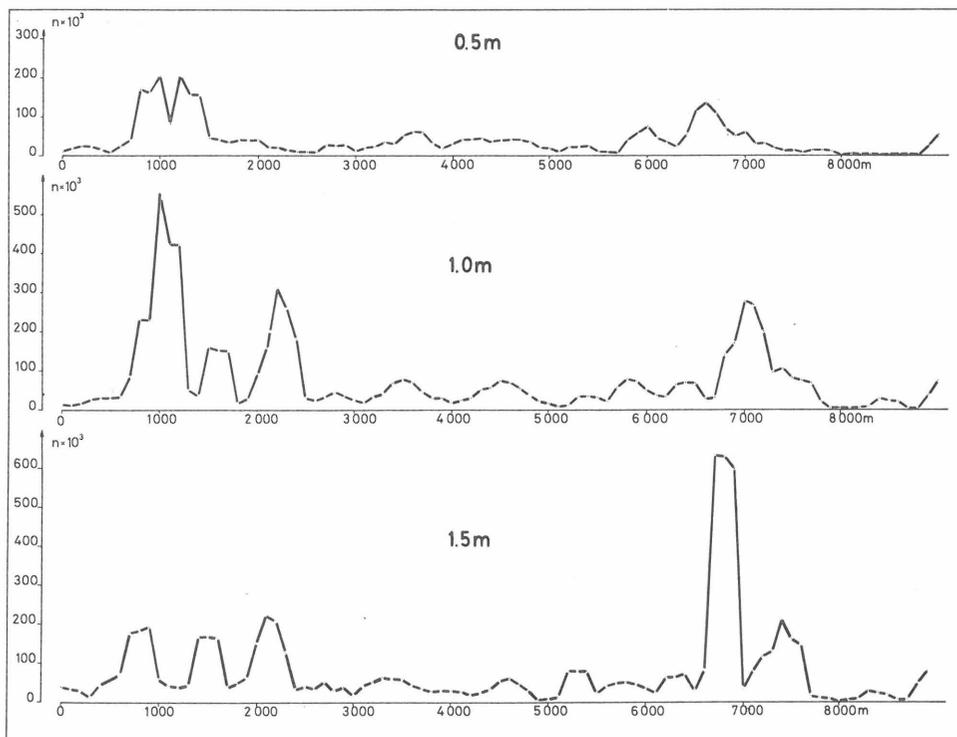
Pierwiastek	Poziom opróbowania	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Hg
Mo	0,5	0,31	0,58	0,66	–	–	–
	1,0	–	–	0,40	–	0,46	–
	1,5	–	–	–	0,40	–	–
Co	0,5		0,63	–	–	–	–
	1,0		0,55	–	–	–	–
	1,5		0,58	–	0,46	0,37	–
Ni	0,5			0,59	–	–	–
	1,0			0,65	0,32	0,39	–
	1,5			0,65	0,62	0,41	0,29
Cu	0,5				–	0,28	–
	1,0				0,42	0,40	–
	1,5				0,48	0,37	–
Zn	0,5					0,29	0,74
	1,0					–	–
	1,5					0,42	–
Pb	0,5						–
	1,0						–
	1,5						–

Korelacja występuje przy  $r \geq 0,28$ ; – brak korelacji.  
Pierwiastki korelujące dodatnio: Co – Ni – Cu – Pb

Tabela VI  
ZESTAWIENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI  
PASZOWICE, PROFIL II

Pierwiastek	Poziom opróbowania	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Hg
Mo	0,5	0,65	0,67	0,42	0,62	–	–
	1,0	0,81	0,65	0,37	0,57	–	0,47
	1,5	0,94	0,88	0,55	0,87	0,69	–
Co	0,5		0,78	0,54	0,51	–	–
	1,0		0,88	0,56	0,40	0,43	0,55
	1,5		0,96	0,67	0,82	0,68	–
Ni	0,5			0,64	0,53	–	–
	1,0			0,68	–	0,44	0,52
	1,5			0,78	0,83	0,69	–
Cu	0,5				–	–	–
	1,0				–	–	0,40
	1,5				0,62	0,54	0,65
Zn	0,5					–	–
	1,0					–	–
	1,5					0,72	–
Pb	0,5						–
	1,0						–
	1,5						–

Korelacja występuje przy  $r \geq 0,37$ ; – brak korelacji.  
Pierwiastki korelujące dodatnio: Mo – Co – Ni – Cu – Zn.



