

VÁLASZ PÁLFY JÓZSEF AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA BÍRÁLATÁRA

Mindenek előtt köszönetet szeretnék mondani Pálffy József Bírálónak, a terjedelmes dolgozatom részletes és gondos áttanulmányozásáért, és értékes a kutatómunkám szempontjából hasznos megjegyzéseiért és megfontolandó javaslataiért. Remélhetőleg a közeljövőben lesz még rá lehetőségem és elegendő energiám, hogy a fontos tanácsokat, észrevételeket elemezvén, a kutatómunkámban figyelembe tudjam venni a módszer fejlődését elősegítő gondolatokat.

Az érdemi válaszaim leírása előtt, már itt a bevezetőmben, a laboratóriumunk és saját nevemben is szeretném megköszönni a Tisztelt Bírálóm által a tudományos eredményeinkkel kapcsolatosan megfogalmazott elismerő szavakat.

Ugyanakkor elnézést kell kérnem a szerkesztési hibák, bosszantó elütések és esetenként előforduló felületes megfogalmazások által okozott problémákért, amelyek megnehezítették a dolgozat olvasását.

A disszertációmra és a tézispontjaimra vonatkozó észrevételekre, valamint a kérdésekre adott válaszaim a következők;

I. ÁLTALÁNOS ÉSZREVÉTELEK, MEGJEGYZÉSEK

1.1. A „TERJEDELMI KORLÁT” ÁLTAL OKOZOTT NEHÉZSÉGEK

Az MTA Földtudományok Osztályának Doktori Követelményrendszere által megállapított 150 oldalas terjedelmi korlát szinte megoldhatatlan feladat elé állítja annak a doktori műnek a szerzőjét, akinek a munkássága és tudományos eredményei elsősorban az elvégzett analitikai vizsgálatok és az azokkal kapcsolatos ábrák és táblázatokba foglalt mérési adatok alapján ítéltető meg.

Esetemben ez 75 táblázatot jelent, kiegészítve a mellékelt ábrákkal és térképekkel. Ezek után a több száz mérési adat kiértékelésére és az egyes területre vonatkozó magyarázatra csak néhány oldal áll rendelkezésre.

Szeretném ismételtlen hangsúlyozni, hogy a dolgozatom fő célkitűzése az általam végzett geokronológiai kutatásokkal kapcsolatos mérési adatok ismertetése, azok logikus rendszerezése és a K-Ar koradatok értelmezése. Ebből adódóan a „korlátoltság állapotának” nyomasztó tudata, a dolgozat szerkesztésében aránytalanságokat idéz elő, ami az egyes fejezetek tartalmi részének a rovására megy. Továbbá több esetben felborítja az előzetesen

elfogadott logikai sorrendet, aminek gyakori következménye a több vonatkozásban észrevehető következetlenség.

1.2. ÖSSZEFOGLALÓ FEJEZET/FEJEZETEK HIÁNYA

Elfogadom a Bírálóm ezzel a kérdéssel kapcsolatos észrevételét, azzal a megjegyzéssel, hogy az eredeti szándékom szerint a fő fejezettel /a Kárpát-Pannon térség (KPT) geokronológiája/ kapcsolatosan szükségesnek tartottam az egész területre vonatkozó összefoglalás megírását, mivel ide helyezhető a tudományos tevékenységem súlypontja (*lásd Pécskay et al., 1995, és Pécskay et al., 2006*). Bizonyára egy részletesebb „kivonata” az említett összefoglaló cikkeknek hasznosabb lett volna, de ez már a szubjektív megítélés kérdése.

A terjedelmi megszorítások által okozott bonyodalmakra hivatkozván, meg kell említenem, hogy a dolgozatom vázlatán utólag módosítottam, ami eleve megbontotta a témakör ismertetésének rendszerét. Nevezetesen a megoldhatatlannak tűnő szerkesztési nehézségek miatt, kihagytam a dolgozatomból a volt Jugoszlávia (Dinaridák) területének tercier magmás tevékenységéről (Fruska Gora, Rogozna, Cer, Bukulja, alkáli bazaltok stb.) összeállított fejezetet. Ennek a fejezetnek a hiánya – tartalmi szempontból – jogosan „visszaköszön” a Bírálóm megjegyzéseiben is. Ezért tartottam indokoltnak kiemelni a dolgozat szerkesztésében bekövetkezett változtatást.

Ezek után tehát csak a 4. és 5. fejezet maradt, amelyek rövidített formában kerültek be a dolgozatba, vázlatos képet adván kutatási területeim eloszlásáról, és egyben a K-Ar módszer széleskörű alkalmazásáról.

A szokatlan formában összeállított 5.1. Táblázat – amely áttekintést ad a több mint egy évtizeden keresztül Bulgáriában folytatott geokronológiai kutatásaim területeiről és legfontosabb eredményeiről – egyfajta összefoglalásnak szántam. Ezért is mellékeltem hozzá egy külön összeállított publikációs listát, amely magában foglalja 5.1. Táblázatban szereplő kronológiai eredmények részletes tárgyalását. Úgy gondolom, hogy a kicsit részletesebben megfogalmazott téziseimben a legfontosabb következtetések szintén megtalálhatók.

II. A K-Ar MÓDSZER ALKALMAZÁSÁVAL KAPCSOLATOS ÉSZREVÉTELEK ÉS MEGJEGYZÉSEK

2.1. A BOMLÁSI ÁLLANDÓK PONTOSABB MEGHATÁROZÁSA

Az értekezésemben a K-Ar kormeghatározási módszer elméleti- és kísérleti háttéréről összeállított rövid fejezet az ún. „kötelező bemutatás” kategóriájába sorolható. Ez azt jelenti, hogy tartalmilag csak az alapismeretek közlésére szorítkozik, amelyek a K-Ar módszer alkalmazásával végzett kormeghatározások eredményeinek megértéséhez nélkülözhetetlenek.

Tökéletesen egyetértek Tisztelt Bírálóm megjegyzésével, hogy a bomlási állandók precíz ismerete sarkalatos kérdés a radiometrikus korok bizonytalanságának vizsgálatában. Ennek is tulajdonítható, hogy több kitűnő műszeres háttérrel rendelkező kutatócsoport dolgozik folyamatosan a geokronológiában használt bomlási állandók pontosabb meghatározásán (*Naumenko, M.O. et al., 2013*).

