

ZŁOŻA URANU

PIERWIASTEK URAN został odkryty w 1727 roku, przy czym po raz pierwszy wydzielił go z rudy Klaproth w r. 1789. Początkowo uran nie budził większego zainteresowania naukowego. Dopiero odkrycie promieniotwórczości tego pierwiastka dokonane przez Bequerela spowodowało zainteresowanie nim świata naukowego. Wyrazem tego były doniosłe prace nad promieniotwórczością prowadzone przez małżeństwo Curie. W okresie badań Marii Skłodowskiej-Curie głównym dostawcą rudy uranowej była kopalnia w Jachimowie w Czechach*. W chwili obecnej występowania uranu stwierdzono w 62 państwach, zaś wielkie złoża znane są w Afryce, Ameryce i Europie.

Minerały radioaktywne znajdują się w skorupie ziemskiej zarówno w formie silnego rozproszenia, jak i koncentracji stanowiących złoża w sensie ekonomicznym. Opierając się tylko na przesłankach genetycznych, można wydzielić pięć zasadniczych typów nagromadzeń minerałów radioaktywnych a przede wszystkim uranowych, są to:

- 1) promieniotwórcze granity,
- 2) promieniotwórcze pegmatyty,
- 3) uranowe złoża żyłne pochodzenia hydrotermalnego,
- 4) złoża uranu związane z poziomami stratygraficznymi utworów osadowych,
- 5) złoża wtórnych minerałów uranowych.

PROMIENTWÓRCZE GRANITY

Przeprowadzane w ostatnich latach badania nad radioaktywnością skał intruzywnych stwierdziły, że granity zawierają przeciętnie 3,96 g uranu i 13 g toru na jedną tonę skały, co w przeliczeniu na procenty wynosi 0,0005% U_3O_8 i 0,0016% ThO_2 . Nasilenie radioaktywności jest jednak zmienne w dużych granicach. Spotykane są masywy granitowe o zawartości poniżej 0,0003% jak również niekiedy przekraczające 0,01% U_3O_8 . Uran i tor, zawarty w macierzystej magmie granitowej, posiadały stosunkowo małe skłonności do wiązania się lub absorbowania przez minerały skałotwórcze takie, jak kwarc: milki, pirokseny itp. Widoczna jest natomiast tendencja uranu i toru do asocjacji z cyrkonem, tytanem, ziemiami rzadkimi, wapniem i fosforem. Inkluzje cyrkonu, tytanitu, monacytu, alantitu i apatyty posiadają kilka tysięcy razy wyższą promienio-

twórczość niż czyste minerały skałotwórcze granitów.

PROMIENTWÓRCZE PEGMATYTY

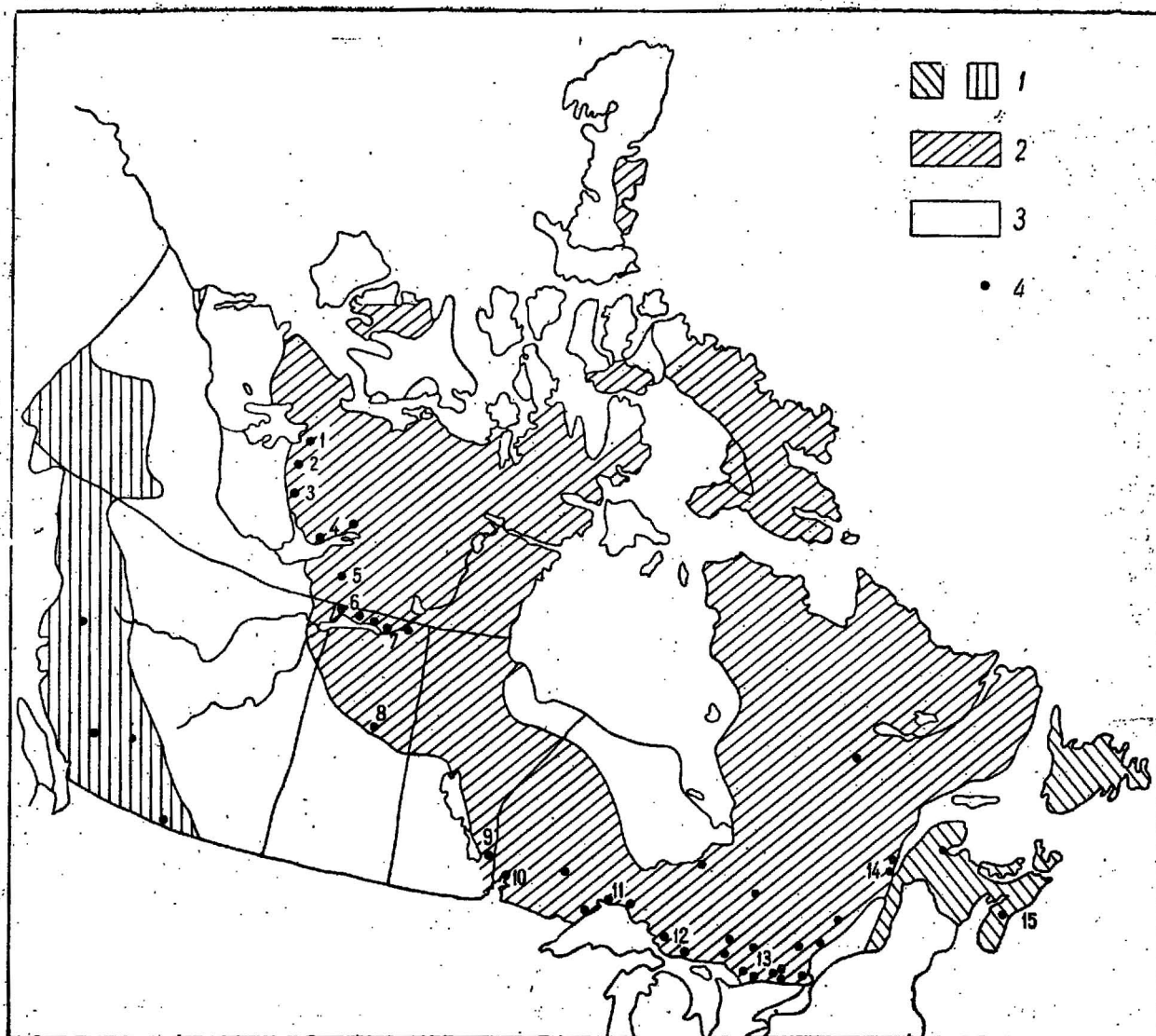
Zdaniem amerykańskiego badacza Page'a (7) wszystkie światowe występowania uranu w pegmatytach przede wszystkim wiążą się z utworami zawierającymi w swym składzie duże ilości skaleni potasowych. Radioaktywność stwierdzono głównie w pegmatytach granitowych, diorytowych, kalcytowych, kalcytofluorytowych i migmatytach. Znaczenie przemysłowe posiadają przede wszystkim pegmatyty Madagaskaru i Brazylii, w których minerałom uranowo-torowym towarzyszy niob i tantal.

URANOWE ZŁOŻA ŻYŁNE POCHODZENIA HYDROTHERMALNEGO

Najważniejsze światowe złoża uranu wiążą się z hydrotermalnymi żyłami blendy smolistej. Złoża blendy smolistej, zarówno jak i uranonośne pegmatyty, występują w wyraźnym związku genetycznym z intruzjami skał plutonicznych przede wszystkim kwaśnego typu granitowego. Roztwory uranonośne przenikały najprawdopodobniej przez strefę zaburzoną tektonicznie, okalającą intruzję granitową i precypitowały w formie żył w skałach chłodniejszych. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na miejsce wytrącenia się minerałów uranowych są sprzyjające warunki strukturalne skały, z tym że stwierdzona jest skłonność występowania żył blendy smolistej raczej wśród skał alkalicznych. Zdaniem Langa (10), precypitacja „kwaśnych” roztworów uranonośnych następowała w skałach zasadowych wskutek zachwiania równowagi roztworu w środowisku alkalicznym. W myśl tego poglądu w przypadku braku w otoczeniu intruzji utworów zasadowych blenda precypitowała w najbliższych skałach o sprzyjającej strukturze bez względu na jej charakter kwasowości.

