JERZY BORUCKI
Instytut Geologiczny

UWAGI O GENEZIE HYDROTERMALNYCH ZŁÓŻ URANU W EUROPIE

HYDROTERMALNE złoża uranu w Europie grupują się prawie wyłącznie w obrębie struktur hercyńskich (10). Jedynie niewielkie koncentracje tego metalu, pozbawione zresztą znaczenia złożowego, spotykane są również w obszarach struktur geologicznych innego wieku. Główne hercyńskie struktury uranonośne w Europie, to przede wszystkim: Meseta Hiszpańska, Masyw Centralny, Masyw Bretoński, Kornwalia, Blok Czeski i Masyw Rodopski. Chociaż ostateczne ukształtowanie tych struktur jest wynikiem działalności ruchów alpejskich, a w ich skład obok hercyńskich zostały wkomponowane również elementy kaledońskie i starsze, to jednak dominującą cechą jest tu intensywna, hercyńska działalność magmowa.

GRANITY I HYDROTERMALNE ZŁOŻA URANU

Hydrotermalne złoża uranu występujące w obrębie struktur hercyńskich w Europie cechują się rozmieszczeniem w obrębie egzo- lub endokontaktów niektórych kwaśnych masywów magmowych. Takie rozmieszczenie, noszące często charakter strefowej aureoli wokół masywu magmowego, sugerowałoby pozornie

oczywistą koncepcję bezpośredniego związku genetycznego między granitem a współwystępującymi złożami uranu. Bardziej szczegółowe rozważania wskazują jednak na konieczności rewizji takiej koncepcji.

P. W. Radionow (19) podkreśla, iż katatermalne złoża uranu powstają prawie jednocześnie, a złoża mezo- i epitermalne znacznie później w stosunku do masywów granitowych, wokół których są zgrupowane. Różnice między wiekiem masywu granitowego a wiekiem mineralizacji mezo- i epitermalnej sięgają, według Radionowa, nawet setek milionów lat. Wytłumaczeniem tego faktu ma być trudna do akceptowania teza o istnieniu w obrębie masywu magmowego „zakonserwowanych" ognisk, wzbogaconych w roztwory hydrotermalne i uruchamianych w wyniku działania późniejszych ruchów tektonicznych.

A. G. Bietiechtin (3) na przykładzie masywu Eibenstock (Góry Kruszcowe) i otaczającej go aureoli hydrotermalnych złóż uranu dowodzi istnienia poważnych różnic wiekowych między czasem powstania wspomnianego masywu a czasem powstania tych złóż. Złoża uranu powstały znacznie później. Dowodem jest ustalona sekwencja utworów magmowych: granit → dajki drobnoziarnistych porfirów kwarcowych → lamprofiry → hydrotermalne żyły uranonośne. Bietiechtin podkreśla istnienie dużych różnic między hipoabisalną facją magmową granitu oraz mezotermalnymi i epitermalnymi facjami żył uranonośnych. Tak duża zmiana warunków i tak złożony układ utworów magmowych wymagał odpowiednio długiego czasu.

Na podstawie prac geologów francuskich (22, 23, 24) można odtworzyć skomplikowane następstwo hercyńskich utworów magmowych, obserwowane zarówno w Masywie Centralnym, jak i Masywie Bretońskim: granity → granulity starsze * → granulity młodsze → → sjenity i pegmatyty → skały typu aplitowego → → minety → hydrotermalne żyły uranonośne. Układ utworów magmowych jest tu jeszcze bardziej skomplikowany niż w poprzednim przypadku i prawdopodobnie wymagał jeszcze większego okresu dla pełnego rozwoju. Autorzy stwierdzają, iż najmłodszym granitom można przypisać wiek karboński, zaś złożom uranu wiek triasowy lub nawet jurajski.

Na obszarze Kornwalii mineralizacja uranowa jest niewątpliwie późniejsza w stosunku do współwystępujących masywów granitowych (6, 8). Niemniej sekwencje utworów magmowych są tu znacznie prostsze: granity → aplity i granity porfirowe → żyły kruszcowe. Również różnice facjalne między granitami a katatermalnymi żyłami uranonośnymi są mniejsze niż w poprzednich rejonach. Być może, iż należy się tu liczyć z krótszym okresem rozwoju od granitów do złóż.