Ez egy olyan folyamat, amelynek a végén szükségszerűen be fog következni, hogy a számos új mérési adat kiértékelése után, az IUGS Geokronológiai Albizottsága dönt az újabb, általánosan elfogadott, és ezáltal kötelezően használható bomlási állandók értékéről. Hasonló esemény játszódott le 1976-ban is, amikor a munkabizottság döntésével sikerült megszüntetni a különböző bomlási állandók használatából származó, a radiometrikus korokban jelentkező, esetenként 5%-ot is meghaladó eltéréseket.

Tekintettel arra, hogy a K-Ar korokkal együtt szereplő analitikai hibában nem szerepel ez a bizonytalansági tényező, ezért véleményem szerint átmeneti megoldást jelenthetne, amennyiben az analitikai hiba számításánál egységesen figyelembe vennénk ezt a tényezőt is. Bár meg kell jegyeznem, hogy ebből a hibaforrásból származó korokkal kapcsolatos bizonytalanság mértéke elhanyagolható a számos földtani hiba által okozott eltéréshez viszonyítva, amelyeknek egy része ráadásul „rejtve” marad.

Még ezzel a kérdéssel kapcsolatosan szeretném megemlíteni, hogy Balogh Kadosa munkatársam 1984-ben kandidátusi értekezésében, a témájából adódóan részletesen ismertette a K-Ar módszer elméleti- és kísérleti háttérét. Ezen belül természetesen foglalkozott a bomlási állandók és a módszerrel kapcsolatos izotóparányok problémájával is.

2.2. ANALITIKAI- ÉS FÖLDTANI HIBÁK SZEREPE A KORMEGHATÁROZÁSBAN

Az analitikai hiba kiszámítása lényegében egyszerű matematikai művelet, az adott értékek behelyettesítéséről van szó, az általánosan elfogadott hibaszámítási egyenletbe. Ami esetleg kétségeket vethet fel az alkalmazott analitikai módszert kiválóan ismerő kutatóban, az a hibaszámításnál figyelembe vett értékek korrekt becslésével kapcsolatos (pl. „alul becsült értékek” létezése, véletlenszerű analitikai hibák figyelmen kívül hagyása stb.). Szemlélet kérdése a „túl/felülbecsült” analitikai hibák megadása, viszont pozitív következménnyel jár, mivel csökkenti a radiometrikus korok értelmezésénél, az „alul becsült” analitikai hibából származó téves földtani következtetés valószínűségét.

A földtani hiba viszont általában nem számszerűsíthető. Ezzel a problémával kapcsolatosan tulajdonképpen az analitikai korok körültekintő értelmezéséről kell beszélnünk, azaz a rendelkezésre álló földtani, kőzet- ásványtani, geokémiai, rétegtani és geofizikai adatok messzemenő figyelembevételével kell az analitikai- és a valódi földtani kor viszonyát megvizsgálnunk, amely már egyértelműen a „csapat munka” részét képezi.

„Mivel a K-Ar módszer alkalmazásakor nincs belső lehetőség a kapott koradat minőségellenőrzésére, ezért ezeknek a hibáknak a meglétét vagy éppen kizárását csak mérlegeléssel, sokszor szubjektív módon tehetjük meg. A dolgozat nem hangsúlyozza, hogy éppen ezért szorult egyre inkább háttérbe a modern geokronológiában a konvencionális K-Ar módszer alkalmazása.”

Ezekkel a megállapításokkal csak részben tudok egyetérteni. A K-Ar koradatok „minőségellenőrzésére” számos lehetőség van, amit gyakran alkalmazunk is (pl. azonos kőzetmintából szeparált különböző ásványok mérése, izokron módszer alkalmazása, azonos feltárás jól definiált rétegéből több minta begyűjtése és mérése stb.).

Természetesen a legmegnyugtatóbb ellenőrzési mód, amennyiben erre lehetőség van; ugyanazon mintán különböző módszerek alkalmazásával meghatározott korok földtani jelentésének összevetése.

Miért van szorult helyzetben – kicsit határozottabban fogalmazva – egyáltalán szorult helyzetben van-e a konvencionális K-Ar módszer alkalmazása?

Véleményem szerint egyértelműen „nemmel” kell válaszolnom a feltett kérdésre, sőt meggyőződésem, hogy ez a módszer „legszebb férfikorát” éli, köszönhetően a figyelemre méltó történelmi eredményeinek és számos előnyös tulajdonságának. Sajnos jelenlegi írásom keretei nem teszik lehetővé érveim részletes kifejtését, de szívesen lennék

vitapartner ebben a témakörben. Egyébként határozott szándékom ennek a kérdésnek a részletes feldolgozása, hiszen sokéves tapasztalatom, ismeretem szinte felszólít erre a feladatra. Szeretném megjegyezni, hogy 2014-ben Lengyelországban és Etiópiában tartandó speciális kurzusomnak részét képezi ez a témakör is.

2.3. IDŐSKÁLÁK ALKALMAZÁSA

Egy kronológiai témával foglalkozó tudományos cikk megírásánál mindig a vizsgált területre vonatkozóan, nemzetközileg is elfogadott időskálát kell figyelembe venni. Ennek az elvárásnak azonban nem minden esetben tesznek eleget a szerzők. Különösen tapasztalható ez a probléma sztratigráfiai adatok ismertetésénél, amikor esetenként keverednek a lokális és regionális terminológiai fogalmak, ami sokszor megnehezíti a szöveg megértését.

Értekezésemben kénytelen voltam azt a terminológiát követni, amely megfelel az adott írásban behivatkozott publikációban használt rétegtani besorolásnak (pl. Erdélyi-Szigethegység esetében). További problémát jelent az újabb és pontosabb biosztratigráfiai paleomágneses és radiometrikus adatok alapján módosított időskálák megjelenése. (*W. B. Harland et al., 1990*).

Nem beszélve arról a problémáról, amikor közel azonos időben, két különböző adatra fajsúlyozott (biosztratigráfiai és radiometrikus koradatok) időskála is el van fogadva (*Berggren, W. A. et al., 1985, és Harland W. et al., 1989, D. Vass, K. Balogh 1989, D. Vass et al., 1987*). Ezért is szükségzerű időnként a korábbi kronológiai adatok rétegtani besorolásának revideálása.

