

UDK 552.163 + 552.321.3:550.93(234.3) = 863

Ali je predkambrij na Pohorju? Does Precambrian occur at Pohorje?

Ernest Faninger

Prirodoslovni muzej, 61000 Ljubljana, Prešernova 20

Kratka vsebina

V članku so povzeti rezultati, objavljeni o radiometrični starosti skrivlavih kamenin in z njimi združenih globočnin na obsežnem območju Centralnih Alp, kjer se je uveljavila regionalna metamorfoza. Tako imenovani »stari kristalinik« kaže ponekod določene znake, da je bil metamorfiziran v času kaledonske orogeneze, svojo pravo podobo pa je dobil v paleozojski eri pod učinkovanjem variscijske orogeneze. Vendar ne gre spregledati niti vpliva alpidске orogeneze. Domneva o neki starejši — predkambrijski — metamorfozi do sedaj ni bila potrjena. Globočninska tonalitna telesa vzdolž periadriatskega lineamenta so nastala v oligocenski epohi. Pohorske metamorfne kamenine interpretirajo podobno kot »stari kristalinik«. Toda radiometrična starost tonalitovega biotita, določena po Rb-Sr metodi, kaže na srednjemiocenski časovni interval pred 19 ± 5 milijoni let. Ta starost pa ne ustreza tonalitu samemu; srednjemiocenske usedline vsebujejo namreč njegove prodnike in mora biti torej tonalitna intruzija starejša, najverjetneje oligocenska.

Abstract

This report summarizes the results previously published on the radiometric ages of schistose rocks and associated intrusive igneous rocks in the extensive areas of the Central Alps in which regional metamorphism has been developed. The so called "oldcrystalline" simulates the evidence of the Caledonian events and at last it appears to have been formed in the late Paleozoic Variscan orogenic era. Furthermore, the Alpine orogeny is not to be disregarded. Besides a Precambrian metamorphism is supposed, but it could not be proved up-to-date. The Alpine intrusive igneous rocks exhibit a Variscan or Alpine age. The plutonic bodies of tonalite occurring along the Periadriatic Lineament took their present form in the Oligocene epoch.

The interpretation of the regional metamorphic rocks of Pohorje Mountain is in general the same as that of the "oldcrystalline". But the Rb-Sr age of 19 ± 5 m. y. determined for biotite from the Pohorje tonalite bears no relationship to the tonalite itself. By this age a Middle Miocene interval is indicated. However, from the deposits of the same age gravel, derived from tonalite, has been recorded. Consequently, the tonalite emplacement must be somewhat older than Middle Miocene. Most likely it owes its origin to the Oligocene magmatic intrusion.

Pohorje sestoji v glavnem iz regionalnometamorfnih kamenin. Vanje je intrudiral tonalit, vse pa je predril dacit. Prej so regionalnometamorfnim kameninam Centralnih Alp pripisovali arhaisko starost in še danes jih v nekaterih učbenikih (R. Brinkmann, 1969) omenjajo kot predkambrijsko tvorbo. Vemo pa tudi, da nastajajo regionalnometamorfne kamenine v globjih delih zemeljske skorje v zvezi z vsako orogenezo. V zemeljski zgodovini je bilo več orogenez. Alpe je nagubala in dvignila sorazmerno mlada alpidaska orogeneza, najdemo pa tudi sledove variscične orogeneze. Zato se upravičeno vprašamo, ali niso regionalnometamorfne kamenine Centralnih Alp nastale šele v zvezi z variscično in alpidasko metamorfozo. V nekaterih primerih lahko sklepamo že na podlagi geoloških opazovanj na variscično metamorfozo regionalnometamorfnih kamenin Centralnih Alp; problem njihove starosti v celoti pa je bilo možno rešiti z radiometričnimi določitvami. Predno preidemo k rezultatom tovrstnih raziskav, se seznanimo z nekaterimi pojmi, ki jih bomo v nadaljevanju uporabljali.

Najmlajša orogeneza in z njo zvezana regionalna metamorfoza je bila alpidaska. Začela se je v kredni periodi pred nekako 100 milijoni let, dosegla višek v terciarni periodi in traja še danes. V tem obdobju so se razen Alp dvignila in nagubala med drugimi gorstva, ki se raztezajo prek Balkana, Turčije in Iranskega višavja prav do Himalaje. Variscična orogeneza se je pričela v karbonski periodi mlajšepaleozojske ere pred 345 milijoni let, kaledonska orogeneza pa v ordovicijjski periodi starejše paleozojske ere pred nekako 500 milijoni let. Prehod paleozojske ere v dolgo predkambrijsko pred 570 milijoni let karakterizira assintska (bajkalska) orogeneza.