W przypadku złóż portugalskich (13) i hiszpańskich (1), daleko posunięte wietrzenie zatarło w znacznej mierze pierwotne cechy mineralizacji uranowej, utrudniając obserwacje. Jednocześnie stopień zbadania tych złóż jest stosunkowo niski. Niemniej jednak fakt niezgodnego przecinania granitów przez struktury żyłowe świadczy bezspornie o istnieniu pewnych, nie zdefiniowanych co do wielkości różnic wiekowych między tymi utworami.

DATOWANIA BEZWZGLĘDNE

C. F. Davidson (7) zestawił oznaczenia wieku bezwzględnego europejskich granitów i pegmatytów oraz uraninitów i pechblend z współwystępujących złóż uranu. Autor stwierdza, że minerały uranowe ze złóż są zawsze młodsze od współwystępujących granitów i pegmatytów, a różnice wiekowe dochodzą do 100 mln lat. Różnice te autor przypisuje regeneracji minerałów uranowych w złożach, sugerując, iż wiek mineralizacji pierwotnych jest zgodny z wiekiem granitów. Można się zgodzić z tezą Davidsona o dużej roli regeneracji w przypadku europejskich złóż uranu. Wpływ zmian wtórnych jest niewątpliwie duży, tak że nie można oceniać wieku pierwotnej mineralizacji uranowej na podstawie pojedynczych datowań. W Europie jedynie obszar Gór Kruszcowych jest scharakteryzowany dostatecznie dużą ilością oznaczeń wieku bezwzględnego, które pozwoliły na określenie wieku mineralizacji (250 ± 10 mln lat; 4). Liczby te dotyczą głównie złóż uranu występujących wokół masywu granitowego Eibenstock, który został zaliczony przez Winogradowa i Tugarinowa (29) na podstawie datowań bezwzględnych do wczesnohercyńskiej fazy magmowej o wieku 315 ± 10 mln lat (po przeliczeniu wyników oznaczeń według stałych rozpadu K^{40}: $\lambda_\beta = 4{,}72 \cdot 10^{-10}$ rok^{-1}; $\lambda_e = 0{,}584 \cdot 10^{-10}$ rok^{-1}). Podobnie ocenia wiek fazy wczesnohercyńskiej Smejkal (25). Także Watznauer (26), analizując nieco starsze datowania, ocenia wiek saksońskich intruzji hercyńskich na 305 ± 5 mln lat.

A więc różnica między wiekiem powstania masywu Eibenstock, a wiekiem otaczających go złóż uranu wynosi około 50 mln lat.

Pojedyncze oznaczenie wykonane dla epitermalnego złoża uranu w Masywie Centralnym (22) może świadczyć, iż mamy tu do czynienia z większą niż w Górach Kruszcowych różnicą wiekową. Być może, o jeszcze większych różnicach świadczą datowania złóż portugalskich (7). Praca Darnleya i innych (5) świadczy prawdopodobnie o prawie jednoczesnym powstaniu katatermalnej mineralizacji i granitów w Kornwalii.

Wszystkie wymienione wnioski, wynikające z datowań bezwzględnych, są zgodne z poprzednio zestawionymi danymi geologicznymi. Na podstawie przytoczonych faktów można stwierdzić, iż różnice wiekowe między granitami a współwystępującą mineralizacją mezotermalną wynoszą kilkadziesiąt milionów lat. Różnice te wzrastają prawdopodobnie dla mineralizacji epitermalnych do ok. 100 mln lat i maleją do kilku milionów lat dla mineralizacji katatermalnych.

CZAS STYGNIĘCIA MASYWU GRANITOWEGO

Oelsner w dwóch swoich pracach (16, 17) próbuje określić czas stygnięcia batolitu granitowego i dochodzi do wniosku, iż stygnięcie masywu o dużej miąższości, pogrążonego na głęb. 10 km wynosi ok. 3 mln lat. Lovering (14) ocenia okres stygnięcia batolitu granitowego aż do momentu wygaśnięcia związanej z nim działalności hydrotermalnej na najwyżej 1 mln lat.