Végül szeretném megjegyezni, hogy a 90-es évek elején Tokajban általam megszervezett KPT-vel kapcsolatos első nemzetközi munkaértekezletünknek – amit még további 7 alkalommal sikerült megrendeznünk – a fenti témakör megvitatása és a közös vélemények elfogadása az egyik legfontosabb programpontja volt. Ennek a munkának a hivatalos háttérét az IGCP-356. projekt 7. számú munkacsoportjának megszervezése segítette, amelynek témavezetője voltam.

2.4. MÓDSZERTANI HIVATKOZÁSOK

Elfogadom a Bírálómnak a módszertani fejezetből hiányzó hivatkozások által keltett „hiányérzetét”, mert ezzel valóban egy hasznos információtól fosztottam meg az Olvasót. Ugyanakkor úgy gondolom, hogy egy ilyen mértékben, többszörösen lerövidített fejezetben

lényegét veszítik a hivatkozások, mivel az alapismeretek közlése leginkább egy vagy két jól szerkesztett összefoglaló munkára/könyvre építhető fel. Ennek elmulasztása viszont abszolút figyelmetlenségemnek tulajdonítható, amiért utólag is elnézést kell kérnem.

III. GEOKRONOLÓGIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

3.1. A KÁRPÁT-PANNON TÉRSÉG (KPT) DNY-I RÉSZÉNEK HIÁNYA

Az előző pontokban leírt válaszaimból már részben kiderül, hogy miért maradt ki a dolgozatomból a KPT DNY-i részének bemutatása. A Pohorje miocén magmás tevékenységével kapcsolatosan – amely valóban rendkívül fontos szerepet tölt be KPT geodinamikájában – viszont még kiegészítéssel tartozom.

Több éve együttdolgozom Mirka Trajanovával (Szlovén Geológiai Szolgálat munkatársa), akinek a folyamatban levő PhD dolgozatának jelentős részét képezi a hegység geokronológiája, ezért – mint külső konzulense – nem akartam a K-Ar koradatokat disszertációmiban szerepeltetni. Egyébként a közös eredményeinket már publikáltuk (*Trajanova M., et al., 2008*), illetve több nemzetközi konferencián ismertettük.

3.2. A RIOLITTUFÁK KORA ÉS ELTERJEDÉSE

A KPT földtani hátterének ismertetésénél nem tekinthettem el a riolittufák rövid bemutatásától, mivel azok lényegi szerepet játszanak a KPT neogén-kvarter vulkáni tevékenységének fejlődéstörténetében. A riolittufák/ignimbritek időbeli eloszlásának tárgyalására direkt nem tértem ki, mivel földtani jelentőségük következtében, és a jelenleg is folyamatban lévő kutatások miatt ez a témakör mindenképpen külön munkában, részletes feldolgozást igényel.

Utalni szeretnék rá, hogy a magyar-szlovák határ mentén nyomon követhető riolittufák/ignimbritek tanulmányozását folytatjuk (eddig több mint 100 mintavételi pontot dolgoztunk fel a terepi adatok alapján, a reprezentatív minták analitikai munkára való előkészítése pedig folyamatban van).

Véleményem szerint a Bükkalján is lennének további feladatok, de úgy gondolom, hogy a szisztematikus paleomágneses vizsgálatokkal összhangban végzett K-Ar kormeghatározások, alapadatokat szolgáltatnak a korábban ismeretlen tér-időbeli viszonyok tisztázásához.

Mélységesen sajnálom, hogy csapdába estem egy felületes megjegyzésem következtében. Nevezetesen, javasoltam a negyedik ún. „legfelső riolittufa szint” bevezetését – mint az első háromnak folytatását képező vulkáni tevékenység – annak ellenére, hogy amióta kormeghatározással foglalkozom és földtani jelentéssel bíró koradatok birtokába kerültem, mindig igyekeztem bizonyítani, hogy nincs értelme riolittufa szintekről beszélni, amelyek a földtani adatok alapján rövid időtartamú, regionális elterjedéssel bíró tufaszórásoknak a termékei. Ellenben feltételezhetünk különböző kitörési centrumból származó (lehetséges sorozatos kaldera beszakadáshoz/összeomláshoz köthető vulkáni katasztrófa), különböző ásványos- és kémiai összetételű, nagy volumenű, általában nagy energiájú explozív riolittufa szórást, amely a geotektonikai rezsim változásával, mintegy 10 millió éven keresztül, rövidebb-hosszabb vulkáni csenddel megszakítva a KPT különböző területein teríti vulkáni eredetű anyagát, illetve halmozódik fel különböző vastagságban a felszín adott morfológiai viszonyainak megfelelően. A sorozatos riolittufa kitöréseken belül előfordulnak különböző mértékben összesült ignimbritek sőt riolitos lávák is (riolit lávafolyások, riolit dómok pl. Tokaji-hegység, Avas stb.). Erről beszéltem már 1985-ben az egyetemi doktori védésemkor, ehhez a „modellhez” próbáltam precíz mérési adatokat meghatározni az 1980-as évek végén tervezett (de nem valósult meg) heidelbergi ösztöndíjam kapcsán, majd erre a következtetésre jutottunk a többéves bükkaljai vizsgálataink eredményeként is (*Póka et al., 2004, Márton, E., Pécskay, Z., 1998, Szakács A. et al., 1998*). Ebbe a modellbe úgy férhet bele a „legfelső riolittufa szint” létezése, mint egy hosszantartó folyamatnak a befejező fázisa. Kétségtelen, hogy ennek a kérdésnek a megnyugtató, korrekt megválaszolásához (különösképpen a vulkáni szünetek gyakoriságának és időtartamának meghatározásához) nélkülözhetetlen a ^{40}Ar - ^{39}Ar lépcsőzetes kigázosítással – lehetőleg szanidinen végzett – és cirkonon végzett U-Pb kormeghatározások (*B.S. Ellis et al., 2013*).