Metamorfne kamenine so nastale kot posledica zvišanega pritiska in temperature, včasih tudi še sprememb kemične sestave. O izokemični metamorfozi govorimo, če se med metamorfozo kemizem kamenine ni spremenil, sicer je metamorfoza alokemična. Razlikujemo regionalno in kontaktno metamorfozo. Regionalna metamorfoza je zajela med orogenetskimi procesi velike, globlje ležeče dele zemeljske skorje in je potekala povečini izokemično. Nasprotno je delovala kontaktna metamorfoza le na stiku prikamenine z magmo in je alokemična.

Pogoji regionalne metamorfoze se z naraščajočo globino spreminjajo; razlikujemo tri cone: epi-, mezo- in katacono. V epiconi so temperature in pritiski še sorazmerno nizki, z globino pa postopno naraščajo. V novejših učbenikih rajši govorijo o metamorfnih faciesih. V odvisnosti od izhodnih kamenin nastajajo pri določenih pritiskih in temperaturah določene mineralne parageneze, ki karakterizirajo facies. V glavnem razlikujemo facies zelenega skrilavca, almandin-amfibolitni facies in eklogitni facies. Po pritiskih in temperaturah ustreza epiconi facies zelenega skrilavca, mezoconi in delu katacone almandin amfibolitni facies ter najglobljemu nivoju katacone eklogitni facies. Večina regionalnometamorfnih kamenin je nastala v intervalu od 300 °C do 650 °C. Pri višjih temperaturah se začne kamenine taliti. S tem se poraja magma, ki se po prodoru med višje ležeče plasti zemeljske skorje strdi v obliki globočnin, ali pa se kot lava izlije na zemeljsko površje. Orogeneza, regionalna metamorfoza in magmatizem so torej med seboj tesno povezani procesi.

Med regionalno metamorfozo deluje poleg hidrostatičnega tudi usmerjeni pritisk; zato so regionalnometamorfne kamenine bolj ali manj vskriljene. De-

limo jih na ortometamorfne in parametamorfne kamenine. Prve so nastale iz magmatskih kamenin, druge pa iz sedimentnih. Če govorimo o starosti regionalnometamorfnih kamenin, mislimo vedno na starost metamorfoze, čeprav je tudi podatek o starosti izhodnih kamenin zelo pomemben.

Najvažnejše regionalnometamorfne kamenine so gnajs, blestnik, filit in eklogit. Gnajs sestoji iz glincev, kremenca in sljude. V blestniku prevladujeta kremen in sljuda in prav tako v filitu, vendar so lističi sljude v filitu tako majhni, da ima kamenina svilen lesk. Amfibolit sestoji v glavnem iz rogovače in plagioklazov, eklogit pa iz granatov in omfacita. Gnajs je nastal pod pogoji almandin-amfibolitnega faciesa iz granita in usedlin podobne sestave. Zato razlikujemo ortognajs in paragnajs. Amfibolit predstavlja v almandin-amfibolitnem faciesu metamorfozirani gabro. Pod še višjimi pritiski je iz gabra nastal eklogit. Filit in blestnik sta nastala pri regionalni metamorfozi iz glinice. Pri postopnem zviševanju pritiska in temperature glina najprej preide v skrilavo glino in nato v glinasti skrilavec, filit in blestnik. Skrilavo glino imamo še za usedlino, glinasti skrilavec pa tvori nekak prehod iz usedline v metamorfno kamenino, vendar ga tudi štejemmo še med usedline. Filit je tipična metamorfna kamenina faciesa zelenega skrilavca, blestnik pa je prekrystaliziral v almandin-amfibolitnem faciesu.

Regionalnometamorfne kamenine so lahko bile večkrat metamorfozirane. V takih primerih govorimo o polimetamorfnih kameninah. S tem v zvezi omenimo še retrogradno metamorfozo, oziroma diaforezo, ki povzroči, da bolj metamorfozirane kamenine dobijo videz manj metamorfoziranih. Mineralne parageneze, nastale v najvišji stopnji metamorfoze, se v metamorfni kameninah navadno ohranijo. Pogoj za retrogradno metamorfozo je zadostna količina vode, potrebne za kemične reakcije. Do retrogradne metamorfoze je lahko prišlo v končni fazi metamorfoze, pa tudi med ponovno metamorfozo v geološkem okolju nižjih pritiskov in temperatur.