Blenda występuje w utworach o rozmaitych formach strukturalnych przede wszystkim w żyłach lub systemach żył, w postaci rozproszonych, drobnych ziarn w skale otaczającej większe skupienia rud. Często mineralizacja uranowa obejmuje dwa lub więcej systemów szczylinowości skalnej, nachylonych do siebie pod pewnym kątem. Każdy taki system składa się z szeregu równoległych żył lub żyłek drabinkowych z rudą. Szczególnie korzystne dla eksploatacji są strefy zbrekcjowane uskoków impregnowanych rudą. Często ruda występuje w formie licznych drobnych żyłek lub smug blendowych albo uraninitowych, poprzedzielanych cienkimi wkładkami skały płonnej z impreg-

* M. Skłodowska-Curie w książce „Promieniotwórczość” (PWN, Warszawa 1953 r.) wymienia jako źródło uranu oprócz rud z Jachimowa, rudy z Katangi Wysokiej (Kongo, Belgijskie) oraz podaje inne miejsca występowania uranu: St. Zjednoczone, Kanadę, Norwegię, Portugalię i Cejlon (grzyp. red.).



Ryc. 1 — Rozmieszczenie występowania uranu w Kanadzie. 1 — Utwory pochodzenia osadowego i magmowego. 2 — Skały prekambryjskie. 3 — Skały osadowe. 4 — Miejsca występowania uranu. 1. Wielkie Jezioro Niedźwiedzie. 2. Jezioro Hottah. 3. Marian River. 4. Wielkie Jezioro Niewolnicze. 5. Nonacho. 6. Goldfield. 7. Fond-du-Lac. 8. Lac la Ronge. 9. Półn.-wschod. Manitoba. 10. Kenora. 11. Port Arthur. 12. Sault Ste. Marie. 13. Grenville (Ontario). 14. Grenville (Québec). 15. Nova Scotia.

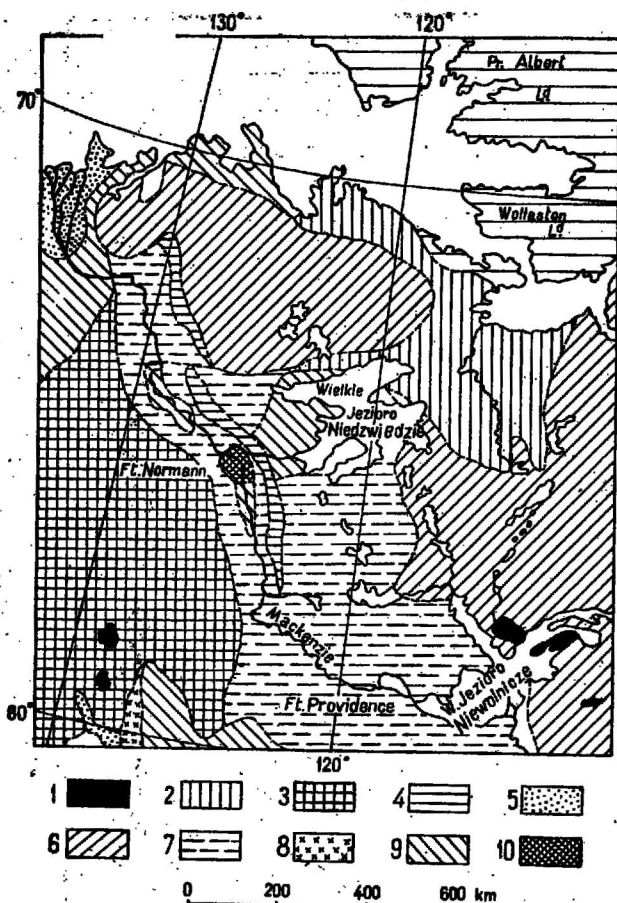
nacją uranową. Na ogół rzadko spotykane są żyły czystej blendy smolistej, pozbawione domieszek innych pospolitych minerałów skałoworczych. Większość żył zawiera znaczne ilości kwarcu lub węglanów, rzadziej skaleni. Z minerałów metalicznych blendzie towarzyszy: hematyt, kompleks minerałów niklowo-kobaltowych, piryt, chalkopiryt, galena, srebro, mniej liczne są: złoto, platyna, molibden, minerały selenowe oraz cynk i cyna.

Najważniejsze złoża uranowe na świecie należą do typu żył blendowych ze zmienną zawartością kobaltu, niklu, bizmutu, srebra i miedzi. Zaliczamy tu złoża w Shinkolobwe w Katanze, złożo nad Wielkim Jeziorem Niedźwiedzim w Kanadzie oraz w Jachimowie w Górach Kruszcowych na pograniczu czesko-saskim.

ZŁOŻE NAD WIELKIM JEZIOREM NIEDŹWIEDZIM W KANADZIE

Na obszarze Kanady znajduje się wiele terenów zawierających minerały uranowe. Około 93% wszystkich występowania wiąże się z zachodnio-południowym i południowym obrzeżeniem Płyty Kanadyjskiej. Pas uranonośny o szerokości ok. 200 km biegnie od Wielkiego Jeziora Niedźwiedziego w kierunku południowo-wschodnim do Lac la Ronge, następnie skręca na wschód, przebiega przez Jezioro Górne i kończy się w prowincji Grenville na wschodzie (ryc. 1).

Wielkie Jezioro Niedźwiedzie leży w pobliżu koła podbiegunowego. Przez obszar jeziora przechodzi granica między utworami paleozoicznymi i mezozoicznymi a Płytą Kanadyj-



Ryc. 2 — Mapa geologiczna okręgu Wielkiego Jez. Niedźwiedziego. 1 — Granit, 2 — Algonk, 3 — Kryształnic, 4 — Górny sylur, 5 — Aluwium, 6 — Prekambr, 7 — Devon, 8 — Nierozdz., 9 — Górna kreda, 10 — Paleogen.