3.3. ANDEZITEK KORMEGHATÁROZÁSA „TELJES KÖZET” MINTÁN

A KPT-ben feltárt miocén mészkáliai kőzetek fő tömegét a piroxénandezitek alkotják. Kisebbséggel és területtől függően előfordulnak amfibol és/vagy biotitos andezitek és dácitok is. A piroxénandezitek ásványos összetétele miatt csak alacsony káliumtartalmú frakciók állíthatók elő a kőzetből.

A kísérleti tapasztalatok azt igazolják, hogy az elváltozást nem szenvedett, afanitos szövetű piroxénandezitek kitűnően alkalmazhatók teljes kőzetként kormeghatározásra. Hasonló megállapítás igaz az amfibolandezitekre is, különösen akkor, ha az amfibol káliumtartalma

1% körül van. A dácitok általában könnyebben átalakulnak, mint a tömött, finomszemcsés andezitek. Ezért lehetőség szerint célszerű ásványfrakción is mérni.

A vékonycsiszolati leírások rámutatnak, illetve elősegítik a mérésre kiválasztott minták megfelelő előkészítését. A szükséges szeparálás szempontjából lényeges a kőzet alapanyagának és kristályos összetételének ismerete. Tekintettel arra, hogy az ásványszeparálás rendkívül időigényes munka, valamint alapos ásványtani ismeretet követel, ezért üde, kompakt, zárványmentes andezitek és dácitok esetében leggyakrabban teljes kőzeten mérünk korokat.

A Karancs lakkolitjának magyar oldalon található feltárásából származó kőzetmintákon Balogh Kadosa (1985) részletes kronológiai vizsgálatot végzett. A mérési adatok jelentősen eltértek egymástól a kőzet bontottsága és a gyakori xenolitok és/vagy xenokristályok jelenléte miatt. Az analitikai korok értelmezésénél a földtani hibák figyelembe vétele alapján Balogh Kadosa a földtani korra vonatkozóan legjobb közelítésnek a 16,0 millió évet jelölte meg.

A magyar-szlovák határmentén végzett terepi munkám során, lehetőségem adódott a lakkolit másik részéből is kőzetmintát begyűjteni (Sátoros), majd kormeghatározást végezni. Ezzel az újabb, független méréssel kívántam a korábbi koradatnak a megbízhatóságát ellenőrizni. Az általam meghatározott K-Ar kor összhangban van Balogh Kadosa által javasolt földtani korrall.

3.4. A KÖRMÖCI-HEGYSÉG RIOLITJAINAK MÉRÉSE

A Körmöci-hegységben végzett kutatásunk látszólag egy lokális földtani probléma megoldására irányul. Ezzel szemben egy adott témakörnek olyan szintű feldolgozásáról van szó, amely eddigi pályafutásom során még nem adatott meg számomra. Nevezetesen a vizsgált területen kitűnő feltárásokból szisztematikusan begyűjtött friss- és hidrotermásan átalakult riolitos kőzetmintákon végezhettem szimultán méréseket. A K-Ar kormeghatározási módszer alkalmazása szempontjából, azt kell megjegyeznem, hogy ennek a komplex kutatásnak tárgyát képező riolitok, ásvány-kőzettani és geokémiai karakterisztikus jegyei alapján ideális „célpontnak” tekinthetők (magas K-tartalom, változatos összetétel, kormeghatározásra alkalmas másodlagos ásványok stb.). A szokatlanul részletes vizsgálatok olyan adatbázis létrejöttét eredményezték, ami nemcsak a lokális földtani probléma megoldását (a neogén mészkalkáli riolitos vulkáni tevékenység és a jelentős ércesedés tér-időbeli korrelációja) teszi lehetővé, hanem messzemenően túlmutat

azon, hozzájárulván a riolitos kőzetek KPT-en belüli elterjedésének és keletkezési körülményeinek mélyebb megértéséhez (különös tekintettel Tokaji-Szalánci-hegységben és az Avasban feltárt nagytömegű riolittal összehasonlítva).

Végül, de nem utolsó sorban ez a munka módszertani szempontból olyan eredményeket szolgáltat, amelyek nagymértékben elősegítik a riolitokon meghatározott K-Ar koradatok helyes értelmezését (*J. Lexa & Z. Pécskay 2010*).

Tökéletesen egyetértek a Bírálóm azon megállapításával, hogy a 3.4. Táblázat adatait különböző szempontok szerint rendezve, világosan kitűnik, hogy „mennyire nehéz a K-Ar korok földtani hibáját, azaz megbízhatóságát előre vetítő tényezőt találni”. Egyébként ez egy kulcsfontosságú kérdése minden kormeghatározási módszernek. Tekintettel arra, hogy minden mérésre kiválasztott kőzetminta „önálló életet él”, ezért lehetetlen olyan egzakt tényezőt találni, amelynek a figyelembevételével, nagy biztonsággal előre eldönthető lenne a várható analitikai adat megbízhatósága. Például vékonycsiszolati leírás alapján, petrográfiai szempontból alkalmatlannak minősített kőzetmintán esetenként analitikai szempontból könnyen, és földtani jelentéssel bíró K-Ar kort lehet meghatározni. Ez a tapasztalati tény megfordítva is igaz!

Az analitikai hiba számításánál egy olyan tényező szerepel ($^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} \%$), amely nagy valószínűséggel kapcsolatba hozható egy adott mintára vonatkozó földtani hibával. A túlságosan magas atmoszférikus eredetű argon koncentráció arra utalhat, hogy a vizsgált minta nem tekinthető ideális „zárt rendszernek”, amit valamilyen utóhatás idézett elő. A fenti okok miatt, önkényesen választottuk „marker értéknek” a radiogén argon bedúsulását a mért K-Ar koradatok megbízhatóságának osztályozásánál, ami az analitikai adatok rendszerezésénél elősegíti a legfontosabb következtetések megállapítását.

A Bartosról származó kőzetmintákból (LKR-15. és 16.) elválasztott amfibolok korát azért minősítettük bizonytalannak, - és jelen esetben nem a $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} \%$, értékére alapozván a döntésünket – mert a kőzetből elválasztott biotit és amfibol káliumtartalma mutatja, hogy a szeparálás során nem sikerült monomineralikus ásványfrakciót előállítani. Következésképpen „kevert korok” feltételezhetők, de ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy az amfibolok kissé idősebb kora a magasabb záródási hőmérsékletével is magyarázható.

