

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ATMOGEOCHEMII DO POSZUKIWAŃ URANU

UKD 550.84atmgeochemia.001.8:553.495

Uran ma charakterystyczną właściwość fizyczną, która wyróżnia go spośród innych pierwiastków, a która – wydawać by się mogło – niezmiernie ułatwia jego poszukiwanie. Tą właściwością jest radioaktywność naturalna. Do poszukiwań uranu zaczęto oczywiście używać metod radiometrycznych. Początkowo były to badania natężenia naturalnego promieniowania gamma, a następnie w miarę rozwoju radiometrii – zwłaszcza prospekcyjnej – bardziej wyspecjalizowane i subtelne metody, głównie spektrometria powierzchniowa i otworowa, oraz aerospetrometria naturalnego promieniowania gamma, rejestracja śladów cząstek α , metody rentgenoradiometryczne emanometrii radonowej oraz inne metody geochemiczne.

Ta mnogość metod świadczy o tym, że sprawa poszukiwań uranu nie jest jednak tak łatwa, jak się początkowo wydawało. Uran jest jednym z kilkunastu (17) naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Razem z torem Th^{232} i potasem K^{40} jest prawie całkowicie odpowiedzialny za promieniotwórczość naturalną skał. Mimo tego, że uran, tor i potas są bardzo rozpowszechnione w przyrodzie, to z wyjątkiem potasu, który tworzy duże złoża soli potasowych, tylko sporadycznie tworzą większe złoża. Zawartość uranu w skorupie ziemskiej wg K. Smulikowskiego wynosi $4 \times 10^{-4}\%$, toru $1 \times 10^{-3}\%$, a potasu – 2,35%. Chociaż rozpowszechnienie toru jest większe niż ołowiu, a uranu większe niż rtęci i srebra, to tor i uran nie są spotykane w tak licznych nagromadzeniach jak ołów, rtęć i srebro.

Do poszukiwań uranu i toru w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych stosuje się spektrometrię naturalnego promieniowania gamma – powierzchniową, otworową, a także lotniczą. Wdrożono również do tego celu metodę rejestracji śladów cząstek α (tylko uran). W ostatnich latach są również prowadzone badania nad zastosowaniem atmogeochemii w prospekcji geochemicznej w poszukiwaniu uranu. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę metody atmogeochemicznej, aparaturę, metody prac polowych, obróbkę materiału polowego i rezultaty. Inne przedstawione metody poszukiwań uranu i pierwiastków promieniotwórczych, ze względu na ich popularność, nie będą omawiane.

ATMOGEOCHEMIA

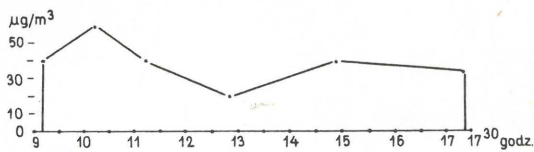
Atmogeochemia jest metodą polegającą na określaniu zawartości poszczególnych pierwiastków (lub ich związków) w powietrzu glebowym lub powietrzu podglebia i horyzontów głębszych. Badanie zawartości pierwiastków lub związków chemicznych w powietrzu glebowym (termin „powietrze glebowe” będzie używany niezależnie od tego czy pochodzi z gleby, podglebia lub poziomów głębszych) odbywa się wprost w aparaturze pomiarowej w terenie, np. merkurometria (określanie zawartości rtęci) lub me-

tanometria, jak też w sposób pośredni. Drugi sposób jest bardziej rozpowszechniony, ze względu na złożoność zagadnienia, gdyż tylko nieliczne pierwiastki lub związki można oznaczyć bezpośrednio w terenie, a prócz tego dla każdego pierwiastka lub związku należałoby zbudować odrębną aparaturę. W badaniach terenowych dokonuje się związania w odpowiednich absorbentach lub „wychwycenia” na filtrach określonych pierwiastków, grup pierwiastków lub ich związków i w postaci próbek (ciekłych lub stałych) przekazanie do laboratoriów specjalistycznych, gdzie określa się zawartość poszczególnych pierwiastków lub grup pierwiastków. Na tej samej zasadzie oparta jest metoda lotnicza opracowana w firmie Baringer pod nazwą „Air-trace”.