Oglejmo si še razdelitev predkambrija. Delimo ga na proterozoik (algonkij) in azoik (arheozoik). Prej so v proterozoik uvrščali vse sedimentne kamenine, ki leže pod kambrijskimi skladi, ustreznim metamorfnim kameninam pa so pripisovali arhajsko starost. Ko so začeli uporabljati radiometrične metode, so kmalu ugotovili, da so lahko nekatere predkambrijske metamorfne kamenine tudi mlajše kot najstarejše proterozojske sedimentne kamenine. Danes uvrščamo v arheozoik kamenine, ki so starejše kot 2500 milijonov let. Kot so pokazale raziskave v Južni Afriki (J. A. Jacobs & sodel. 1974, p. 476—488), jih najdemo v kratonih predkambrijskih ščitov. Kratoni sestojijo v glavnem iz granita z vgnetenimi »zelenimi kamni«, to je s šibko metamorfoziranim bazaltom. Nasprotno pa navajajo za močno metamorfozirane kamenine predkambrijskih ščitov, kakršne predstavlja npr. gnajs, le starosti, ki ne presegajo 2500 milijonov let. Primerjava z najstarejšo zasnovo afriške celine povsem jasno kaže, da v Centralnih Alpah ne more biti govora o arhajskih metamorfni kameninah temveč kvečjemu o proterozojskih. Granit v Centralnih Alpah pa že zato ne more biti arhajski, ker je relativno mlajši od obdajajočih metamorfni kamenin.

Po raziskavah A. Hinterlechner-Ravnikove (1973) sestoji velik del Pohorja iz metamorfni kamenin almandin-amfibolitnega faciesa: iz gnajsa, blestnika in amfibolita. Blestnik in gnajs vsebujeta vložke eklogita. Zgornji del tega zaporedja je retrogradno metamorfoziran. Nad retrogradno metamorfozi-

ranimi kameninami, oziroma diafrotiti, se pojavlja filit, nanj pa je bil narinjen staropaleozojski glinasti skrilavec, tako imenovane štalenskogorske serije, ki predstavlja zgornji orodovicij, silur in spodnji devon. Meja med regionalno-metamorfnimi kameninami in štalenskogorsko serijo je tektonska, zato ne moremo z geološkega vidika ničesar trditi o starosti pohorskih metamorfnih kamenin. Več nam povedo razmere na bližnji Svinški planini na Koroškem (W. Fritsch, 1962; G. Kleinschmidt & Sodel., 1976). Tudi Svinška planina sestoji iz regionalno-metamorfnih kamenin in iz štalenskogorske serije, ki so pa tu prekrte z zgornjekarbonskimi usedlinami. Karbonski skladi niso metamorfozirani, glinasti skrilavec štalenskogorske serije pa postopno prehaja v filit, zato so imeli regionalno-metamorfne kamenine Svinške planine najprej za variscične. Enako velja tudi za pohorske metamorfne kamenine (A. Hinterlecher-Ravnik, 1973). Toda ko so drugod v Centralnih Alpah zbrali več podatkov o starosti regionalno-metamorfnih kamenin, so spremenili mnenje o starosti eklogita in kamenin almandin-amfibolitnega faciesa na Svinški planini.

Najbolj znana metoda za določevanja absolutne geološke starosti je uran/svinčeva metoda. Pri radioaktivnem razpadu urana nastane kot končni produkt svinec, tako imenovani radiogeni svinec. Natančneje povedano, iz uranovega izotopa ^{235}U nastane svinčev izotop ^{206}Pb , iz ^{238}U pa ^{207}Pb . Ko določimo tako nastali svinec, npr. ^{206}Pb in preostali ^{238}U , lahko izračunamo starost uranovega minerala. V Centralnih Alpah poznamo številna nahajališča uranovih mineralov, toda ruda je povsod bistveno mlajša od metamorfne prikamenine in zato ne pride v poštev pri določevanju starosti metamorfoze. Pomembnejši je v tem pogledu cirkon (ZrSiO_4), ki sicer ni uranov mineral, vedno pa vsebuje malenkostne primese urana.