A 3.2. ábrái között csupán annyi különbség van, hogy az alsó ábrán figyelembe vettem a Moszkvai Geokronológiai Laboratórium (IGEM) által mért Rb-Sr és K-Ar koradatokat is (*Chernyshev et al., in press*)

A különböző módszerek alkalmazásával meghatározott radiometrikus koradatok eloszlása nagyon jó egyezést mutat, igazolván a Kőrmöci-hegység és a Selmeci-hegység azonos formációba sorolt kőzeteinek fejlődéstörténetében megmutatkozó hasonlóságokat. Ezért vettem figyelembe mindkét ábrát a dolgozatomban.

3.5. TOROJÁGA KORADATAINAK ÉRTELMEZÉSE

A Torojágában mért biotit és teljes kőzet korok általában hibahatáron belül egyeznek egymással. Ebből arra következtethetünk, hogy a koreloszlásnak megfelelően ezek a korok földtani eseményhez köthetők; D-ről É-felé haladva fiatalodási tendencia tapasztalható. A teljes kőzet koroknál fiatalabb biotit korok előfordulása (To-4.) felveti azt a kérdést, hogy ezek átalakult biotitok, vagy másodlagos biotitok, amelyek már a hidrotermás tevékenység korát rögzítik. Ennek a problémának a megoldása még további vizsgálatokat igényel, ami jelenleg is folyamatban van. Az új eredmények birtokában külön fogjuk publikálni a Torojága fejlődéstörténetét és speciális szerepét az intruzív magmatizmuson belül.

3.6. PIENINY-HEGYSÉG „KÉT FÁZISÚ” MAGMATIZMUSA

A Pieniny-hegységben a két magmás fázis léte egyértelműen igazolható;

- Wzar térségében felhagyott kőbányában, tökéletes feltárásban látható a két különböző vulkáni fázishoz tartozó intruzív test kontaktusa
- A koreloszlás és a legmegbízhatóbb korok figyelembevételével szintén igazolódik a két magmás fázis létezése.
- Kulcsfontosságú a Jarmutánál bezárt ércbányából vett kőzetből szeparált másodlagos biotit kora, amely a 1. fázist szubszekvensen követő hidrotermás esemény korát rögzíti. Tekintettel arra, hogy a 2. fázis után nem volt a területen hidrotermás tevékenység, ezért a 11,4 millió év rögzíti, a két fázis közötti átmenet (vulkáni csend) korát.

Az valóban még nyitott kérdés, hogy meddig szünetelt a magmás tevékenység a két fázis között. Ennek pontos meghatározására kitűnő lehetőséget kínál a Wzar térségére vonatkozóan leírt földtani háttér.

Verespatak térsége az Erdélyi-Szigethegység földtani szempontból talán legmegkutatottabb területe. Ennek részeként részletes geokronológiai munkát végeztek különböző laboratóriumokban, eltérő kormeghatározási módszereket alkalmazva. A legfontosabb eredmények szintézisét szemlélteti a mellékelt Fig. 2. (Kouzmanov et al., 2007).

Az általam végzett K-Ar kormeghatározások már a 1990-es évek végén igazolták a két lényeges magmás fázis eltérő korát (13,6 millió év és 9,3 millió év, Rosu et al., 1997).

Kouzmanov et al., (2005); Montana dácit U-Pb cirkon kora; $13,61 \pm 0,07$ millió év

Corna-völgyből, andezit U-Pb cirkon kora; $13,15 \pm 0,04$ millió év

Wallier et al., (2006); Cetate, dácit breccsa ^{40}Ar - ^{39}Ar adulár

lépcsőzetes kigázosítás Plató kor; $12,85 \pm 0,07$ millió év

Manske et al., (2006); Carnic-hegy, kvarc-adulár-pirit erekből aduláron

^{40}Ar - ^{39}Ar 13,17 $\pm$ 0,08 millió év és 13,24 $\pm$ 0,10 millió év

A fiatalabb porfiros Cu-Au érctelep kialakulása ~ 9,3 millió év (Rosia Poieni), amely a vulkanizmust követő hidrotermás rendszer létrejöttének köszönhető. U-Pb cirkon korok 9,42-9,16 millió év között szórtak, amelyek a magmás működés korával kapcsolatos. A Rotunda andezitjén K-Ar kor; $9,3 \pm 0,5$ millió év (Rosu et al. 1997).

A Nagygag melletti Zuckerhut mintáján mért ^{40}Ar - ^{39}Ar kormeghatározás analitikai adatai sajnos nem állnak rendelkezésemre, bár részt vettem a téma feldolgozásában (Alderton et al. 2010, az Abstract másolata mellékelve).

- A bulgáriai Kozhuh szubvulkáni trachidácitjának a kora mindig vitatott kérdés volt Bulgária földtanában. A radiometrikus koradat hiányában általában a „rodopei analógiák” miatt eocén-oligocén korú képződménynek tartották.

A részletes terepi munkánk és az ezt követő kormeghatározások véglegesen eldöntötték a kor-problémát. Sajnos az adataink kb. 10 évig nem voltak publikálva, csak 2011-ben jelent meg a témával kapcsolatos cikkünk (Pécskay et al., 2011). Ez azért sajnálatos, mert véleményem szerint ebben az esetben a K-Ar módszer alkalmazása („megerősítve” a ^{40}Ar - ^{39}Ar szanidin korral) egyértelműen megoldotta a kronológiai problémát, amíg az U-Pb cirkon kor nem ad precíz választ, sőt további kérdéseket vet fel (Georgiev et al., 2010).

3.8. MÓDSZERTANI TAPASZTALATOK ÖSSZEFOGLALÁSÁNAK HIÁNYA

Szintén elfogadom az észrevételeket, a javaslatokat pedig köszönöm. Úgy gondolom én is, hogy itt az ideje összeállítani egy olyan munkát, amely rendszerezi témára szabottan azokat a tapasztalataimat, amelyeknek ismerete mind kísérleti és mind elméleti szempontból hasznos lehet a kormeghatározás iránt érdeklődő kutatók számára.