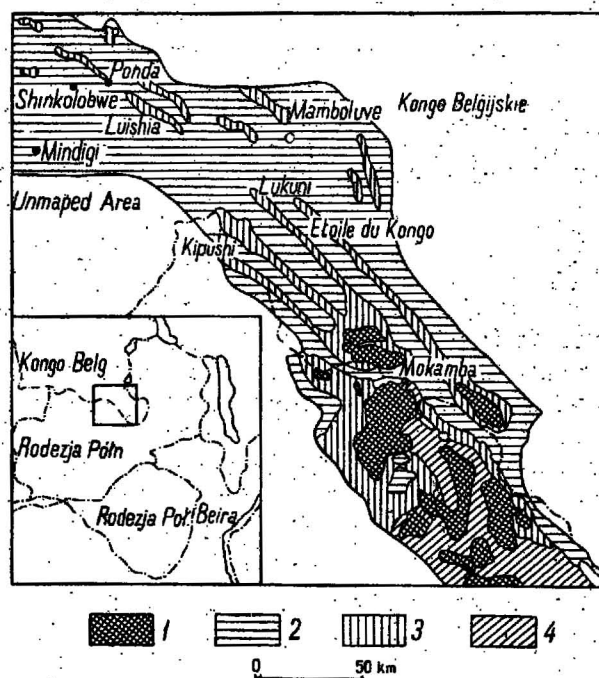
ską (ryc. 2). Do najstarszego kompleksu utworów w tym rejonie zaliczamy bardzo silnie zmetamorfizowane archaiczne utwory osadowe i magmowe, które zostały przecinane w późnym archaiku lub wczesnym algonku przez granity, dioryty i granodiority. Na utworach tych spoczywają wczesnopaleozoiczne lub późnoalgonckie piaskowce i konglomeraty. Wszystkie te skały przecinane są silami i dajkami skał zasadowych o teksturze bazaltowej. Metamorfizm skał archaicznych jest niekiedy tak silny, że trudno odcyfrować ich pierwotny charakter. Mineralizacją uranową objęty jest głównie kompleks skał archaicznych, a po części i intrudujące w nim granity. Blenda smolista wiąże się z różnymi formami strukturalnymi, poczynając od małych nieregularnych wypełnień szczelin, żyłek i soczewek poprzez utwory smugowato wyciągnięte, strefy zbrekcjowane do wielkich żył związanych ze strefą sfałdowań. Blenda smolista występuje w formie koloidalnej w towarzystwie dużej ilości minerałów niklowo-kobaltowych i srebra rodzimego. W niewielkich ilościach znajdujący jest bismut i miedź. Do chwili obecnej nie wyjaśniono pochodzenia roztworów mineralizacji uranowej. Magma macierzystą dla uranu mogła

być któraś ze skał plutonicznych, znanych na całym obszarze, jak i jakieś inne, obecnie nieznane źródło mineralizacji.

Złoże znad Wielkiego Jeziora Niedźwiedziego zaliczane jest do najzasobniejszych w świecie. Uran odkryto tam w roku 1930. Obecnie czynna tu jest kopalnia „Eldorado”, posiada ona jedenaście poziomów sięgających do 400 m w głąb, w najbliższym czasie eksploatacja ma zejść do 600 m. Ruda wydobywana z niej w stanie surowym zawiera średnio 1,0% U_3O_8 i około 700 g srebra na tonę urobku.

Stałym osiedlem w rejonie Wielkiego Jeziora Niedźwiedziego jest Port Radium, posiadający jedynie połączenie lotnicze i wodne z zamieszkałymi obszarami Kanady. Koncentraty uranowe przewożone są na południe samolotami do odległej o 1500 km stacji kolejowej w Waterways, skąd dalej transportowane są koleją na trasie 3600 km do rafinerii w Port Hope nad Jeziorem Ontario w pobliżu Toronto. W okresie letnim tylko przez trzy miesiące możliwy jest transport wodny na południe, po systemie wodnym rzeki Mackenzie.

Złoże Shinkolobwe położone jest w południowej części Konga Belgijskiego w Katandze. Uran znajduje się na obszarach światowej sławy złóż miedzi leżących w serii „Série de Mines”, wchodzących w skład formacji „Katanga”. Seria rudna składa się z łupków dolomitowych, dolomitów komórkowych i kwarcytów komórkowych. Złoże uranu występuje w utworach bardzo silnie zaburzonych tektonicznie. Dwa wielkie uskoki o biegu mniej więcej równoleżnikowym powodują anormalny kontakt warstw serii rudnej „Série de Mines” z

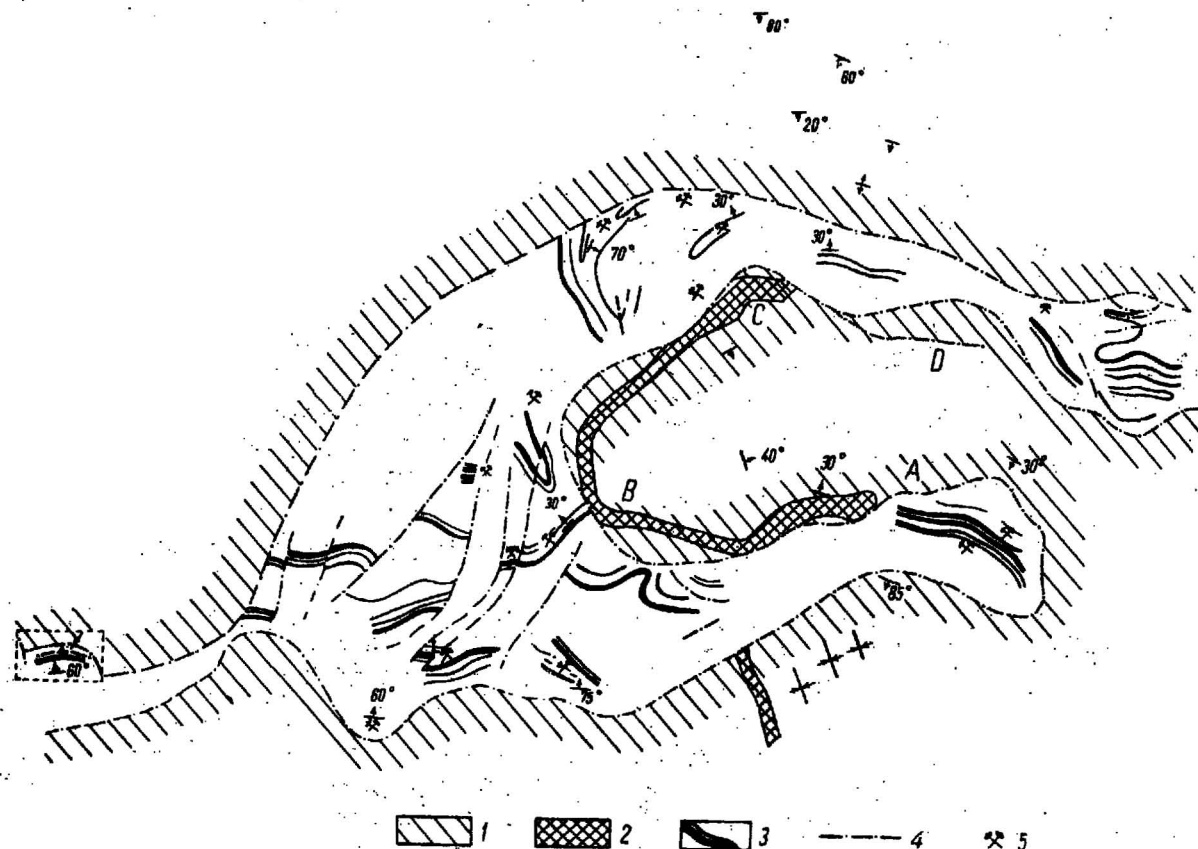


Ryc. 3 — Mapa geologiczna Katangi i Północnej Rodezji. 1 — Granit, 2 — Dolomity, tępki, 3 — Série Kundulungu — piaskowce, dolomity, tępki, 4 — Série de Mines — tępki itp.

utworami łupkowymi młodszej formacji Kundelungu (ryc. 3 i 4).

Główny blok partii rudnej obszaru Shinkolobwe jest silnie pofałdowany i poprzecinany szeregiem drobniejszych uskoków i pęknięć. Mineralizacją objęta jest raczej górna część

która doprowadziła do powstania minerałów pneumatolitycznych i wysokohydrotermalnych, wskazuje na katatermalne lub przechodzące w pneumatolityczne warunki powstania złoże. Zdaniem badaczy belgijskich, ta sama hydrotermalna mineralizacja spowodowała nagroma-



Ryc. 4 — Mapa geologiczna okolicy Shinkolobwe. 1 — Warstwy Kundulungu, 2 — Mały konglomerat, 3 — Série de Mines, 4 — Kontakt anormalny, 5 — Mineralizacja.

utworów dolomityczno-łupkowych dolnej partii „Série de Mines”. Nagromadzenia uranu występują przeważnie w formie nieregularnych sieci żył, sztokwerków, soczewek lub stref skruszenia impregnowanych uraninitem. Na ogół skały w otoczeniu żył są mniej lub więcej impregnowane rudą. Najbogatszą partią złoże przed rokiem 1933 była jego wschodnia część, gdzie żyły w formie pni przecinały cienko uławiczone i komórkowe dolomity.