Zagadnienie obecności w powietrzu glebowym „par” poszczególnych pierwiastków w postaci wolnych atomów, jonów lub drobin jest bardzo skomplikowane i jeszcze ostatecznie mechanizm tego zjawiska nie został rozwiązany. Niewątpliwie niektóre pierwiastki mogą dysocjować ze swoich siarczków, sublimować lub też z postaci związanej w sieciach krystalicznych być z nich wytrącane w postaci jąder odrzutu podczas procesów promieniotwórczych lub podczas uderzeń przez wysokoenergetyczne cząstki ciężkie.

Zagadnienie to nie będzie w niniejszym artykule poruszane, wiadomo jednak, że stwierdzono w gazach glebowych obecność wielu pierwiastków i fakt ten jest wykorzystywany w prospekcji geochemicznej jako wskaźnik obecności nagromadzenia poszczególnych pierwiastków (ich związków) w postaci złóż. Zawartość pierwiastków (koncentracja) w powietrzu glebowym w danym punkcie nie jest wielkością stałą, lecz ulega wariacjom dobowym, rocznym, a nawet wieloletnim. Na ryc. 1 (wg B. Krčmára) przedstawiono dzienną zmianę zawartości Fe w powietrzu glebowym na głęb. 0,7 m, a na ryc. 2 (jw.) – wariacje roczne zawartości poszczególnych pierwiastków w różnych złożach CSRS. Z danych tych wynika, że najodpowiedniejszą porą dnia do badań atmogeochemicznych są godziny przedpołudniowe, a najodpowiedniejszą porą roku – miesiące od maja do września.

Metoda prac polowych w atmogeochemii polega na pobraniu z określonej głębokości (przeważnie z podglebia) pewnej objętości powietrza glebowego i przepuszczenie go przez odpowiedni odczynnik chemiczny, w którym badany pierwiastek zostaje związany lub zaabsorbowany. Stosowane też bywają filtry typu aerosolowego, na których z powietrza glebowego „wychwytywane” są badane pierwiastki (lub ich związki). Dobór odczynników chemicznych i ich stężeń dla związania poszczególnych pierwiastków jest tu sprawą bardzo ważną, tym bardziej że technika oznaczeń laboratoryjnych stawia też pewne ograniczenia co do rodzaju użytego odczynnika. Dobór objętości powietrza, jaką należy przepuścić przez odczynnik dla wielu pierwiastków, został ustalony eksperymentalnie.



Ryc. 1. Zmiany dobowe zawartości Fe w powietrzu glebowym na głębokości 0,7 m.

Fig. 1. Diurnal changes in Fe content in soil air at depth of 0.7 m.

Proces „nasylenia” odczynnika chemicznego elementami zawartymi w powietrzu glebowym odbywa się w specjalnej retortie, a przepływ powietrza przez odczynnik jest wywołany za pomocą pompy ssącej podłączonej do retorty. Korzystniejsze byłoby podawanie powietrza glebowego do retorty za pomocą pompy ssąco-tłoczącej, lecz w tym układzie istnieje możliwość „zanieczyszczenia” próbki materiałami, z których zbudowana jest pompa.

Efektom prac polowych są nasycone próbki odczynnika chemicznego (lub filtry) umieszczone w specjalnych fiolkach z opisem nazwy obiektu, numeru profilu i numeru punktu pobrania oraz datą i rodzajem odczynnika. Tak przygotowane próbki są przekazywane do laboratorium, w celu ilościowego oznaczenia zawartości badanego pierwiastka w próbce. Wyniki oznaczeń laboratoryjnych są następnie nanoszone na profile łącznie z innymi pomiarami geofizycznymi i danymi geofizycznymi oraz geologicznymi.