IV. FORMAI ÉSZREVÉTELEK

4.1. ELÜTÉSI HIBÁK, KÖVETKEZETLEN SZÓHASZNÁLAT, NYELVEZET STB.

A bírálóban jogosan kifogásolt kellemetlen hibákra illetve hiányosságokra igyekeztem már a válaszaim bevezető részében reagálni. Utólag is elnézést kérek az ezek által okozott kellemetlen percekért.

4.2. Az 5.1. Táblázat valóban az analitikai adatokkal együtt kiegészítve lett volna teljes értékű (az összefoglaló táblázat el is készült) a terjedelmi okok miatt ezt a megoldást viszont már nem mertem vállalni.

4.3. Az Irodalomjegyzék hiányosságát a Módszertani fejezetre vonatkozóan utólag szeretném kiegészíteni a véleményem szerint fontosnak és hasznosnak ítélt összefoglaló munkák listájával.

V. TÉZISPONTOK ELFOGADÁSA

Köszönetemet fejezem ki, hogy a Bírálóm a téziszfüzetem tartalmi és formai részével kapcsolatosan elismerően nyilatkozott, elfogadván új tudományos eredménynek valamennyi tézisémet.

Végezetül Tisztelt Bírálómnak szeretném megköszönni, hogy az értekezésem érdemeit, tudományos eredményeimet és a fentiekben elemzett hiányosságokat és a nyilvánvaló hibákat mérlegelve, a Bírálóm doktori disszertációm nyilvános vitára bocsátását javasolta, és az MTA doktora cím odaítélésével kapcsolatosan meghatározott követelményeknek megfelelőnek minősítette.

Debrecen, 2013. október 1.

Pécskay Zoltán

A dolgozatban nem szereplő hivatkozások

D. Alderton, Z. Pécskay and L. Snee: The timing of volcanism and associated precious metal mineralization in the Apuseni Mountains, Romania (Abstract CBGA 2010)

Balogh K.: A K/Ar földtani kormeghatározási módszer hazai bevezetése és alkalmazásának eredményei. (in Hung.) Kandidátusi értekezés. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete. **0** (1984) 104-X

W. A. Berggren, D. V. Kent, J. J. Flynn, & J. A. Van Couvering, 1985: Cenozoic geochronology. Geological Society of America Bulletin 96, 1407-1418.

W. Brian Harland, Richard L. Armstrong, Allan V. Cox, Lorraine E. Craig, Alan G. Smith, David G. Smith: A geologic time scale 1989, Cambridge University Press

B. S. Ellis, J. A. Wolff, S. Boroughs, D. F. Mark, W. A. Starkel, B. Bonnichsen 2013: Rhyolitic volcanism of the central Snake River Plain: a review. Bull Volcanol 75: 745

M. O. Naumenko, K. Mezger, T. F. Nägler, I. M. Villa: High precision determination of the terrestrial ^{40}K abundance, Geochimica et Cosmochimica Acta 2013

F. Neubauer, A. Lips, K. Kouzmanov, J. Lexa, P. Ivășcanu: Subduction, slab detachment and mineralization: The Neogene in the Apuseni Mountains and Carpathians, Ore Geology Reviews 27 (2005) 13–44.

D. Vass, K. Balogh (1989): The period of Main and Late Alpine Molasses in the Carpathians, Z. Geol. Wiss., Berlin 17, 849-858.

Vass, D., Repčok, I., Balogh, K., Halmai, J. (1987): Revised radiometric time-scale for the Central Paratethyan Neogene. Proc 8th RCMNS Congr., Annals Hung Geol Inst. 70, 423-434.

Kiegészítés

A Módszertani fejezethez javasolt szakirodalom listája

G. Brent Dalrymple and Marvin A. Lanphere (1969): Potassium – Argon Dating, Principles, Techniques and Applications to Geochronology, W. H. Freeman and Company, San Francisco

S. Kelley: Excess argon in K-Ar and Ar-Ar geochronology, Chemical Geology 188 (2002) 1-22

Ian McDougall and T. Mark Harrison (1988): Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Method, Oxford University Press, New York, Clarendon Press, Oxford

Peter W. Reiners and Todd A. Ehlers (2005): Low-Temperature Thermochronology: Techniques, Interpretations, and Applications, Reviews in Mineralogy and Geochemistry 58

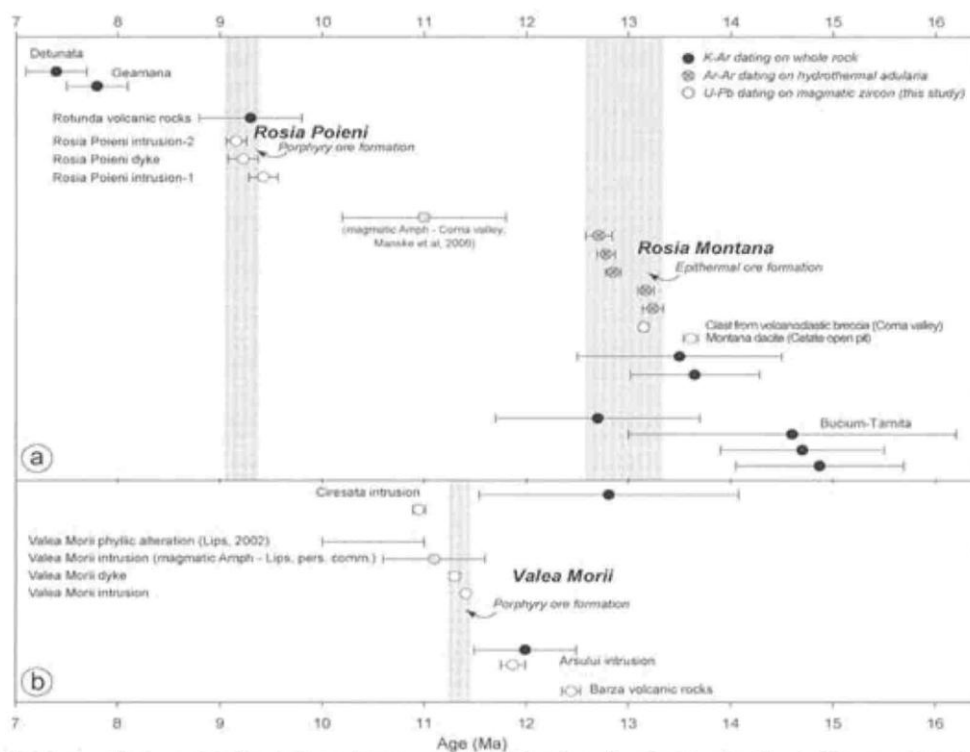


Figure 2. Summary diagram for the timing of magmatism and mineralization in the Rosia Montana-Bucium volcano-intrusive structure (a) and the Barza magmatic complex (b), including the U-Pb dating on magmatic zircons from this study, as well as published K-Ar dating on whole rock samples (Rosu *et al.* 2004) and Ar-Ar dating on hydrothermal minerals (Lips 2002; Manske *et al.* 2006; Wallier *et al.* 2006).