Głównym minerałem uranowym jest uraninit w formie kubicznych kryształków lub blenda drobnokrystaliczna. Zespół minerałów metalicznych towarzyszących uraninitowi składa się głównie z miedzi i kobaltu oraz ze znikomych ilości niklu i złota przy zupełnym prawie braku srebra i bizmutu. Widoczna jest więc zasadnicza różnica w zespole metalicznych minerałów towarzyszących uranowi w stosunku do złóż Wielkiego Jeziora Niedźwiedziego i złóż w Górach Kruszcowych, gdzie uranowi towarzyszy duża ilość żył kobaltowo-niklowo-srebrnych. Kryształiczna postać uraninitu jak i różnorodność i skomplikowanie mineralizacji,

dzenie się zarówno złóż miedzi, jak i uraninitu, a związana była z fazą orogeniczną pod koniec okresu Kundulungu lub później.

Poważna część złoże w Shinkolobwe uległa pod wpływem wód descenzyjnych procesowi utleniania. Uranit ulegając oksydacji wytworzył szereg minerałów wtórnych. Schope (15) podaje ich aż 25. Przeważnie są to wodorotlenki, krzemiany i fosforany uranu. Barwa minerałów wtórnych jest od kanarkowożółtej przez pomarańczowoczerwoną do zielonej.

Obecnie złoże jest nadzwyczaj intensywnie eksploatowane, przy czym schodzi się na coraz mniej procentową rudę typu impregnacyjnego. Dawniej znajdowano rudę o zawartości do 50% uranu. W okresie od r. 1921 do 1939 wydobyto w Shinkolobwe 126 000 ton rudy uranowej i 776 g radu.

BLENDONOSNY OBSZAR GÓR KRUSZCOWYCH

Na terenie Europy środkowej żyły rudne blendy z niklem, kobaltem, bizmutem i srebrem występują w łupkach krystalicznych sasko-

czeskich Gór Kruszcowych w okolicy Jachimowa, Schneebergu, Annabergu i Johanngeorgenstadtu.

Utwory rudne w Jachimowie występują w dwóch systemach żylnych położonych prostopadle względem siebie, wśród łupków krystalicznych. Blenda smolista związana jest z pierwotną, najniższą strefą okruszczenia systemu żylnego Schneebergu. Ku górze strefa uranowa przechodzi w kobaltowo-niklową z bizmutem, która z kolei znów zawiera coraz to większe ilości srebra, aby ostatecznie przejść w strefę najwyższą żył srebronośnych. Blenda smolista, szczególnie w strefie silnie uranonośnej tworzy żyły lub delikatne wprysnięcia w łupkach mikowych, niekiedy spotykane są również formy naciekowe. Trafiają się niekiedy niewielkie gniazda lub soczewki, występujące głównie w towarzystwie dolomitu i fluorytu. Największe wzbogacenia rudne obserwowane są na skrzyżowaniach obu systemów żylnych.

Przed drugą wojną światową złoża jachimowskie dostarczało rudę o średniej zawartości około 1% uranu, czyli stosunkowo bogatą. Poza Jachimowem blenda występuje w Schneebergu, gdzie należy wraz z rudami kobaltowo-niklowymi i bizmutem do tej samej najstarszej fazy mineralizacji. Poza tym w złożu w Johanngeorgenstadcie blenda tworzy odrębną, głęboko leżącą strefę mineralizacji. Poza wymienionymi występowania uranu znane są w granitach w Karlóvych Varach i Mariańskich Łaźniach oraz w Schoenfeldt i Schlaggenwald. Złoża blendy w Górach Kruszcowych zaliczane są do utworów typowo hydrotermalnych i to stosunkowo wysokich temperatur. Najprawdopodobniej są one w ścisłym związku genetycznym z intruzjami granitów orogenezy waryscyjskiej.

ZŁOŻE BLENDY W RUM JUNGLE W AUSTRALII

W roku 1949 odkryto poważne złożo blendy w Rum Jungle, 100 km na południe od Port Darwin. Otoczenie złoża stanowią przedkambryjne łupki węglowe zgrafityzowane na kontakcie z intruzją granitową. Żył rudne oprócz blendy smolistej zawierają chalkopiryt, bornit, burnonit i pirit. Część żył z bogatą mineralizacją została wyługowana przez wody meteoryczne ze związków miedzi, przy czym na miejscu pozostały wtórne minerały uranu, jak autunit i ochra uranowa. Mimo intensywnej

eksploatacji nie natrafiono w żyłach tych na pierwotny poziom blendy uranowej.

Ostatnio odkryto w południowej Australii poważne złożo uranowe w Radium Hill. Złożo to ma być jednym z poważniejszych odkryć dokonanych w ciągu ostatnich lat.

Wszystkie omówione powyżej występowania charakteryzowały się obecnością dużej ilości minerałów zarówno rudnych, jak i nierudnych towarzyszących w rozmaitych wzajemnych stosunkach blendzie smolistej. Istnieją jednak i złoża z prostą mineralizacją. Żyły blendy należące do takich utworów charakteryzują się obecnością hematytu, kwarcu, węglanów i chlorytów. Są one natomiast pozbawione minerałów metalicznych, przede wszystkim siarczaków. Większe złożo tego typu znane jest na terenie Kanady nad Jeziorem Athabaska w obszarze Goldfields.

URANONOŚNY OBSZAR GOLDFIELDS W KANADZIE

Wielkie złoża uranu odkryto w ostatnich latach w prowincji Saskatchewan w Kanadzie. Szczególnie bogata w uran jest północno-zachodnia część prowincji w pobliżu północnego brzegu Jeziora Athabaska. Do obszaru rudonośnego zalicza się tam kilka rejonów, najważniejszy jest obszar Goldfields niedawno odkryty i rokujący nadzieje na zajęcie jednego z czołowych miejsc w produkcji światowej.

Rejon Jeziora Athabaska znajduje się na zachodnim obrzeżeniu Płyty Kanadyjskiej. Analogicznie do innych obszarów płyty podobnie i tu utwory dzielimy na trzy różnowiekowe kompleksy. Najstarszy jest archaiczny kompleks grupy Tazin, złożony ze skał osadowych i magmowych silnie zmetamorfizowanych oraz utworów typu granitowego. Na tej najstarszej serii występują miejscami niezgodnie utwory magmowe i osadowe wieku algonckiego. Wszystkie wyżej wymienione serie przecinają dajki diabazu. W związku z ruchami tektonicznymi cały obszar pocięty jest licznymi, prawie równoległymi wielkimi uskokami. Do największych należą dwa: Black Bay i St. Louis. Ciągą się one na przestrzeni kilkunastu kilometrów i posiadają duże amplitudy zrzutu dochodzące do 400 m (St. Louis). Utwory geologiczne rozdzielone wielkimi uskokami, poprzecinane są podrzędnie całą siecią drobniejszych uskoków, stref zbrekojowanych i szczelin.