Ryc. 2. Wykresy iloczynu zawartości Ni x Cu x Zn w I profilu geochemicznym z rejonu Środy Śląskiej. Wartości 0,5, 1,0 i 1,5 odpowiadają trzem głębokościom pobrania próbek

Fig. 2.  $^{\circ}$ Ni x Cu x Zn product value in the Ist geochemical profile from the vicinity of Środa Śląska. Numbers 0.5, 1.0 and 1.5 refer to three depths of sampling respectively

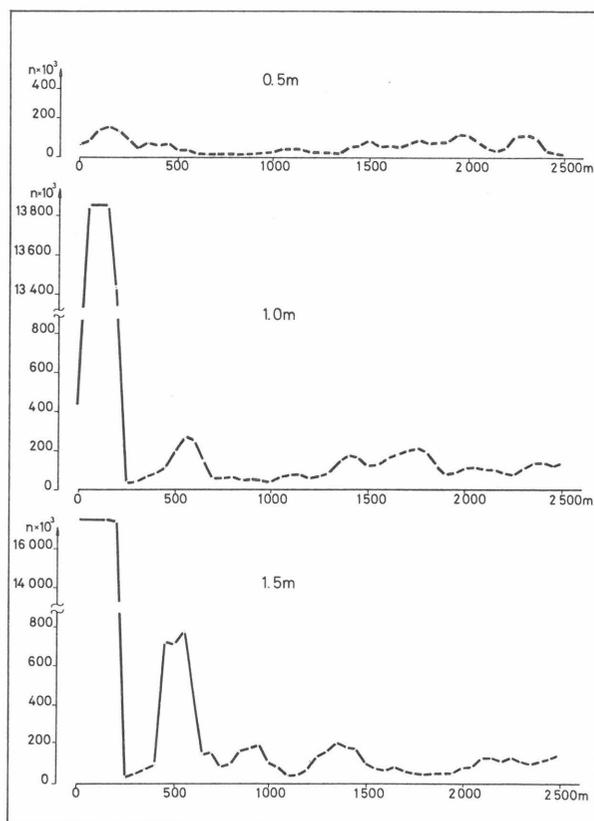
występujące w dodatnim związku korelacyjnym, stanowią zespół pierwiastków wzmacniających anomalie geochemiczne. W przypadku profilu geochemicznego z rejonu Środy Śląskiej takim zespołem są: Ni-Cu-Zn.

Na ryc. 2 przedstawiono profile geochemiczne wzmacnione metodą iloczynu zawartości Ni, Cu i Zn dla trzech poziomów opróbowania. Uzyskano wyraźne anomalne odcinki profilu w odległościach 350-2200 m i 6600-7600 m. Z przytoczonych profili widać jednocześnie, że anomalie najłatwiej zaznaczają się w górnym poziomie opróbowania (0,3-0,5 m), a najwyraźniej w środkowym

Podobnie wyłoniono zespół pierwiastków wzmacniających anomalie dla profili geochemicznych z rejonu Paszowic. W profilu geochemicznym II pierwiastkami wzmacniającymi anomalie są: Mo-Co-Cu-Zn (tab. III i IV).

Anomalie wyłonione metodą iloczynową tego zespołu pierwiastków przedstawiono na ryc. 3. Obserwujemy tu bardzo wyraźną anomalię na odcinku 0-200 m profilu i słabą - na odcinku 350-600 m. Zaznaczają się one w drugim i trzecim poziomie opróbowania, natomiast w górnym nie występują, co tłumaczy się intensywnym zachwianiem równowagi geochemicznej w górnym poziomie opróbowania.

Autor niniejszych uwag proponuje stosować poniższe zmodyfikowane opróbowanie geochemiczne terenów o zachwianej równowadze geochemicznej, spowodowanej działalnością ludzką. Proponuje pobierać próbki z głębokości większych, gdzie wpływ zachwianej równowagi nie sięga; w przypadku bloku przedsudeckiego jest to głęb. 0,8-1,0 m. Dzięki takiemu podejściu jest ułatwiona interpretacja wyników analiz próbek geochemicznych, zbędne jest uwzględnienie wpływu dodatkowych czynników wywołujących zachwianie równowagi geochemicznej, których przeważnie nie ma możliwości uwzględnić w całości, a ono zawsze znacznie wpływa na wzrost kosztów zdjęcia geochemicznego.



Ryc. 3. Wykresy iloczynu zawartości Mo x Co x Cu x Zn w II profilu geochemicznym z rejonu Paszowic. Wartości 0,5, 1,0, i 1,5 odpowiadają trzem głębokościom pobrania próbek

Fig. 3. Mo x Co x Cu x Zn product value in the IInd geochemical profile from the vicinity of Paszowice. Numbers 0.5, 1.0 and 1.5 refer to three depths of sampling respectively

Wyznaczanie anomalii geochemicznych proponuje się dokonywać na podstawie anomalii zespołowych kilku pierwiastków, które wykazują zawartości anomalne w danej zbiorowości (współczynniki kontrastowości powyżej 3) oraz występują w dodatniej korelacji między sobą.