The timing of volcanism and associated precious metal mineralization in the Apuseni Mountains, Romania

Alderton D.¹, Pécskay Z.² and Snee L.¹

¹Department of Earth Sciences, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey TW20 0EX, UK, d.alderon@rhul.ac.uk

²Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, PO Box 51, Bem ter 18/c, H-4001, Debrecen, Hungary, Pecskey@namafia.atomki.hu

³Formerly U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, USA.

The Apuseni Mountains of Romania contain a large number of precious metal deposits, many of which are epithermal in character and closely associated with calc-alkaline, Miocene volcanism. These magmatic rocks which host the mineralization have recently been subjected to several detailed geochemical and isotopic studies and our understanding of their genesis and evolution is now fairly well-developed. However, in spite of the detailed mineralogical studies which have over the years been carried out on the mineral deposits, there are still many aspects about their formation which are poorly understood. The timing of the mineralization in particular is not well defined, and so a geochronological study using K-Ar and Ar-Ar methodology and focussing mainly on the mineralization at the classic Sacaramb deposit, was initiated.

In order to check the published K-Ar ages of fresh, host magmatic rocks, two Ar-Ar ages for amphibole were obtained (from Zuckerhut, Sacaramb, and Rovina Remetea, near Brad). The ages of these rocks (Ar-Ar 11.2 and 15.2, compared to published K-Ar ages of 10.9 and 15.2 Ma respectively) appear to conform the validity of the K-Ar technique for these magmatic rocks.

There is a general lack of minerals in the mineralized veins which are suitable for age dating. However, hydrothermal alteration selvages to the mineralized veins contain K-mica (sericite) and K-feldspar and these have been analysed and used as a proxy for the metallic mineralization.

K-Ar ages of sericite from veins in the Sacaramb area are in the range 9.9-10.8 Ma, whilst the ages of host rocks in the near vicinity are in the range 10.9 and 11.2 Ma. Hydrothermal K-feldspar from Hondol gives similar ages of 10.6 Ma (K-Ar) and 9.8 Ma (Ar-Ar), compared to the K-Ar age of the host rock of 10.8 Ma. A K-Ar age of sericite from Magura of 11.1 Ma is slightly younger than a K-Ar age of the host rock of 11.5 Ma. Ar-Ar analyses of sericitic mica tend to give apparent ages which are 1-3 Ma older than the K-Ar ages but it is at present unclear whether these are real or a result of the analytical method (argon recoil in fine-grained mica samples). These results also suggest that earlier attempts at dating the alteration using Rb-Sr isochrons are probably inaccurate.

The mineralization in this region occurred at a roughly similar time to that proposed by previous studies in the Baia Mare region of northern Romania. The ages of the Apuseni mineralization appear to be slightly younger than the ages of the host volcanic rocks, although this difference is usually within the analytical uncertainty of the analyses (typically <1 Ma), and there is no confirmation of perceived gap in time between mineralization and volcanism seen at Baia Mare (0.5-1.5+ Ma). Although there is quite a large span in age for the volcanism of the Apuseni Mountains as a whole (7.4-14.9 Ma) these age data indicate that the associated hydrothermal activity (and thus most likely the mineralization also) was directly linked to the immediate, host magmatic rocks, was fairly short-lived, and took place within a limited time interval after the cessation of volcanism.

Radiometric dating of rhyolites by conventional K/Ar method: methodical aspects

J. Lexa¹, Z. Pécskay²

¹Geological Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, geoljlx@savba.sk

²Institute of Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences, Debrecen, Hungary, pecskay@nomafia.atomki.hu

Rhyolite magmatism represents a substantial part of calc-alkaline volcanic rocks in continental margin and/or back-arc setting, including the Carpathian-Pannonian region, and frequently associate with epithermal mine-ralization. Their precise and reliable dating is important for understanding of magmatic evolution as well as related metallogenetic processes. Nowadays the higher precision is reached especially by applying ⁴⁰Ar/³⁹Ar and/or single grain U/Pb dating. However, using a pro-per methodology, even with the conventional K/Ar age determination we can reach highly reliable results with precision of 3 % relative (1σ) for single datings. Improved methodology has been applied to rhyolites of the Jastrabá Fm. and related epithermal mine-ralization in the Kremnické vrchy mountain range in central Slovakia. Methodical aspects covered include:

Field observation: Having in mind that final aim of dating is to date a geological unit or process, geological units and/or processes must be well established, relationship of the sampled locality to the given geological unit and/or process well documented and possible rejuve-nization and/or secondary processes identified.

Petrology: Magmatic, metamorphic and/or other processes affecting the dated rock must be well documented by petrological analysis and its mineral phases assigned to these processes.

Petrography and selection of target phases: Petrography is a necessary step to identify K-bearing phases and their suitability for dating; BSE-images and microprobe analyses of K-bearing phases at this step are of great help; target phases in rhyolites of the Jastrabá Fm. in order of decreasing potassium content are: hydrothermal K-feldspar (adularia, 12,6–13,7% K), magmatic K-feldspar (sanidine, 8,4–10,7% K), subsolidus K-feldspar (7,9–9,6% K), biotite (7,1–8,1% K), spherulitic

groundmass (3,9–7,0 % K), kfs-groundmass (3,6–6,1 % K), glass (3,3–4,6% K), amphibole (0,53–0,72 % K), plagioclase (0,3–1,2 % K). Any replacement by secondary phases and/or deviations from standard composition should be recorded.