Uran występuje przeważnie w formie koloidalnej blendy smolistej w żyłach, soczewkach, gniazdach lub całych systemach żyłek szczelinowatych, rzadziej spotykany jest w stanie rozproszonym. Największe znaczenie przemysłowe mają duże żyły blendy smolistej lub drobne żyłki blendowe, rozdzielone cienkimi wkładkami albo brekcją skały płonnej. Największa mineralizacja blendowa związana jest głównie ze strefą wielkich uskoku. Roztwory mineralizujące zhematyzowały prawie zupełnie skały otaczające uskoki. Hematyt zawiera dość znaczne ilości blendy uranowej przy pełnym prawie braku innych minerałów metalicznych. Mineralizacją uranową objęte są przede wszystkim strefy spękań i skruszenia na ścianach uskoku. Skała zmetamorfizowana zawiera na ogół blendę w formie bardzo drobnych, często niewidzialnych gołym okiem wtrąceń, niekiedy w skale mniej zmetamorfizowanej widoczne są większe skupienia koloidalnej blendy smolistej. Złoża blendy w hematycie występują w południowo-wschodniej części obszaru Goldfields i wiążą się z mineralizacją wieku późno algonckiego. Mineralizacja ta pochodziła najprawdopodobniej z nieznanych nam intruzji granitowych. W części północno-zachodniej tego obszaru, a szczególnie w złożach Nicholson i Fish Hook Bay blenda występuje w towarzystwie znacznej ilości minerałów metalicznych, a zwłaszcza miedziowo-kobaltowo-niklowych. Żyłki uranonośne zawierają tu z minerałów niemetalicznych głównie kwarc, węglany i chloryt. Utwory tego typu złożone mineralnie, spotykane są przeważnie w sąsiedztwie dolomitów lub żelazistych kwarcytów. Takie uplasowanie się blendy może sugerować genetyczny związek roztworów mineralizujących uranonośnych z dolomitami i kwarcytami.

Trzecim typem utworów uranonośnych w obszarze Goldfields są uraninitonośne pegmatyty nie mające w chwili obecnej większego znaczenia przemysłowego ze względu na małą koncentrację ziarn uraninitu w skale płonnej pegmatytów.

Obszar Goldfields położony jest pod 59 stopniem szerokości geograficznej w dzikiej i bezludnej okolicy w odległości około 1000 km na południowy wschód od Wielkiego Jeziora Niedźwiedziego. Od dawna znajdowało się tu niewielkie pole, gdzie eksploatowano złoto. Przed paru laty podczas prac związanych z wydobywaniem złota natrafiono niespodziewanie na wy-

stępowania uranu. W r. 1952 rząd kanadyjski zezwolił na indywidualne poszukiwanie i eksploatację uranu. Obszar Goldfields przeżywał wówczas „gorączkę uranową” podobną do złotej w Kalifornii, Alasce i Australii ubiegłego stulecia. Setki przedsiębiorczych poszukiwaczy, uzbrojonych w liczniki geigerowskie spenetrowały ogromne obszary w poszukiwaniu uranu. W prowincji Saskatchewan stwierdzono wówczas ponad 100 obszarów radioaktywnych. Niektóre z nich zawierają do 100 odkrywek skał o zawartości tlenków uranu i toru powyżej 0,05%. Najbogatsze okazały się obszary o promieniu 20 km. Teren ten został pokryty nadaniami górniczymi na przestrzeni 30 do 40 km. Wybudowano w ciągu paru miesięcy miasto Uranium City. W chwili obecnej czynne są tu trzy duże kopalnie uranu: kopalnia Ace, Rix Athabaska i Gunnar. Średnia zawartość U_3O_8 w urobku z kopalni Rix Athabaska wynosi około 0,75%, zaś ruda brekcjowa kopalni Gunnar zawiera zasoby idące w wiele milionów ton rudy o zawartości 0,2% U_3O_8 . Koncentraty rudne rejonu Athabaska zawierają około 10% U_3O_8 .

ZŁOŻA URANU ZWIĄZANE Z POZIOMAMI STRATYGRAFICZNYMI UTWORÓW OSADOWYCH

Do grupy tej należy zaliczyć złoża uranu występujące w piaskowcach, konglomeratach, łupkach, wapieniach, dolomitach i węglach brunatnych. W wielu wypadkach pochodzenie uranu w utworach osadowych jest bliżej niewyjaśnione i stanowi często problem otwarty. Najpoważniejszymi złożami, których zaliczenie do tej grupy może być kwestią sporną, są urano- i złotonośne konglomeraty Witwatersrandu w Unii Południowo-afrykańskiej i wielkie złoża karnotytowe w piaskowcach Płaskowyżu Kolorado w Stanach Zjednoczonych. Mniejsze znaczenie mają złoża uranu w łupkach węglowych i alunowych, węglach brunatnych i skałach węglanowych.

URANO- I ZŁOTONOŚNE KONGLOMERATY WITWATERSRANDU

Złotonośne konglomeraty z rudami uranu występują na obszarach Unii Południowo-afrykańskiej w młodooalgonckiej serii Witwatersrandu. Utwory te leżą w południowej i północnej Rodezji i w znacznej części Transwalu, jest to seria o miąższości do 8000 m. Składa się ona z kwarcytów, piaskowców i konglomera-

tów, przy czym seria ta tworzy wielką nieckę ze stromo zapadającymi się skrzydłami. Wnętrze jej wypełniają młodsze utwory mezozoiczne. Serię rudną stanowią konglomeraty ciągnące się na przestrzeni wielu setek kilometrów, oddzielone od siebie pakietami piaskowców i kwarcytów. Konglomeraty składają się z dużych dobrze obtoczonych ziarn kwarcu, dochodzących do wielkości kul bilardowych, scementowanych lepiszczem kwarcowym. Zwykle substancja cementująca zawiera poza złotem, chloryt, kwarc, cyrkon, chromit, turmalin, diament, platynę oraz węgiel w postaci ziarn i skupień przypominających smołę. Minerale uranowe występują w związku ze złotem i skupieniami substancji węglowej. Związek rudy uranowej ze zwęglonymi szczątkami roślinnymi jest podobny do zaobserwowanego w złożach karnotytowych Płaskowyża Kolorado.

Najważniejsze skupienia rudy uranowej występują na ogół w utworach uboższych w złoto, mianowicie w Bird Reef Serie na zachodnim i w Kimberley Serie na wschodnim obrzeżeniu wielkiej niecki. Nagromadzenie się rud uranu i złota nasuwa przypuszczenie pierwotnego występowania tych metali w macierzystych skałach zerodowanych partii stropowych serii Vandersdorp i Swaziland. Materiał erozyjny osadzał się najprawdopodobniej w środowisku morskim przy powolnym ruchu zanurzeniowym, np. na obszarze wielkiej delty. Rozprzestrzenienie się cienkich i leżących na wielkich przestrzeniach konglomeratów tłumaczone jest nagłym i krótkotrwałym przesortowaniem osadów przez fale i prądy wodne. Charakterystyczne jest występowanie ziarn złota w spągowych partiach konglomeratów, co wskazywałoby na mechaniczną segregację ziarn metalu przyniesionych wspólnie z otoczkami konglomeratów. Uran podobnie jak i złoto częściowo w formie minerałów pierwotnych, a prawdopodobnie w przeważającej części w postaci minerałów wtórnych, został osadzony wśród konglomeratów wspólnie ze śladami platyny i innymi minerałami akcesorycznymi. Ramdohr (15) stwierdził w konglomeratach występowanie obtoczonych ziarn pierwotnej blendy smolistej, co potwierdza powyższe przypuszczenia. Późniejszy metamorfizm, głównie termalny, spowodował uruchomienie przeważającej części uranu i złota. Uran uległ wchłonięciu przez substancję węglową, zaś złoto podległo częściowo lub nawet całkowicie rozpuczeniu i ponownej precypitacji, przy czym przyjmuje się, że migracja złota mogła odbywać się jedynie na nieznacznych przestrzeniach wewnątrz tego samego pokładu. W ten sposób wytworzyły się wtórne nagromadzenia uranu wokół substancji węglistej oraz nie zerodowanych transportem ziarn złota o formach krystalicznych.