Wiek bezwzględny minerałów ciężkich niektórych skał magmowych Ameryki Północnej (2) wyznaczony metodą Pb/U zgadza się dobrze z oznaczeniami Sr/Rb wykonanymi na koncentratach łyszczyków. Również zgodne są oznaczenia wykonane na cyrkonach i muskowitach granitu Cutler (27). Fakty te zaprzeczają istnieniu wymiernych różnic wiekowych między wczesnymi a późnymi minerałami masywów granitowych. Niestety prace umożliwiające udowodnienie w całej rozciągłości powyższej tezy są bardzo nieliczne.

Wnioskiem z powyższych danych jest przypuszczenie, iż *czas rozwoju przeciętnego masywu granitowego nie przekracza pojedynczych milionów lat*, a więc nie może być przyczyną istnienia poważniejszych różnic wiekowych, jak to obserwowaliśmy w przypadku mineralizacji uranowych. Wydaje się więc konieczne odrzucenie tezy o bezpośrednim pochodzeniu wspomnianych złóż od granitów, z którymi są związane przestrzennie.

POCHODZENIE HYDROTERMALNYCH ZŁÓŻ URANU

Bietiechtin (3) twierdzi, że rozprzestrzenienie mineralizacji uranowej w Europie na przestrzeni o długości ok. 3000 km dowodzi głębokiego źródła roztworów uranonośnych. Watznauer (26) stwierdza występowanie trzech dużych ciał granitowych głęboko zanużonych pod Górami Kruszcowymi. Wiek tych ciał został określony jako górnokarboński lub dolnopermski. Według Watznauera granity kruszcogórskie wiążą się z płytszymi, wcześniej zastygłymi częściami tych ciał,

zaś złoża uranu tego rejonu — z częściami głębszymi zastygłymi później.

Podobnie Kautzsch (12) przyjmuje istnienie jednego ogniska magmowego dla permskich skał wulkanicznych i subwulkanicznych na obszarze Niemiec Środkowych. Źródło to dało początek skałom magmowym o różnym chemiźmie, ponieważ ulegało zmianom wskutek dyferencjacji i asymetrii. W normalnym cyklu rozwojowym od skał zasadowych do kwaśnych, siarczkowe roztwory rudonośne oddzieliły się mniej więcej na przejściu między andezytem a liparytem. Zjawisko to jest wynikiem zmian lepkości poszczególnych stopów magmowych i związanej z tym zdolności do gromadzenia lub wydzielania składników lotnych magmy.

Badania stosunku Th/U w różnych dyferencjatach skał magmowych (29) dowodzą występowania analogicznych zjawisk w odniesieniu do uranu. Uran i tor ulegają początkowo jednoczesnemu wzbogacaniu. Postępujące utlenianie magmy powoduje utlenienie U^{4+} do U^{6+}, a w rezultacie wydzielenie uranu ze stopu magmowego wraz z roztworami hydrotermalnymi. *Wydzielenie roztworów uranonośnych następuje na przejściu między magmą diorytową a granitową.*

Powyższe tezy znajdują potwierdzenie w obserwacjach Pagéa (18), który stwierdza powszechność współwystępowania hydrotermalnych złóż uranu z żyłami skał zasadowych określanych jako diabazy, bazalty, lamprofiry, minety. Również bardzo charakterystyczny jest związek mineralizacji uranowej z metalami, występującymi raczej w skałach zasadowych niż w skałach kwaśnych: Ni, Co, Cu, Ag, Au, Cr, Pt. Geffroy i Sarcia (11) stwierdzają, iż powstanie takiego kompleksu pierwiastków w złożach uranu może być wynikiem asymilacji skał zasadowych lub też skał osadowych facji sapropelowej przez magmę granitową. Do tego samego wniosku dochodzi Marmo (15) zwracając uwagę, iż asymilacja magmowa łupków bitumicznych, a następnie mobilizacja skoncentrowanych w nich metali ciężkich może być przyczyną powstania niektórych paragenez hydrotermalnych.

ROZMIESZCZENIE ZŁÓŻ URANU

Rozmieszczenie poziomu złóż uranu w obrębie struktur uranonośnych jest uwarunkowane występowaniem dużych węzłów tektonicznych, zaznaczających się wielofazową, intensywną działalnością magmową, a przede wszystkim intruzjami kwaśnych skał magmowych.