Za določevanje starosti cirkona ustreza grafična metoda, ko na absciso nanašamo razmerje $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, na ordinato pa $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (D. York & R. M. Farquhar, 1973). Če tako prikažemo različno stari cirkon, dobimo ustrezno krivuljo ob predpostavki, da je cirkon vedno ostal zaprt sistem in torej ni nikoli izgubil v sebi nakopičenega radiogenega svinca. Cirkon magmatskih kamenin je nastal pri kristaljenju magme; zato njegova starost kaže tudi na starost magmatskih kamenin. Če je kasneje prišlo do močne metamorfoze, je pri začasno višji temperaturi postal cirkon za svinec odprt sistem. Pri tem je del radiogenega svinca, nakopičenega v cirkonu do takrat migriral v okolico. V tem primeru se meritveni podatki o cirkonu, ki je nekoč nastal istočasno, ne bodo ujemali z ustrezno točko na krivulji, ki nakazuje njegovo prvotno starost. Razporejeni bodo na premici, katere eno sečišče s krivuljo dejansko podaja njegovo prvotno starost, medtem ko se drugo nanaša na dogodek, ki je povzročil spremembo razmerja izotopov, se pravi na metamorfozo. Po tej metodi so preiskali cirkon, ki se pojavlja v paragnajsu Silvrette in Gotthardovega masiva (B. Grauert & A. Arnold, 1968). Izračunali so, da je cirkon star najmanj 1500 milijonov let, v zvezi z neko epizodo pred 450 milijoni let pa je izgubil del radiogenega svinca, nakopičenega v njem do takrat. Torej je obravnavani cirkon nastal primarno v zvezi z različno starimi granitnimi intruzijami (najmlajša pred 1500 milijoni let). Kje je nekoč bila ta stara, predkambrijska celina, danes ne vemo. Vsekakor je bil granit erodiran in cirkon je bil s preperino vred prenesen v neki sedimentacijski prostor. Tako nastale predkambrijske in

delno tudi kambrijske usedline je v ordoviciju, pred 450 milijoni let kaledonska metamorfoza spremenila v gnajs. S tem je bila radiometrično dokazana kaledonska metamorfoza v Centralnih Alpah.

V geokronologiji največ uporabljajo rubidij/stroncijev metodo. Rubidijev izotop ^{87}Rb počasi razpada v stroncijev izotop ^{87}Sr . Če določimo tako nastali radiogeni stroncij in preostali ^{87}Rb , lahko izračunamo starost raziskanega minerala. Navadno določujejo starost z rubidijem sorazmerno bogatega biotita in muskovita. Natančneje povedano, »rubidij/stroncijeva ura« začne kazati čas, ko se je muskovit ohladil pod $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, biotit pa pod $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ako še ni prišlo do ponovnega zagretja, nam starostni podatki o sljudah iz magmatskih kamenin obenem povedo tudi starost samih magmatskih kamenin, pri metamorfnih kameninah se vselej nanašajo na zadnjo metamorfozo, ko je temperatura padla pod navedeni vrednosti. Meritve so celo tako natančne, da lahko z Rb/Sr metodo preiščemo vzorce celotnih kamenin, kjer so koncentracije navedenih elementov bistveno manjše. Pri vrednotenju meritvenih podatkov uporabljamo v takih primerih grafično metodo. Na absciso nanašamo pri posameznih vzorcih kamenin izmerjena razmerja izotopov $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, na ordinato pa razmerja $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Pri tem dobimo premico — izohrono, katere nagnjenost nam omogoča izračunati starost (E. I. Hamilton & R. M. Farquhar, 1968). Pri magmatskih kameninah je starost izračunana na podlagi izohrone, identična z njihovim nastankom. Kaj definira izohrona pri metamorfnih kameninah, ni vedno lahko ugotoviti. Pri ortometamorfnih kameninah se lahko nanaša npr. na starost magmatskih kamenin, iz katerih so nastale, pa tudi na metamorfozo. Rezultat je odvisen od tega, ali je ostala kamenina med metamorfozo zaprt sistem, ali ne. Še večji problem predstavljajo v tem pogledu parametamorfne kamenine in posebej še polimetamorfne kamenine. Zato moramo v geokronologiji vedno upoštevati še rezultate geoloških in petrografskih raziskav. Pri tem včasih ne pridemo do cilja pri uporabi ene same geokronološke metode.

Do pomembnih rezultatov so prišli z Rb/Sr metodo pri določanju starosti metamorfoze južnih obronkov Zillertalskih Alp, sestavljenih v glavnem iz paragnajsa in ortognajsa (S. Borsi & sodel., 1973). V geološkem pogledu je zanimivo, da ortognajs vsebuje vključke obdajajočega paragnajsa, pri čemer skrilavost paragnajsa navadno ni vzporedna s skrilavostjo ortognajsa. To pomeni, da je granit intrudiral obstoječi paragnajs, nakar je šele neka mlajša metamorfoza granit spremenila v ortognajs. Torej mora biti paragnajs starejši od ortognajsa.