BADANIA ZAWARTOŚCI URANU W POWIETRZU GLEBOWYM

Pierwszą próbę zastosowania atmogeochemii do poszukiwań uranu przeprowadzono w 1981 r. (7) na trzech obiektach: w rejonie kopalni Majewo, w rejonie Karpacza i w Kowarach. Powietrze glebowe pobierano z głęb. 0,5–0,7 m w ilości 70 litrów. Jako odczynnika absorbującego użyto 5M HNO₃. Analizy chemiczne wykonano w Instytucie Badań Jądrowych metodą fluorescencyjną na fluorymetrze transmisyjnym (tab. I), a część próbek przebadano w Zakładzie Dozymetrii Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

W Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej opracowano oryginalną metodę oznaczeń stężeń uranu

Tabela I

WYNIKI OZNACZEŃ LABORATORYJNYCH WYKONANYCH W IBJ

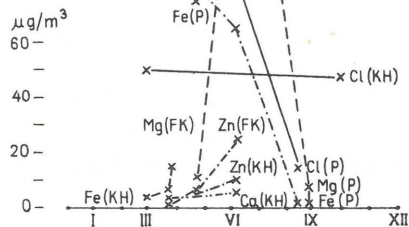
Obiekt	Nr pkt	Stężenie U μg/m ³	Obiekt	Nr pkt	Stężenie U μg/m ³
Karpacz prof. 1	280	0,214	Majewo prof. 4	100	0,143
	300	0,214		120	0,214
	320	0,286		130	0,071
	330	0,286		140	0,071
	340	0,214		160	0,143
	350	0,214		170	0,71
	360	0,143		Karpacz prof. 4	100
	365	0,214	110		0,143
	370	0,214	120		0,143
	380	0,143	130		0,143
390	0,214	140	0,071		
400	0,143	160	0,071		
420	0,286	180	0,071		

Tabela II

WYNIKI POMIARÓW STĘŻEŃ URANU W PRÓBKACH CIEKŁYCH

Nr próbki	Obiekt	Stężenie U w μg/próbkę (w 70 l powietrza)	Stężenie U w pCi/próbkę (w 70 l powietrza)
470	Karpacz	0,12	0,08
100	prof. 1 Majewo	0,37	0,26
100	prof. 4 Majewo	0,04	0,03
3	Kowary	0,14	0,10
6	Kowary	0,11	0,08
7	Kowary	0,03	0,02

Dolna granica wykrywalności metody 0,001 μg/próbkę.



Ryc. 2. Wariacje roczne zawartości pierwiastków na różnych złożach czeskosłowackich.

Lokalizacja Prameny (P), Farska Kyselka (FK), Kutna Hora (KH).

Fig. 2. Annual variations in content of elements in various deposits in Czechoslovakia.

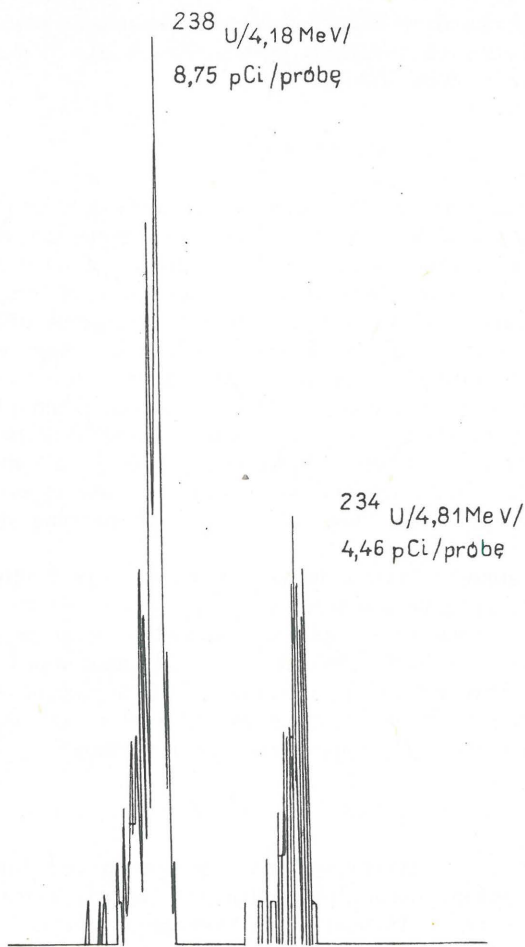
Location of Prameny (P), Farska Kyselka (FK), and Kutna Hora (KH).