Współczynniki kontrastowości oblicza się ze wzoru (7):

$$\gamma = \frac{1}{\lg} \cdot \lg \frac{C_{\max}}{C_t}$$

gdzie:

- $\gamma$  – współczynnik kontrastowości,
- $C_{\max}$  – maksymalna zawartość pierwiastka w danej zbiorowości,
- $C_t$  – zawartość tła pierwiastka danej zbiorowości,
- $\varepsilon$  – mnożnik standardowy obliczany ze wzoru:

$$\varepsilon = \sqrt[3]{\frac{C_a}{C_t}}$$

gdzie:

- $C_a$  – dolna granica zawartości anomalnej.

Proponowana powyżej głębokość opróbowania geochemicznego i sposób analizy wyników zawartości pierwiastków w próbkach geochemicznych ma zastosowanie do obszarów przykrytych osadami kenozoicznymi znacznej miąższości, powierzchnia których uległa zachwianiu równowagi geochemicznej w wyniku działalności ludzkiej, czyli na obszarach o dużej gęstości zaludnienia.

#### LITERATURA

1. B o j a k o w s k a J. – Surowce węglanowe w ochronie środowiska. Prz. Geol. 1987 nr 7.
2. G r i g o r i a n S. W., M o r o z o w W. L. – Wtoriczyne litochimiczskie orieoly pri poiskach skrytogo orudienienija. Nauka 1985.
3. G r o c h o l s k i A. – Serie krystaliczne bloku przed-sudeckiego i związane z nimi perspektywy surowcowe. Biul. Inst. Geol. 1982 nr 341.
4. P e n d i a s H., W a l e n c z a k Z. – Objawy okruszczenia w północno-zachodniej części masywu strzegomskiego. Ibidem 1956 nr 112.
5. S a e t J. E. – Wtoriczyne geochemiczskie orieoly pri poiskach rudnych miestorożdzenij. AN SSSR Nauka 1982.
6. S a ł a c i ń s k i R. – Mineralizacja kruszcowa w aplogranicie rejonu Paszowice na Dolnym Śląsku. Acta Geol. Pol. 1973 nr 3.
7. S o ł o w o w A. P., M a t w i e j e w A. A. – Geochemiczskie metody poiskow rudnych miestorożdzenij. 1985.
8. S w i e s z n i k o w G. B. – O primienienji geochemiczskich metodow pri poiskach głębokozaliegajuszczich rudnych miestorożdzenij w razlicznych lanszafto-geochemiczskich usłowiach [W:] Litochimiczskie metody poiskow głębokozaliegajuszczich rudnych miestorożdzenij. Nauka 1985.

Prospecting for ore deposits was begun in the area of the Fore-Sudetic Block under the thick cover of Cenozoic deposits (up to 200 m). The first phase of works included methodical investigations on applicability of geochemical methods. Preliminary investigations were carried out to determine the optimum depth of sampling in the area where the geochemical balance in soil horizon is disturbed by industrial and agricultural activity. The second aim was to choose a method for determining geochemical anomalies related to covered mineral deposits. It is proved that the geochemical balance is disturbed to the depth of 0,5 m. Thus geochemical samples should be taken at the depth of 0,8–1,0 m i.e. below the layer contaminated by human activities.

Geochemical anomalies are proposed to be estimated with regard to the elements which are anomalously concentrated in particular assemblage and correlate with each other. The contrast geochemical anomalies are obtained in this way.

Exemplary geochemical profiles with anomalous zones discovered in the way described as well as adequate mathematical formulae are presented in this paper.

#### РЕЗЮМЕ

В Предсудетском блоке проводятся поиски рудных месторождений, прикритых кайнозойскими осадками большой мощности (до 200 м). В первом этапе проводились методические исследования возможности применения геохимических методов. Были выполнены предварительные исследования для определения оптимальной глубины отбора геохимической пробы на территории с нарушенным геохимическим равновесием в почвенном горизонте, вызванным промышленной и сельскохозяйственной деятельностью человека.

Второй целью исследований был подбор метода определения геохимических аномалий, которые являются отражением закрытых рудных минерализаций. Определено, что до глубины 0,5 м геохимическое равновесие нарушено. На территории Предсудетского блока предлагается отбирать пробы из глубины 0,8–1,0 м, т.е. из зоны, до сих пор не зараженной влиянием деятельности человека.

При определении геохимических аномалий предлагается учитывать влияние нескольких химических элементов, которые обнаруживают аномальные содержания в данном комплексе, а также выказывают положительную корреляцию друг с другом. Таким образом получают контрастные геохимические аномалии. Приведены геохимические профили с выявленными таким образом аномальными зонами на разрезах, а также соответствующие математические формулы для расчетов.