Oglejmo si, kaj so pri tem ugotovili z radiometričnimi meritvami. Z Rb/Sr metodo so preiskali vzorce celotnih kamenin in posebej še sljude.

1. Paragnajsu določa izohrona starost 487 milijonov let, ki se nanaša na metamorfozo.
2. Ortognajsu določa izohrona starost 434 milijonov let, ki se nanaša na starost granita, iz katerega je ortognajs nastal.
3. Biotitu in muskovitu v paragnajsu in ortognajsu so izmerili povprečno starost 300 milijonov let.

Radiometrične meritve starosti se povsem ujemajo z geološkimi napovedmi. Paragnajs je v starejšem paleozoiku oblikovala že kaledonska metamorfoza. Kaledonske starosti je tudi granit, ki je intrudiral v paragnajs. Kasnejša variacijska metamorfoza je granit spremenila v ortognajs in obenem premetamor-

fozirala paragnajs; pri tem pa ni bila tako močna, da bi paragnajsu izbrisala teksturne značilnosti, pridobljene že pri starejši metamorfozi.

Kot smo videli, so S. Borsi & sodel. (1973) z Rb/Sr metodo na podlagi izohrone izračunali paragnajsu južnih obronkov Zillertalskih Alp kaledonsko starost. Z vrednotenjem ustreznih meritvenih podatkov pa se ni strinjal M. Sattir (1976, p. 404). Po njegovih ugotovitvah bi bilo treba meritve vrednotiti po dveh približno vzporednih izohronah, ki določata metamorfozi variscično starost 350, oziroma 370 milijonov let. Tudi ta razlaga ni v nasprotju z geološkimi ocenami. Pač pove, kar tako že dokazujejo sljude, da je bila zadnja metamorfoza polimorfnega paragnajsa variscična. Seveda v tem primeru ostane odprto vprašanje, katera metamorfoza je že prej oblikovala paragnajs, kaledonska, kot smo prej ugotovili, ali kakšna še starejša?

Tudi z ortognajsom južnih obronkov Zillertalskih Alp stvar ni tako preprosta. V nekaterih drugih geoloških enotah Centralnih Alp so prav tako z Rb/Sr metodo preiskali ortognajs in pri tem dobili izohrone, ki določajo starosti v razponu 440 do 420 milijonov let. Kot pri pravkar obravnavanem primeru, je večina avtorjev mišljenja, da te starosti ustrezajo granitnim intruzijam, drugi pa menijo, da se nanašajo na kaledonsko metamorfozo (H. Bögel & sodel., 1979, p. 96). Po drugi interpretaciji je seveda moral biti ustrezeni magmatizem starejši od kaledonske metamorfoze, ki pa po ocenah W. Bracka (1977) ni starejši od 460 do 500 milijonov let. Torej je bil tudi v teh primerih magmatizem še vedno kaledonski. Predpostavljamo lahko, da je intenzivno kaledonsko metamorfozo spremljalo močno magmatsko delovanje. Pri tem je zgodnje granite že kaledonska metamorfoza preobrazila v gnajs, pozne granite pa je lahko preoblikovala šele variscična metamorfoza v mlajšem paleozoiku.

Najsi že pomen izohron, dobljenih za paragnajs in ortognajs po Rb/Sr metodi, razlagamo tako ali drugače, kaledonska in variscična metamorfoza sta v Centralnih Alpah radiometrično dokazani. Kaledonsko metamorfozo potrjuje cirkon, variscično pa sljude.

V ožjem območju Visokih Tur — v glavnem grebena Zillertalskih Alp in Großvenedigerja — so geologi že dolgo pisali o tektonskem oknu, kjer prihaja na površje podlaga variscično konsolidiranih kamenin. Imenovali so ga Tursko okno, ki sestoji prav tako iz metamorfnih kamenin; vendar gre v tem primeru za alpidsko metamorfozo. Tako npr. predstavlja ortognajs Turskega okna alpidsko metamorfozirani granit permske starosti (E. Jäger & sodel., 1969). Toda alpidaska metamorfoza ni bila omejena na Tursko okno. Podatki, dobljeni z Rb/Sr in K/Ar metodo, kažejo, da so bile sljude delno pomlajene tudi v variscično konsolidiranih metamorfnih kameninah drugih geoloških enot v Centralnih Alpah, npr. v neposredni bližini Turskega okna (S. Borsi & sodel., 1973) in še drugod. Alpidaska metamorfoza je bila večfazna; starejša faza je imela kulminacijo pred 80 milijoni let, mlajšo pa postavljajo v obdobje pred 35 do 38 milijonov let (E. Jäger, 1971). Alpidaska metamorfoza je lahko pomladila biotite tudi v nekaterih variscičnih globočinah. To velja za granit Aarskega masiva, kjer kaže alpidsko pomlajeni biotit celo starost okoli 14 milijonov let (H. Wüthrich, 1965). V Seckauskih Turah je alpidaska metamorfoza pred 75 milijoni let celo v faciesu zelenega skrilavca spremenila variscično intrudirani granit (S. Scharbert, 1981). Nadalje je alpidaska metamorfoza pred 80 milijoni let v veliki meri pomladila sljude variscičnih pegmatoidnih žilnin,