polegającą na elektrolitycznym osadzeniu uranu na płytach stalowych z jednoczesnym usunięciem dużej części polonu. Następnie płytki z osadzonym uranem były poddawane badaniom α spektrometrycznym w komorze próżniowej. Jako detektora cząstek α użyto detektorów krzemowych o powierzchni czynnej 300 mm². Otrzymane wyniki przedstawia tab. II.

Na ryc. 3 przedstawiono spektrogram próbki o wysokiej zawartości U²³⁸ i U²³⁴ (odcinki widma zaciemnione). Na lewo są zarejestrowane również widma niższej energetycznych cząstek α.

W 1982 r. w ramach tematu „Opracowanie metodyki pomiarów wieloelementowej analizy śladowych zawartości związków metali w gazach glebowych” (9) przeprowadzono w rejonie Karkonoszy kolejną serię badań zawartości uranu w gazach glebowych. Oznaczenie uranu w części próbek wykonano w Laboratorium Instytutu Geologicznego, a część w CLOR, metodą wyżej przedstawioną (tab. III). W tym samym rejonie wykonano również badania geochemiczne (oznaczono zawartość uranu w aluwach cieków wodnych, tab. III).

Tabela III posłużyła do skonstruowania ryc. 4, na której zestawiono na odcinku profilu 30 (od punktu 24 do punktu 35) wyniki badań atmogeochemicznych z geochemicznymi. Skala z lewej strony rysunku odnosi się do krzywej a (atmogeochemicznej) i jest wyrażona w mikrogramach całkowitej zawartości uranu, tj. w 70 litrach powietrza glebowego,



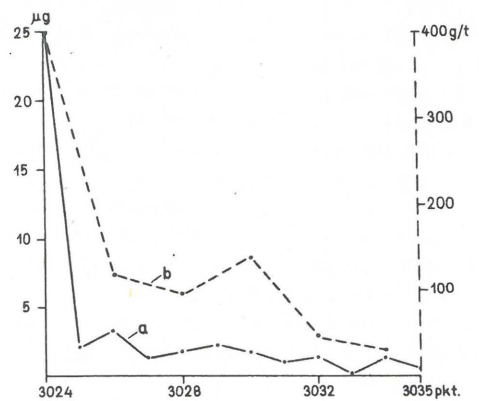
Ryc. 3. Spektrogram cząstek α pochodzących od U^{238} i U^{234} (zaciemnione), w lewej części widoczne pasma cząstek α niżej energetycznych (niezaciemnione).

Fig. 3. Spectrogram of particles α from U^{238} and U^{234} (shaded); bands of low-energy particles α visible in the left part (unshaded).

Tabela III

BADANIA ZAWARTOŚCI URANU
W GAZACH GLEBOWYCH
ORAZ W ALUWIACH CIEKÓW WODNYCH

Nr próbki	Nr punktu	Zawartość U $\mu\text{g}/\text{próbkę}$ (w 70 l powietrza)	U g/t w aluwiach cieków wodnych
3	65	$10,54 \pm 0,11$	
4	90	$58,91 \pm 0,26$	
5	115	$0,74 \pm 0,09$	
6	3024	$24,94 - 0,27$	400
7	3025	$2,17 \pm 0,11$	—
8	3026	$3,28 \pm 0,23$	120
9	3027	$1,31 \pm 0,09$	—
10	3028	$1,57 \pm 0,11$	95
11	3029	$2,31 \pm 0,16$	—
14	3030	$1,55 \pm 0,11$	135
15	3031	$1,08 \pm 0,10$	—
16	3032	$1,45 \pm 0,10$	46
17	3033	$0,15 \pm 0,05$	—
18	3034	$1,48 \pm 0,17$	30
19	3038	$0,57 \pm 0,09$	18
20	3039	$0,23 \pm 0,07$	—
21	2919	$0,89 \pm 0,11$	27
22	2920	$0,68 \pm 0,10$	27
24	2922	$0,48 \pm 0,08$	28