Odnośnie do rozmieszczenia pionowego Bietiechtin (3) stwierdza, że wytrącanie rud uranu ma miejsce jedynie w stosunkowo waskim przedziale (300—1000 m miąższości) zależnie od warunków zewnetrznych, a przede wszystkim powierzchni paleomorfologicznej i od chemizmu skał otaczających. Autor twierdzi, że uran jest przynoszony przez roztwory hydrotermalne z dużych głebokości w formie UCl_4 lub UF_4. Dopiero zwiększona ilość tlenu w pobliżu powierzchni ziemi powoduje wytrącenie nierozpuszczalnych tlenków uranu czterowartościowego.

Badania mineralogiczno-geochemiczne Richalskiego (21) przeprowadzone na próbkach pochodzących ze skrzyżowań żył pechblendy i fluorytu dowodzą, iż fluorkowa forma przenoszenia uranu jest zupełnie prawdopodobna. Również rozważania nad formami krystalizacji pechblendy (9) wskazują na możliwość utleniania uranu, przynajmniej w pewnych fazach krystalizacji pechblendy. Jednak niewątpliwe jest uprzywilejowanie skał wzbogaconych w żelazo dwuwartościowe, jako skał macierzystych dla hydrotermalnych złóż uranu. Zjawisko to zwiazane z topomineralną redukcją U^{6+} kosztem utlenienia Fe^{2+} zaprzecza interpretacji zakładającej utlenianie uranu.

Bardziej prawdopodobną interpretację ograniczonego zasięgu pionowego hydrotermalnych złóż uranu proponuje Sarcia (23). Opisując złoża północnego okręgu Limusin (Francja) stwierdza on istnienie pewnej uprzywilejowanej strefy pionowej, w której następowała krystalizacja pechblendy. Powołując się na przykład kopalni Henriette Sarcia opisuje przejście miąższej żyły pechblendy w dolnej części złoża w sieć drobnych żyłeczek i stwierdza, iż mineralizacja w dole nie zanika, lecz rozprasza się. To rozproszenie wiąże się z zacieśnianiem szczelin tektonicznych wskutek zwiększonego ciśnienia na większych głębokościach.

WNIOSKI

1. Różnice wiekowe między granitami a współwystępującymi mezotermalnymi złożami uranu sięgają dziesiątków milionów lat. Prawdopodobnie zmniejszają się one w przypadku złóż katatermalnych do pojedynczych milionów lat, zaś dla złóż epitermalnych wzrastają do rzędu 100 mln lat.

2. Rozwój i stygnięcie przeciętnego batolitu granitowego nie przekracza kilku pierwszych milionów lat. W związku z tym należy odrzucić tezę o powstaniu współwystępujących mezo- i epitermalnych złóż uranu w wyniku działalności roztworów hydrotermalnych związanych z tymi granitami. Zarówno granity, wspomniane złoża uranu, jak i inne przejawy działalności magmowej wiążą się z głęboko zanurzonym ogniskiem magmowym o chemizmie zbliżonym do diorytowego.

3. Wytrącanie mezo- i epitermalnych rud uranu jest ograniczone do pewnej strefy uzależnionej przede wszystkim od powierzchni paleomorfologicznej. Przyczyna tego zjawiska nie jest dotychczas wyjaśniona jednoznacznie.