ki prepletajo metamorfne kamenine Svinške planine in Korice (W. Morauf, 1981). Enake žilnine imamo tudi na Pohorju in na Strojni. Za jugovzhodni del Centralnih Alp je nadvse pomembno tudi tektonsko okno na vznožju Korice v bližini Wolfsberga. V njem se pojavlja ortognajs, ki je nastal z metamorfozo permskega granita pred 80 milijoni let (W. Morauf, 1980).

Sedaj se vrnimo na Svinško planino na Koroškem. Če upoštevamo dosežane določitve radiometričnih starosti drugod v Centralnih Alpah, se nam zdi še najbolj verjetno, da so svinški gnajs, blestnik in eklogit nastali v zvezi s kaledonsko metamorfozo. Ni pa izključeno, da že takrat te kamenine niso bile polimorfne. Z gotovostjo lahko trdimo, da je filit variscične starosti, retrogradna metamorfoza pa bi bila lahko alpidiska (H. Bögel & sodel., 1979, p. 99). Prej omenjena radiometrično določena alpidiska metamorfoza v tem delu Alp (W. Morauf, 1981) vsekakor podkrepi domnevo o alpidski starosti retrogradnih sprememb. Enako bi sedaj lahko trdili za podobne pohorske regionalno-metamorfne kamenine. Seveda bo treba vse preveriti še z radiometričnim določevanjem starosti.

Radiometrično so torej v Centralnih Alpah določili kaledonsko, variscično in alpidsko metamorfozo. Obstaja možnost, da se pri polimetamorfni kamenini kaže vpliv še starejše metamorfoze. Doslej namreč še zdaleč niso preiskali metamorfni kamenin v vseh geoloških enotah Centralnih Alp. Obstaja tudi možnost, da z uporabljenimi metodami niso mogli registrirati kakšne še starejše metamorfoze. Tako je npr. relativno svež cirkon zelo rezistenčen in lahko reagira na metamorfozo šele takrat, ko mu radioaktivno sevanje dovolj razrahlja kristalno mrežo (D. York & R. M. Farquhar, 1973, p. 155). Sprašujemo se torej, ali je bil cirkon v raziskanem paragnajsu sposoben registrirati šele kaledonsko metamorfozo, na morebitno starejšo pa ni reagiral? Omenimo še, da so v Karpatih radiometrično že registrirali assintsko (bajkalsko) in še neko predkambrijsko metamorfozo pred 800 milijoni let (H. G. Kräutner & sodel., 1975). Če pomislimo, da predstavljajo Karpati le nekak vzhodni podaljšek Alp, se bomo seveda upravičeno vprašali, ali ni morda alpskih regionalno-metamorfni kamenin delno oblikovala že predkambrijska metamorfoza. Delu zaporedja pohorskih metamorfni kamenin so geologi že pripisali bajkalsko starost (P. Mioč, 1977).

Z radiometričnim določevanjem starosti globočnin v Alpah do sedaj niso imeli večjih težav. Ker je regionalno-metamorfne kamenine v glavnem dokončno oblikovala variscična metamorfoza, lahko pričakujemo v Centralnih Alpah le globočnine poznovariscične in alpidске starosti.