Ryc. 4. Porównanie zawartości uranu: a – w powietrzu glebowym, b – w aluwiach cieków wodnych.

Fig. 4. Comparison of contents of uranium in: a – soil air, b – water creek alluvia.

a z prawej strony rysunku odnosi się do krzywej b (geochemicznej) i jest wyrażona w gramach uranu na tonę utworów aluwialnych. Jeżeli się weźmie pod uwagę fakt, że atmochemia i zdjęcia aluwialne bazują na zupełnie różnych zjawiskach oraz że do oznaczeń zawartości uranu użyto odmiennych metod laboratoryjnych i różnych laboratoriów, zgodność otrzymanych wyników jest bardzo dobra. Należy również podkreślić fakt, iż punkt pobrania próbki z powietrza glebowego przeważnie był oddalony do kilku metrów od miejsca (punktu) pobrania próbki do badań geochemicznych. Jakkolwiek ilość materiału porównawczego nie pozwala na wyciągnięcie wniosków ogólniejszych, to jednak należy stwierdzić, że dotychczasowe wyniki otrzymane z badań atmochemicznych, dotyczące nie tylko uranu (7, 9), upoważniają do zwrócenia większej uwagi na tę metodę.

Wyniki badań, przedstawione w tab. III i na ryc. 4 świadczą o dużych możliwościach praktycznych metody atmochemicznej do poszukiwań geofizycznych złóż uranu i innych metali oraz do rozwiązywania problemów geologicznych, takich jak lokalizowanie stref tektonicznych itp.

WNIOSKI

Współczesna geofizyka nie dysponuje metodą uniwersalną pozwalającą na wykrywanie różnych typów złóż w różnych warunkach geologicznych. Każda z metod poszukiwawczych ma swoje dobre, jak też złe strony w stosunku do innych metod. Sukces poszukiwawczy zależy więc od doboru odpowiedniej metody dostosowanej do spodziewanego typu złoża, warunków geologicznych, a nawet terenowych i pogodowych.

Spektrometria naturalnego promieniowania gamma zarówno powierzchniowa, jak i lotnicza może i powinna być stosowana tam, gdzie górotwór z mineralizacją uranową jest odsłonięty lub przykryty zwietrzeliną autochtoniczną. W takich warunkach spektrometria w zasadzie jest metodą niezastąpioną. Ograniczeniem tej metody jest jej niewielki zasięg głębokościowy; 1-metrowa warstwa nadkładu osłabia intensywność promieniowania gamma od 10^3 do 10^6 razy w zakresie energii kwantów gamma odpowiednio od 3 MeV do 1 MeV. Praktycznie więc naturalne promieniowanie gamma pochodzące od dużego złoża uranu przykrytego metrową warstwą nadkładu jest osłabione

i pochłonięte do tego stopnia, że osiąga poziom tła lub niewiele go przekracza.

Metody rejestracji cząstek α ("track-each") i emanometrii radonowej mogą dać pozytywny rezultat tam, gdzie utwory z mineralizacją uranową są przykryte zwietrzeliną lub utworami młodszymi. Dla tych metod muszą istnieć warunki do migracji (ewentualnie akumulacji) radonu w warstwie przypowierzchniowej. Uważa się, że metody te mogą dawać informacje o złożach uranu zalegających na głębokości do 200 m (1, 2, 4).