Sample preparation/separation: Samples, not affected by weathering, are split, crushed and sieved to fractions 0.63–0.4 mm, 0.4–0.25 mm and 0.25–0.125 mm, 300–500 g each. Further separation of selected phases in heavy liquid and/or Cook electromagnetic separator is based on petrographic analysis and observation of grain/size fractions under binocular microscope. K-feldspar, kfs-rich groundmass and glass fractions are collected as nonmagnetic fraction with density <2.6g.cm⁻³ to eliminate plagioclase, quartz and quartz-rich groundmass. Plagioclase fraction is collected as nonmagnetic fraction with density >2.6g.cm⁻³ to eliminate K/feldspar and kfs-rich groundmass. Spherulitic groundmass fraction is collected as weakly paramagnetic fraction with density <2.6g.cm⁻³ to eliminate quartz-rich parts. Mafic minerals fraction is collected as paramagnetic fraction with density >2.81g.cm⁻³. Amphibole and bio-tite are then separated on inclined paper. Final purification of grain-size fractions >0.125 mm is carried out by handpicking. As a rule, all datable phases are collected.

Potassium content analysis: 0.05g of finely ground sample is digested in acids and finally dissolved in 0.2M HCL. Potassium is determined by flame photometry with a Na buffer and Li internal standard. Based on inter-laboratory standards Asia 1/65, LP-6, HD-B1 and GL-O relative analytical error of potassium determination is 2%.

Argon isotope analysis: Argon is extracted from the samples by RF fusion in Mo crucibles, in previously backed stainless steel vacuum system. Pure ³⁸Ar spike is added from gas pipette system and the evolved gases are cleaned using Ti and SAES get-



ters and liquid nitrogen traps, respectively. The purified Ar is transported directly into the mass spectrometer and Ar isotope ratio is measured in the static mode, using a 15cm radius magnetic sector type mass spectrometer built in Debrecen. Based on calibration of the gas pipette using international standards the relative analytical error of ^{38}Ar spike is 2%. Based on repeated measurements (long-time stability of the instrument) the relative analytical errors of $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ and $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ isotope ratios determination are 1%.

Age calculation: The K/Ar method is based on the radioactive decay of the ^{40}K isotope. Isotopic composition of natural potassium is: ^{39}K : 93.2581%, ^{40}K : 0.01167%, ^{41}K : 6.7302%. 88.8 % of the ^{40}K isotope decays by the emission of beta particles to ^{40}Ca . 11.2 % of the ^{40}K isotope decays by electron capture to ^{40}Ar isotope. The accepted decay constants of the ^{40}K isotope are: $\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10} \text{ year}^{-1}$, $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{ year}^{-1}$ and the total decay constant is: $\lambda = \lambda_\beta + \lambda_e = 5.543 \times 10^{-10} \text{ year}^{-1}$ (Steiger and Jäger, 1977). Concentration of atmospheric ^{40}Ar in rocks is very low (5×10^{-8} to $10^{-6} \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$), therefore the ^{40}Ar formed in the radioactive decay (Ar_{rad}) causes significant change of its isotopic composition. Atmospheric Ar is composed of 3 isotopes: ^{36}Ar : 0.337%, ^{38}Ar : 0.063%, ^{40}Ar : 99.600%, ratio $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295.5$. Concentration of $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ in the rock/mineral = $^{40}\text{Ar}_{\text{total}} - 295.5 \times ^{36}\text{Ar}_{\text{atm}}$. Knowing the ^{40}K and $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ concentrations in the rock or mineral it is possible to calculate their age using the equation:

$$t_{K/Ar} = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda_e} \frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{40}\text{K}} \right)$$

assuming that the rock or mineral has been a closed system for K and $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ concentrations.

Error calculation: Analytical error is given at 68% confidence level (1σ). We use equation of Cox and Dalrymple (1967)

$$\sigma = \left[(\sigma_k)^2 + (\sigma_x)^2 + (\sigma_{^{38}\text{Ar}})^2 \left(\frac{1}{r} \right)^2 + (\sigma_{^{36}\text{Ar}})^2 \left(\frac{1-r}{r} \right)^2 \right]^{1/2}$$

References:

- Cox, A.V. & Dalrymple, G.B. 1967. Statistical analysis of geomagnetic reversal data and the precision of potassium-argon dating. *J. Geophys. Res.* 72, 2603-2614.
Steiger, R.H. & Jäger, E. 1977. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36, 359-362.

σ_k – relative error of K-concentration = 2%

σ_x – relative error of ^{38}Ar spike = 2%

$\sigma_{^{38}\text{Ar}}$ – relative error of isotope ratio = 1%

$\sigma_{^{36}\text{Ar}}$ – relative error of isotope ratio = 1%

r – percentage of $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ in $^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$ in rock.

Reliability of results: Despite perfect sample preparation and analytical work some results are dubious owing to natural reasons and should be eliminated from further consideration. There are several ways to check reliability of results: (1) K-concentration should correspond to the dated phase; (2) percentage of $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ should be high enough; (3) consistent results on different fractions /phases; (4) consistent results on samples of the same unit including statistical testing; (5) testing by the isochrone method – identification of phases with excess $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ (xenocrysts and/or plagioclase and amphibole phenocrysts) and $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ loss (glass).

Interpretation of results: One has to be always aware of statistical aspects, especially confidence interval of single data. Appropriate statistical methods should be used in evaluation of multiple data. With multiple data for geolo-gical units differences in age smaller than error of single data can be recognized – one of the possibilities is graph of normal distribution densities. If results do not fit with geological relationships something must be wrong – either radiometric dating or more probably our geological assumptions.

Results on rocks of the Jastrabá Fm.:

Early rhyodacites (3): 12.64±0.39 – 12.00±0.39 Ma
Rhyolites Nová Baňa (4): 12.31±0.44 – 12.03±0.38 Ma
Adularization N. Baňa (7): 12.12±0.37 – 11.79±0.37 Ma
Rhyolites Kremn. vr. (15): 12.29±0.42 – 11.52±0.36 Ma
Adularization Kremnica (8): 12.09±0.37 – 11.58±0.37 Ma

Acknowledgment:

Research was supported by AAPV grant SK-MAD-01106, VEGA grant 2/0171/08 and grant 1506 of the Ministry of Environment SR.