Zanimajo nas predvsem granitoidne globočnine ob periadriatskem lineamentu, ali v njegovi neposredni bližini. Mednje uvrščamo tudi pohorsko globočnino tonalit s postopnimi prehodi v granodiorit. Prej so mislili, da morajo biti periadriatske globočnine sorazmerno mlade, alpidске. Kasneje so z radiometričnimi metodami dokazali, da so delno alpidске, delno variscične starosti. Variscična sta npr. briksenški granit (281 milijonov let) in granodiorit Monte Ivigne (Iffinger) na Južnem Tirolskem (S. Borsi & sodel., 1972). Da je adamellska globočnina, ki sestoji v glavnem iz tonalita in granodiorita, sorazmerno mlada, alpidiska, nastala kot posledica večkratnih intruzij, so ugotovili že z geološkimi metodami (G. B. Trenner, 1912). Sedaj so z radiometričnimi metodami potrdili, da je adamellska globočnina nastajala v intervalu 41 do 30

milijonov let (E. Callegari & G. Dal Piaz, 1973, p. 32). Tonalit pogorja Vedrette di Ries (Rieserferner) je intrudiral pred 30 milijoni let (S. Borsi & sodel., 1979). Podobno starost ima tonalit bližnjega masiva Rensen: 29 milijonov let (S. Borsi & sodel., 1978).

Dobe nastanka pohorskega tonalita ne moremo določiti z geološkimi metodami, posredno pa lahko sklepamo, da mora biti sorazmerno mlad — alpidski (E. Faninger, 1973, p. 298). Z Rb/Sr metodo so biotitu pohorske globočnine določili starost 19 ± 5 milijonov let (G. Deleon, 1969). Sorazmerno nizka vrednost nikakor ne more predstavljati starosti tonalitne intruzije na Pohorju. Devetnajst milijonov let nekako ustreza srednjemu miocenu, srednjemiocenske usedline (helvetske) pa vsebujejo prodnike pohorskega tonalita. To pomeni, da je bil v srednjem miocenu pohorski tonalit že delno odkrit in tako dostopen eroziji. Zato mora biti intruzija pohorskega tonalita vsaj nekoliko starejša od srednjega miocena. To dokazuje tudi dacit, ki je predril pohorsko globočnino; dacitna lava pa se je izlila v srednjem miocenu, kar dokazujejo vložki dacitnega tufa v helvetskih usedlinah. Na kateri dogodek naj torej vežemo omenjenih 19 milijonov let? Ali je biotit pohorskega tonalita pomladila alpidaska metamorfoza? Mlajše faze alpidске metamorfoze doslej še niso registrirali v vzhodnem delu Centralnih Alp. Ali je morda spremljal srednjemiocenski vulkanizem na Pohorju močan toplotni pretok? Kdaj je nastal pohorski tonalit, bomo zvedeli šele takrat, ko mu bodo določili radiometrično starost z Rb/Sr metodo na podlagi izohrone. Po analogiji z drugimi tonaltnimi masivi ob periadriatskem lineamentu zaenkrat tudi nastanek pohorskega tonalita postavimo v oligocensko epoho.

Sklep

Z radiometričnimi meritvami so v Centralnih Alpah doslej registrirali kaledonsko, variscično in alpidsko regionalno metamorfozo. Možno je, da je polimorfne kamenine oblikovala že kakšna metamorfoza, starejša od kaledonske, toda zaenkrat velja kaledonska za najstarejšo v Centralnih Alpah.

Regionalnometamorfne kamenine Centralnih Alp je v glavnem dokončno oblikovala variscična metamorfoza. Kasneje jih je nagubala, dvignila in narinila prek mlajše podlage alpidaska orogeneza. Pri tem je alpidaska metamorfoza spremenila mlajšo podlago, prek katere so drseli pokrovi, delno pa je vplivala tudi na starejše metamorfne kamenine.

Globočnine v Centralnih Alpah so lahko variscične in alpidске. Intruzija tonalitne magme je oligocenska.

Literatura

Brack, W. 1977, Geochronologische Untersuchungen an Gesteinen des Altkristallins in der Schobergruppe/Österr. Diss. Fakultät der Geowissenschaften, Universität München, 97 strani.

Bögel, H., Morteani, G., Sassi, F. P., Satir, M. & Schmidt, K. 1979, The Hercynian and pre-Hercynian Development of the Eastern Alps. Report on a Meeting. N. Jb. Geol. Paleont. Abh., 159, 1, 87—112, Stuttgart.

Borsi, S., Del Moro, A. & Ferrara, G. 1972, Età radiometriche delle rocce intrusive del massiccio di Bressanone-Ivigna-Monte Croce (Alto Adige). Boll. Soc. Geol. It., 91, 387—406.

Borsi, S., Del Moro, A., Sassi, F. P. & Zirpoli, G. 1973, Metamorphic evolution of the Austroalpine rocks to the south of the Tauern Window (Eastern Alps): radiometric and geo-petrologic data. *Mem. Soc. Geol. It.*, 12, 549—571, Pisa.