Ze względu na wielkie rozprzestrzenienie konglomeratów uranonośnych, złoża ich stanowią bardzo poważne źródło rud uranowych. Prowadzone są z wielkim nakładem kosztów ogromne inwestycje, zmierzające do gwałtownego rozwoju eksploatacji uranu. W grudniu 1953 roku uruchomiono czwartą z kolei wielką kopalnię uranu kosztem około 5 milionów funtów. Do końca 1955 roku projektowane było całkowite uruchomienie 23 kopalń uranowo-złotych. Należy podkreślić, że produkcja uranu w unii jest bardzo tania ze względu na jednoczesną eksploatację złota. Projektowane jest przerabianie około 10 milionów ton szlamów uranonośnych rocznie na ogólną ilość 50 milionów ton szlamów złotonośnych.

ZŁOŻA KARNOTYTOWE W STANACH ZJEDNOCZONYCH

Największe złoża uranu w USA występują w stanach Utah i Kolorado. Rudą wydobywaną jest karnotyt występujący w wielu poziomach stratygraficznych, wykształconych w facji piaszczystej. Rudonośne poziomy tzw. „Red Beds” są to przeważnie czerwone piaskowce o zmiennej granulacji oraz arkozy i konglomeraty pochodzenia kontynentalnego. Występują one w szeregu poziomów stratygraficznych na Płaskowyżu Kolorado jak i na obszarach ościenych. Płaskowyż jest zbudowany głównie ze skał osadowych, stosunkowo słabo zaburzonych tektonicznie. Rzeki tworzą wielkie erozyjne kaniony wrzynające się głęboko w płaskowyż, dając doskonałe odsłonięcia szeregu poziomów stratygraficznych, poczynając od utworów późnopaleozoicznych aż do wczesnokenozoicznych.

Wśród utworów rudonośnych tego obszaru można wydzielić pewne horyzonty stratygraficzne charakteryzujące się współwystępowaniem wraz z uranem wanadu i miedzi oraz zwęglonych szczątków drewna kopalnego. Ciała rudne występują przeważnie w postaci nieregularnych mas w formie soczewek, gniazd, kieszeni, niekiedy tworzą stosunkowo regularne ławice lub formy płytowe. Na ogół ciała rudne leżą skośnie do biegu warstw. Miąższość rudy jest zmienna i waha się w granicach od kilku centymetrów do 5 metrów, średnio 1,2 — 1,5 m. Na ogół ruda bogatsza gromadzi się w utworach o mniejszej miąższości oraz w tzw. „bug-holes”, to jest kieszeniach o lejkowatych kształtach, występujących najczęściej w górnych partiach soczewek rudnych. Kieszenie te są na ogół niewielkich rozmiarów o średnicy do kilkunastu centymetrów i długości ok. 1,2 m. Ściany ich pokryte są kwarcem i gipsem. Substancją wypełniającą jest karnotyt lub czarna albo niebieska ruda wanadowa zmieszana z miękką żółtą gliną. W górnej partii „bug-holes” przechodzą w kominy wypełnione piaskowcem silnie impregnowanym rudą. Ciała rudne są bardzo zmiennej wiel-

kości, poczynając od paru ton czy nawet kilkuset kilogramów do 10 000 ton. Bardzo liczne są soczewki i kieszenie o zawartości do kilku tysięcy ton rudy.

Geneza rud uranowych w piaskowcach stanów Utah i Kolorado nie jest do tej pory dostatecznie wyjaśniona i stanowi problem otwarty. Przez długie lata przyjęty był pogląd, że rudy karnotytowe Płaskowyżu Kolorado, a szczególnie występujące w formacjach Morrison i Shinarump utworzyły się wkrótce po osadzeniu się osadu (penesengenetycznie), przy czym metal był prawdopodobnie dostarczony przez wody gruntowe i osadzony w bliżej nieznanych warunkach fizyczno-chemicznych. Hipoteza ta szczególnie przeprowadzana przez Fischera (4) została poddana ostatnimi czasy krytyce, głównie dzięki dokładniejszemu poznaniu złóż w ciągu ubiegłych dziesięciu lat intensywnych badań i eksploatacji. Na podstawie tych nowych odkryć wysunięto hipotezę hydrotermalnego pochodzenia złóż. Pierwsze kroki w tym kierunku poczyniono w związku z badaniami wielu próbek minerałów uranowych (Stieff i Stern, 7). Hipoteza hydrotermalnego pochodzenia uranu wiąże penetrację utworów piaszczystych przez roztwory hydrotermalne, uranonośne z działalnością ogniową trzeciorzędu. Roztwory przenikać miały do głębszych partii osadów przez uskoki i szczelinowatości skalne i wypełniały najbardziej dogodnie dla precypitacji miejsca. Charakterystyczne i wymowne jest istnienie grubych serii zawierających utwory wulkaniczne bezpośrednio nad formacjami rudnymi piaskowców Salt Wash i konglomeratów Shinarump.

Ciekawy jest pogląd R. Eriksona (7), który na podstawie faktu obecności takich samych zespołów rzadkich metali w rudach karnotytowych i złożach ropy naftowej przypisuje im wspólne pochodzenie.

Rudy karnotytowe były przed drugą wojną światową eksploatowane dla radu i wanadu. W latach 1913—1926 wydobyto 200 g radu. Z chwilą zastosowania radu do reakcji termojądrowych nastąpił gwałtowny rozwój poszukiwań geologicznych i eksploatacji złóż. Do chwili obecnej powstało około 200 przedsiębiorstw górniczych, przy czym kopalnie ze względu na wielką zmienność zapasów zaliczają się do przedsiębiorstw o wielkiej różnorodności, poczynając od małych kopalń o parosobowej obsadzie górniczej do wielkich zakładów górniczych. W niektórych kopalniach eksploatacja prowadzona jest odkrywkowo, przeważnie jednak złoża udostępnione są sztolniami i upadowymi, szyby należą do rzadkości.

Średnia zawartość tlenków uranu i wanadu w rudzie waha się w pobliżu 0,2% U_3O_8 i 1,0% V_2O_5 . Wzbogacenie i koncentrację urobku przeprowadza osiem wielkich zakładów przerobczych położonych w pobliżu głównych ośrodków eksploatacyjnych. W chwili obecnej prowadzone są na całym obszarze występowania

rud karnotytowych intensywnie poszukiwania geologiczne. O rozmiarze tych prac może świadczyć wykonanie 660 000 m biezących wierceń geologiczno-poszukiwawczych w r. 1952.

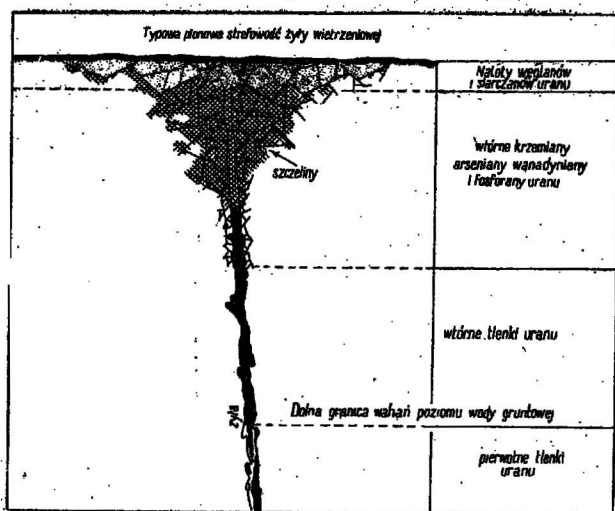
ZŁOŻA URANU W ŁUPKACH, WĘGLACH BRUNATNYCH I WAPIENIACH

W wielu częściach USA występują uranonośne utwory węgliste, jednak na ogół o bardzo niskiej zawartości U_3O_8 , rzadko jedynie przewyższającej 0,01%. W stanach Wyoming, Południowa i Północna Dakota, Nowada i Montana występują trzeciorzędowe niskoprocentowe uranonośne węgle brunatne. W Missouri, Nowym Meksyku, New Jersey, Utah i Vermont odkryto ostatnio szereg występowień radioaktywnych wapieni. W wapieniach tych uranowi towarzyszy substancja gliniasta, węglowa lub fosforowa. W wapieniach szczelinowatych stwierdzono wtórne minerały uranowe.