LITERATURA

1. Alia M., Rebollo J. L., Fernandez P. J. A., Bonet C., de Pedro F. — Radioactive mineralisation in the Central Region of Spain. Proc. sec. un. Nation. intern. Conf. peac. Uses atomic Energy. Geneva, 1958, vol. 2.
2. Baadsgard H., Goldich S. S. i in. — The reproducibility of A^{40}/K^{40} age determination. Trans. amer. geoph. Union, 1957, vol. 38, nr 4.
3. Bietiechtin A. G. — O powiedienji radioaktiwnych elemientow pri procesach obrazowanja endogiennych miestorożdienji. Gieoł. rud. miest., 1959, nr 1.
4. Borucki J. — O wieku bezwzględnym pechblendy z Gór Kruszcowych. Przegl. geol. 1963, nr 1.
5. Darnley A. G., Smith G. H. i in. — Ages of uraninite from two British localities. Miner. Mag., 1960, vol. 32.
6. Davidson C. F. — The radioactive minerals resources of Great Britain. Proc. intern. Conf. peac. Uses atomic Energy, Genewa — New York, 1956, vol. 6.
7. Davidson C. F. — Rejuvenation of pichblende in Hercynian ore deposits. Econ. geol. 1960, vol. 55.
8. Domariew W. S. — Gieołogija uranowych miestorożdienji kapitalisticzeskich stran. Moskwa 1956.
9. Dymkow Ju. M. — K woprosu o gieniezisie nasturana. Gieochimia, 1960, nr 7.
10. Geffroy J., Sarcia J. A. — La motion de „gites épithermale uranifere" et le probleme d'elle pose. Bull. Soc. geol. France, 1958, vol. 8, fasc. 3.
11. Geffroy J., Sarcia J. A. — Quelques remarques relatives à la geochimie de filons épithermaux a pechblend. Bull. Soc. geol. France, 1958, vol. 8, fasc. 5.
12. Kautzsch E. — Über Anzeichen von Buntmetallvererzung in permischen vulkanischen und subvulkanischen Gesteinen Mitteldeutschland. Intern. geol. Congr. Rep. 21-session, Norden, p. 15. Kopenhaga 1960.

13. Lobato P. C. — Tectonic synthesis of portuguese uraniferous District: Distribution of Mineralization in the Beiras Region. Proc. sec. un. Nation intern. Conf. peac. Uses atomic Energy, Genewa 1958, vol. 2.
14. Lovering T. S. — Sulphide ores formed from sulphide deficient solutions. Econ. geol., 1961, v. 56, nr 1.
15. Marmo V. — On the possible genetical relationship between sulphide shists and ores. Intern. geol. congr. rep. 21-session, Norden, part 16, Kopenhaga, 1960.
16. Oelsner O. — Zur Frage der Entschtehung der Saxonischen Lagerstätten speciell auf den Randspalten des Thüringen Waldes. Geologie, Berlin, 1956, Jg. 5, H. 8.
17. Oelsner O. — Bemerkungen zur Bedeutung von Assimilationvorgangen bei der Intrusion Initialer Magmen zur Genese Oxidische Geosinklinallagerstätten. Intern. geol. Congr. Rep. 21-session Norden, p. 16, Kopenhaga 1960.
18. Page L. R. — The source of uranium in ore deposits. Intern. geol. Congr. Rep. 21-session Norden, p. 15, Kopenhaga 1960.
19. Radionow P. W. — Gieołogiczeskije osobiennosti uranowych miestorożdienij priuroczenych k kisłym izwierżennym porodam i mietodika ich poiskow. Razw. i Ochrana. Niedr, 1957, nr 2.
21. Riechalskij W. I. — O powiedienji uranowoj smołki pri wozdiejstwji ftorsodierżaszczich gidrotiermalnych rastworow. Gieoł. rudn. miestorożd. 1960, nr 1.
22. Roubault M. — Geologie de l'Uranium. Paris 1958.
23. Sarcia J. A. — The uraniferous province of northern Limusin and its three principal deposits. Proc. sec. un. Nation intern. Conf. peac. Uses atomic Energy. Genewa 1958, vol. 2.
24. Sarcia J. A., Carrat H., Poughon A., Sanselme H. — Geology of uranium vein deposits of France. Ibidem.
25. Smejkal V. — Absolutni stari nekterych granitoidu a metamorfitu Ceskeho mosivu stanovene kalium-argonovou metodou. Vestn. UUG. roc. XXXV, 1960.
26. Watznauer A. — Bemerkungen zu phisikalischen Alterbestim-maungen an sachsischen Graniten und Gneisen. Geol. rund., 1960, vol. 49, H. 1.
27. Wetherill G. W., Davis G. L., Tilton G. R. — Age measurements on minerals from the Cutler Batholith, Cutler, Ontario. J. geophys. Res., Washington 1960, vol. 65, nr 8.
28. Whitefield J. M., Rogers J. J. W., Adams J. A. S. — The relationship between the petrology and the torium and uranium contents of some granitic rocks. Geochim. et Cosmochim. Acta, 1959, vol. 17, nr 3—4.
29. Winogradow A. P., Tugarinow A. I. — Niekotoryje opornyje opriedielenja absolutnogo wozrasta (k mirowoj gieochronołogiczeskoj szkale). Dokł. AN SSSR, 1960, t. 134, nr 5.