Odnosnie do atmogeochemii, to metoda ta może być stosowana tam, gdzie możliwa jest migracja gazów z głębi górotworu systemem spękań, szczelin i por oraz istnieje możliwość akumulacji poszczególnych pierwiastków w powietrzu glebowym (w porach, szczelinach).

Dotychczas brak jeszcze potwierdzenia, ale zdaniem autora, metoda ta powinna dać dobre wyniki w odniesieniu do górotworu silnie spękanego, mającego szczeliny wypełnione zwietrzeliną lub materiałem luźnym. Dotychczasowe rezultaty otrzymane za pomocą tej metody uzasadniają potrzebę dalszego rozwijania i doskonalenia atmogeochemii oraz szerszego jej stosowania.

L I T E R A T U R A

1. Baranow W.I. — Sprawozdanie po radiometrii. Gosgeotiechnizdat Moskwa 1957.
2. Głowacka E. — Metoda śladów cząstek α . Geof. Stosowana 1980 nr 2.
3. Gregory A.F. — Geological applications of portable ray spectrometers. Mc Phar Geophysics 1976.
4. Karasik M.A. et al. — Pary niektórych metali jako atmogeochemiczne wskaźniki andogiennej orudnienia. Doklady AN SSSR 1980.
5. Krčmář B. — Atmogeochemie halos of ultrafine particles, their properties and relation to geologic structures. 27 International Geophysical Symposium Bratislava Czechoslovakia. September 1982.
6. Oleksiak J. et al. — Wytyczne zastosowania spektrometrii naturalnego promieniowania gamma przy rozpoznawaniu i dokumentowaniu złóż surowców mineralnych. Arch. PBG 1978.
7. Rulski S. — Opracowanie metodyki pomiarów wieloelementowej analizy śladowych zawartości związków metali w gazach glebowych. Cz. II. Arch. PBG 1981.
8. Rulski S. — Wykorzystanie metody atmogeochemicznej w poszukiwaniach geologicznych oraz próby określenia śladowych zawartości niektórych pierwiastków w gazach glebowych w rej. Sudetów. Maszynopis 1983.

9. Rulski S. — Zastosowanie wieloelementowej analizy śladowych zawartości pierwiastków w gazach glebowych. Arch. PBG 1982.

S U M M A R Y

The paper presents surface geophysics methods hitherto used in search for uranium. Prospecting potentials of individual methods which involve recording of emitted radiation or emanations originating in the course of decay of uranium, are analysed and their advantageous and disadvantageous aspects discussed. Moreover, there is presented so-called atmogeochemical method, a new one and hitherto unused in our country. Prospecting potential, range of usability, and disadvantageous aspects of the new method are discussed. Moreover, there is given comparison of results obtained with its use on some experimental objects and those of geochemical mapping of water creek alluvia.

The atmogeochemical method is shown to be highly promising in further search for uranium deposits occurring at depths down to several hundred meters. Therefore, it deserves to be further developed and wider used in prospecting. This should be accompanied by improvement of laboratory methods, to make identification of uranium in atmogeochemical samples less time-consuming.

Р Е З Ю М Е

В статье представлены применяемые до сих пор методы поверхностной геофизики для поисков месторождений урана. На основании эмитированного излучения или образовавшихся при распаде урана эманаций проведен анализ проспекционных возможностей отдельных методов, а также их достоинств и недостатков. Представлен также новый, до сих пор не применяемый в нашей стране метод, называемый атмогеохимическим. Описаны проспекционные возможности этого метода, области применения, а также его недостатки. Приведены результаты полученные на нескольких опытных объектах, сделано сравнение этих результатов с результатами геохимической съёмки аллювиальных отложений водотоков.

Резюмируя определено, что этот метод является весьма пригодным для применения в поисках урановых месторождений, находящихся на глубине до нескольких сот метров. Целеобразно дальнейшее развитие и более широкое применение атомогеохимического метода в геофизической проспекции, а также совершенствование лабораторных методов, главным образом для сокращения времени определения урана в атомогеохимических образцах.