Na terenie Szwecji znane są w okolicy Närke i Västergötland łupki alunowe wieku kambryjskiego, zawierające uranonośny materiał węglowy tzw. kolm. Substancja węglowa tworzy wyklinowujące się soczewki wśród łupków alunowych. Popiół kolmu zawiera od 1 do 3% U_3O_8 . Nagromadzenie uranu nastąpiło prawdopodobnie w okresie diagenety osadu.

ZŁOŻA WTÓRNYCH MINERAŁÓW URANOWYCH

Każde złożo pierwotnych złóż uranu posiada na swych wychodniach strefę wietrzeniową z minerałami wtórnymi. Strefa ta w zależności od pierwotnej koncentracji rudnej, jej składu chemicznego jak i warunków wietrzeniowo-erozyjnych może obejmować bardzo zmienne co do zasięgu partie złoża. W wielu wypadkach minerały wtórne sięgają do bardzo głębokich partii ciała żyłnego, przy czym dość często mimo intensywniej eksploatacji w wielu złożach np. w Australii nie natrafiono jeszcze na poziom rud pierwotnych. Obecnie przeprowadzane badania wykazały, że tworzenie się wtórnych minerałów uranowych może być spowodowane zarówno procesami koncentracji, jak i rozproszenia uranu rud pierwotnych. Złoża wtórne zawierają minerały będące chemicznie: tlenkami, siarczanami, węglanami, arsenianami, fosforanami i wanadynianami uranu. Frondel i Fleischer (5) podają ponad 60 minerałów uranowych, z których przygniatając większość zaliczamy do wtórnych. Nr ryc. 5 podany jest typowy schemat strefowego rozmieszczenia minerałów wtórnych w zyle zwiertzałej blendy smolistej (wg Stugarda i Wyanta, 7). Bezpośrednio na wychodniach złoża znajduje się zwykle strefa nalotów węglanowych i siarczanowych uranu. Strefa ta przechodzi stopniowo w obszar nagromadzenia wtórnych krzemianów, fosforanów, arsenianów i wanadynianów. Skład mineralny tej partii złoża ulega wahaniom w szerokich gra-



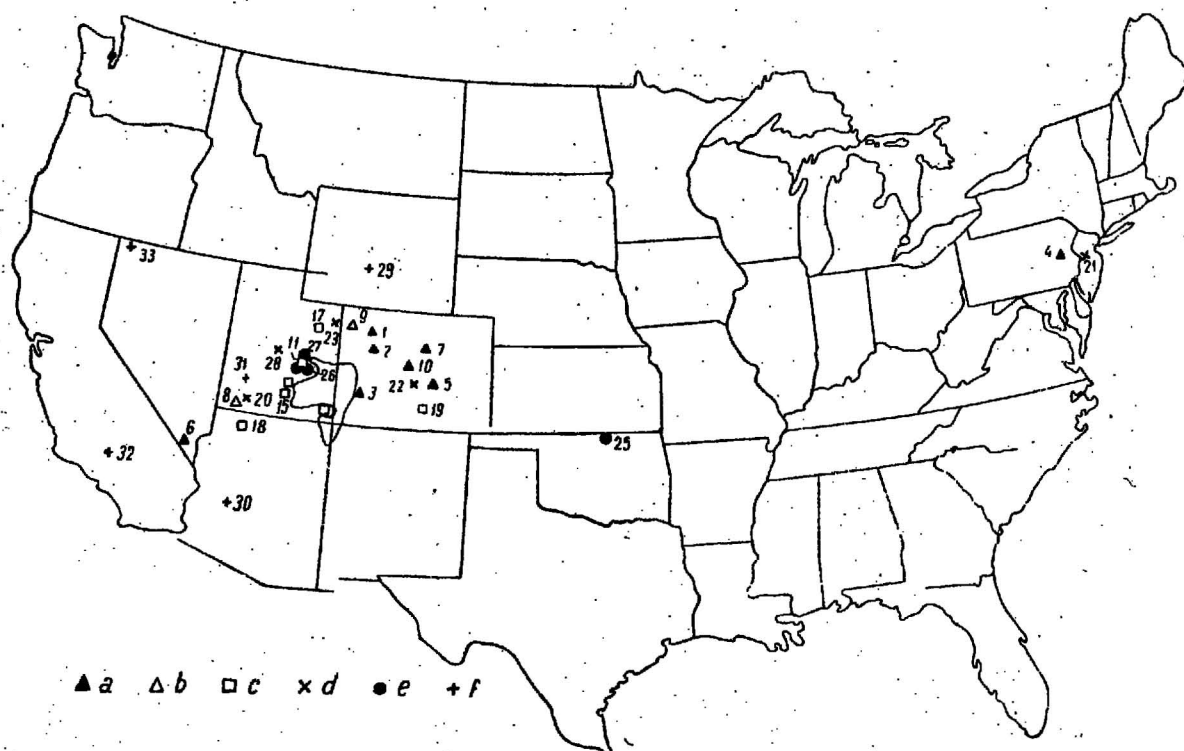
Ryc. 5

na głównie z wtórnej blendy i reliktyw blendy szego poziomu wód gruntowych występują wtórne tlenki z nielicznymi reliktyw tlenków pierwotnych. Poniżej lustra wód gruntowych w strefie redukcyjnej znajdują się same pierwotne tlenki uranu.

Wtórna mineralizacja uranowa objęta są niekiedy bardzo poważne partie złóż uranowych, np. w Shinkolobwe, w Portugalii, Australii i w Stanach Zjednoczonych.

ZŁOŻA WTÓRNYCH MINERAŁÓW URANOWYCH W USA

W USA najbardziej znanym obszarem występowania, wraz z rudami pierwotnymi minerałów wtórnych o większym znaczeniu ekonomicznym, jest rejon Marysville w stanie Utah. W Marysville żyły blendy smolistej związane są z monzonitami i granitami wieku od późnokredowego do trzeciorzędowego. Górne partie żył uległy silnemu zwietrzeniu nie raz do znacznych głębokości, przy czym obserwujemy wyraźną strefowość w rozmieszczeniu poszczególnych grup minerałów wtórnych uranu. Żyły pierwotnej blendy zawierają kwarc, fluoryt oraz pirit i inne siarczki. Na wychodniach znajduje się szrekingeryt wraz z uranofanem i torbernit. Strefa ta przechodzi ku dołowi w obszar supremacji uranofanu nad innymi minerałami wtórnymi. Autunit i torbernit spotykane są w stosunkowo większej ilości w spagu strefy uranofanowej i przechodzą stopniowo w partię złóż zbudowaną głównie z wtórnej blendy i reliktyw blendy pierwotnej. Poniżej najniższego poziomu wód gruntowych znajduje się jedynie pierwotna blenda uranowa. Większe złoża objęte wtórną mineralizacją uranową znajdują się na tere-