Borsi, S., Del Moro, A., Sassi, F. P. & Zirpoli, G. 1973, On the Age of the periadriatic Renssen Massif (Eastern Alps). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, Heft 5, 267—272, Stuttgart.

Borsi, S., Del Moro, A., Sassi, F. P. & Zirpoli, G. 1979, On the Age of the Vedrette di Ries (Rieserferner) Massif and its Geodynamic Significance. *Geologische Rundschau*, Band 68, Heft 1, 41—60, Stuttgart.

Brinkmann, R. 1969, *Geologic evolution of Europe*. Second, revised edition. Stuttgart.

Callegari, E. & Dal Piaz, G. 1973, Field relationships between the main igneous masses of the Adamello intrusive massif (northern Italy). *Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova*, Vol. XXIX, 3—38, Padova.

Deleon, G. 1969, Pregled rezultata određivanja apsolutne geološke starosti granitoidnih stena u Jugoslaviji. *Radovi instituta za geološko rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina*, sv. 6-jubilarna, 165—182, Beograd.

Faninger, E. 1973, Pohorske magmatske kamenine. *Geologija*, 16. knjiga, 271—315, Ljubljana.

Fritsch, W. 1962, Von der »Anchi« zur Katazone im kristallinen Grundgebirge Ostkärntens. *Geologische Rundschau*, Bd. 52, 202—210, Stuttgart.

Grauert, B. & Arnold, A. 1968, Deutung diskordanter Zirkonalter der Sivrettadecke und des Gotthardmassivs (Schweizer Alpen). *Contr. Mineral. and Petrol.* 20, 34—56.

Hamilton, E. I. & Farquhar, R. M. 1968, *Radiometric Dating for Geologists*. Interscience Publishers, London.

Hinterlechner-Ravnik, A. 1973, Pohorske metamorfne kamenine II. *Geologija*, 16. knjiga, 245—270, Ljubljana.

Jacobs, J. A., Russel, R. D. & Tuzo Wilson, J. 1974, *Physics and Geology*. Second Edition. McGraw-Hill Book Company, New York.

Jäger, E., Karl, F. & Schmidegg, O. 1969, Rubidium-Strontium-Altersbestimmungen (Typus Augen- und Flasergneise) aus dem nördlichen Großvenedigerbereich (Hohe Tauern). *Tschermaks Miner. u. Petrog. Mitt.* 13, 251—272.

Jäger, E. 1971, Die Geschichte des alpinen Raumes, erarbeitet mit radiometrischen Altersbestimmungen. *Verh. Geol. B.-A.*, Heft 2, 250—254, Wien.

Kleinschmidt, G., Sassi, F. P. & Zanferrari, A. 1976, A new interpretation of the metamorphic history in the Saualpe basement (Eastern Alps). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, H. 11, 653—670, Stuttgart.

Kräutner, H. G., Sassi, F. P., Zirpoli, G. & Zulian, T. 1975, The pressure characters of the pre-Alpine metamorphisms in the East Carpathians (Romania). *N. Jb. Miner. Abh.*, 125, 3, 278—296, Stuttgart.

Mioč, P. 1977, Geološka zgradba Dravske doline med Dravogradom in Selnico. *Geologija*, 20. knjiga, 193—230, Ljubljana.

Morauf, W. 1980, Die permische Differentiation und die alpidische Metamorphose des Granitgneises von Wolfsberg, Koralpe, SE-Ostalpen, mit Rb-Sr- und K-Ar-Isotopenbestimmungen. *Tschermaks Miner. Petrog. Mitt.* 27, 169—185.

Morauf, W. 1981, Rb-Sr- und K-Ar-Isotopen-Alter an Pegmatiten aus Kor- und Saualpen, SE-Ostalpen, Österreich. *Tschermaks Min. Petrog. Mitt.* 28, 113—129.

Satir, M. 1976, Rb-Sr- und K-Ar-Altersbestimmungen an Gesteinen und Mineralien des südlichen Ötztalkristallins und der westlichen Hohen Tauern. *Geol. Rundschau*, 65, 2, 394—410, Stuttgart.

Scharbert, S. 1981, Untersuchungen zum Alter des Seckauer Kristallins. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, 27, 173—188, Wien.

Trenner, G. B. 1912, Die sechsfache Eruptionsfolge des Adamello. Das Posträtische Alter der Tonalitzwillingsmasse. Verhandl. Geol. R.-A., N. 3, 98—112.

Wüthrich, H. 1965, Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., Band 45, Heft 2, 875—971.

York, D. & Farquhar, R. M. 1973, The earth age and geochronology. Pergamon Press, Oxford.