Ryc. 6 — Występowanie w USA złóż uranu związanych z poziomami stratygraficznymi utworów osadowych. a — złoża uranowo-wanadowe, b — miedź, uran, wanad, c — miedź, uran, d — uran, wanad, zwęglone drewno, e — złoża miedzi, wanadu, uranu ze zwęglonym drzewem, f — złoża asfaltowo-uranowe. 1. Meeker, Colorado, 2. Rifle — złożo, 3. Placerville — złożo, 4. Mauch Chunk, 5. Mike Doyle, 6. Goodspirings, Nevada, 7. Leyden — kop. węgla, 8. Silver Reef — złożo, 9. Skull Creek — złożo, 10. Garo — złożo karnotytu, 11. Cooper Globe — złożo, 12. Oyler — kopalnia, 13. Spotted Dog, 14. Oak Creek — złożo, 15. Circle Cliff — złożo, 16. White Canyon, 17. Uinta Basin — złożo, 18. Hack — kopalnia, 19. Mc Intire — złożo, 20. Bulloch, 21. Stockton — złożo, 22. Jezus — żyła, 23. Snow, 24. RAJ — złożo, 25. Staneart, 26. Temple Mountain — złożo, 27. Lone Tree — złożo, 28. Red Canyon — złożo, 29. Lost Creek — złożo, 30. ROY, 31. Wooley, 32. Rosamond Hill — złożo, 33. Virgin Valley — złożo.

nie stanów Utah (kopalnia Happy Jack) i Arizona (kopalnia Oyler).

ZŁOŻA MIK URANOWYCH W PORTUGALII

W południowo-zachodniej Portugalii w pobliżu granicy hiszpańskiej występują masywy granitowe zawierające uranonośne pegmatyty. Miki uranowe wiążą się przede wszystkim z pegmatytowymi żyłami kwarcowymi oraz ze skaolinizowanymi granitami. Najważniejsze złoża występują na obszarach wysadów granitowych między miejscowościami Guarda i Sabugal. Utwory pegmatytowe tworzą tam dwa równoległe systemy, z których jeden został prześlędzony na przestrzeni około 15 km. Grubość żył waha się od 0,5 do 1 m, jedynie osiemsetmetrowa strefa pegmatytowa jest uranonośna. Miki uranowe eksploatowane były przed 1939 rokiem w wielu miejscach. Wydobywana ruda była niskoprocentowa, zawierała średnio 0,3—0,5% U_3O_8 , jednak trafiały się partie złoża, gdzie zawartość tlenu uranu dochodziła do 1,0 a nawet do 2,0%.

Kopalnie portugalskie wydobyły w okresie od 1908—1940 roku około 18.000 ton rudy, przy czym ponad 50% tej produkcji dostarczyła kopalnia Urgeirica. W głębszych poziomach tej kopalni obserwowane jest przejście rud mikowych w blendę smolistą. Wskazywałoby to na wtórny charakter mik występujących w tym złożu. Od piętnastu lat nie posiadamy żadnych nowych danych odnośnie do kopalnictwa uranowego na terenie Portugalii.

ZŁOŻA MIK URANOWYCH W WEISSENSTADT W BAWARII

W Bawarii w pobliżu granicy Czechosłowackiej w miejscowości Weissenstadt występują miki uranowe wśród intruzji granitowych. Torbernit wykryształizowuje się w szczelinach ciosowych granitów, w postaci nalotów oraz w żyłach kwarcowych. Miejscami żyły kwarcowe są silnie wzbogacone w uran, ma to miejsce przede wszystkim w zgrejzenizowanej strefie siarczkowej. Do głębokości 200 m występuje torbernit i nie widać pojawienia się blendy. Na podstawie tego faktu Schumacher (15) uważa za możliwe pierwotne pochodzenie torbernitów w tym złożu.

ZASOBY ŚWIATOWYCH ZŁOŻ URANU

Według danych z 1949 roku (8) zapasy uranu w poszczególnych krajach miałyby się przedstawiać następująco:

Kongo Belgijskie	11 000	ton	uranu	metalicznego
Czechosłowacja	7 500	"	"	"
Portugalia	250	"	"	"
Afryka Wschodnia	100	"	"	"
Madagaskar	50	"	"	"

W zestawieniu tym brak jest złóż kanadyjskich, amerykańskich, południowo-afrykańskich i australijskich. Przed paru laty za naj-

większe złoża światowe uważano Shinkolobwe, jest bardzo prawdopodobne, że i do chwili obecnej zajmuje czołowe miejsce, niemniej posiada ono poważnych konkurentów w złożach kanadyjskich, a nawet i amerykańskich jako całości. Obszar sasko-czeskich Gór Kruszcowych ustępuje zapewne jedynie złożom afrykańskim i amerykańskim. Uranonośne konglomeraty Witwatersrandu posiadają w chwili obecnej dość niejasną pozycję, niemniej zaliczane są do najpoważniejszych złóż światowych.

Obecnie jesteśmy świadkami intensywnej eksploatacji rud, wysokoprocentowych i stopniowego przechodzenia na złoża lub partie złóż o niższej procentowo zawartości uranu. W Stanach Zjednoczonych w zależności od kosztów robocizny i zapasów dolna granica rentowności dla rud karnotytowych wynosi 0,3—0,2% U_3O_8 . Z pewnością po wyczerpaniu złóż bogatych przystąpi się do eksploatacji rud w dzisiejszym pojęciu ubogich, np. szwedzkich łupków uranonośnych, których zapasy obliczane są na miliardy ton rudy o zawartości 100 g na tonę urobku.

W związku z wykorzystaniem energii atomowej do celów pokojowych i budową na całym świecie sieci elektrowni atomowych należy się liczyć ze stale wzrastającym zapotrzebowaniem na uran w ciągu najbliższych lat.

L I T E R A T U R A

1. Barsanow G. P. — Geochemическая интерпретация редкоземельных минералов итмического комплекса. „Вопросы минер. и petr.“. Ak. Nauk SSSR — 1946, str. 228—244.
2. Dana's System of Mineralogy. Wyd. VII, tom. I.
3. Everhart-Wright — The geologic character of typical pitchblende veins Econ. Geol. 48 (1953) nr 2, str. 77—96.
4. Fischer R. P. — Vanadium deposits of Colorado and Utah, a preliminary report. U. S. Geol. Survey Bull. 1942, str. 363—394.
5. Frondel W. J., Fleischer M. — A glossary of uranium and thorium-bearing minerals. U. S. Geol. Survey Circ. 494, wyd. II 1952.
6. Geolog. Survey of Canada — Prospecting for uranium in Canada. 1952.
7. Kaiser E. P., Page R. i inni — Selected papers on uranium deposits in the U. S. Geol. Survey Circ. 220, 1952.
8. „Kosmos“ 1949, 45 str. 246.
9. Krusch P. — Die Metallischen Rohstoffe, z. I. Stuttgart 1937.
10. Lang A. E. — Canadian Deposits of uranium and thorium. Geol. Survey of Canada. Econ. Geol. Series nr 16, 1952.
11. Page R. — Uranium in pegmatites. Econ. Geology, tom 45, str. 12—32.
12. Raguin E. — Geologie des gites mineraux. 1949, str. 334—348.
13. Sullivan-Matheson — Uranium-copper deposits. Rum Jungle Australia Econ. Geology 47. 1952, nr 7, str. 751—756.
14. „South African Mining and Engineering Journal“, nr 3160, 3164, 3170—1953 r. i nr 3185 z r. 1954.
15. Schumacher — Uranerzlagerstätten. „Glückauf“ 1954 z. 31—32, str. 845—851.
16. Tureau J. i du Trien de Terdonck R. — La gite d'uranium de Shinkolobwe-Kasolo (Katanga). Inst. royal colonial belge, Sec. Sci. nat. et med., Mem. tom II.