



Магмени източници и прецизни датировки на медно-златни находища в Централното Средногорие

И. Пейчева¹, А. фон Квадт², Б. Каменов³, Р. Недялков³, С. Стойков⁴, Ж. Иванов³, К. Кузманов²

¹ Централна лаборатория по минералогия и кристалография, БАН, 1113 София; *ipeytcheva@clmc.bas.bg*

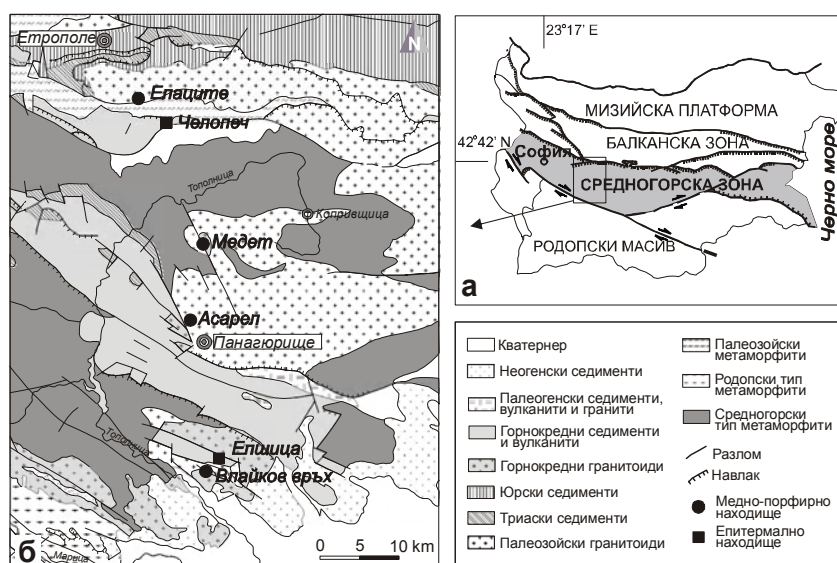
² Институт по изотопна геология и минерални ресурси, ЕТН-Цюрих; *e-mail: quadt@erdw.ethz.ch*

³ Софийски университет „Св. Кл. Охридски“, Геолого-географски факултет, 1000 София; *e-mail: katenov@gea.uni-sofia.bg*

⁴ Минно-геоложки университет, Геолого-проучвателен факултет, 1700 София; *e-mail: sstoykov@mgu.bg*

Изотопните изследвания намират все по-широко приложение в геоложките изследвания през последните години. Два са основните типове информация при тях: определяне на възрастта и характеризиране на източниците на веществото. Медно-златните находища в Средногорската зона в България предоставят добра възможност за установяване на генетичната връзка между магматизма, хидротермалните промени и рудообразуването, както и на продължителността на живот на една магмено-хидротермална система. На тези проблеми бяха посветени и част от изследванията по проект ГЕОДЕ (GEODE - GEodynamic and Ore Deposit

Evolution) на Европейската научна фондация и проектът за българо-швейцарско сътрудничество SCOPES. Натрупаните нови данни дадоха конкретни отговори на важни генетични въпроси за редица находища в Централното Средногорие (Елаците, Челопеч, Медет, Асарел, Елшица и Влайков връх, фиг. 1) и позволиха да се разгледа тяхното положение във връзка с измененията в тектонската обстановка и характера на магматизма напречно (по профил N-S) на Средногорската зона, а в по-регионален план и като част от Апусени-Банат-Тимок-Средногорския магматичен и металогенен пояс (Popov, Popov, 2000; Popov *et al.*, 2003).



Фиг. 1. Положение на Средногорската тектонска зона (а) (по Иванов, под печат), горнокредните магмени и седиментни скали в Централното Средногорие (б) (по Чешитев и др., 1995, с изменения и допълнения на авторите) и изследваните медно-златни находища.

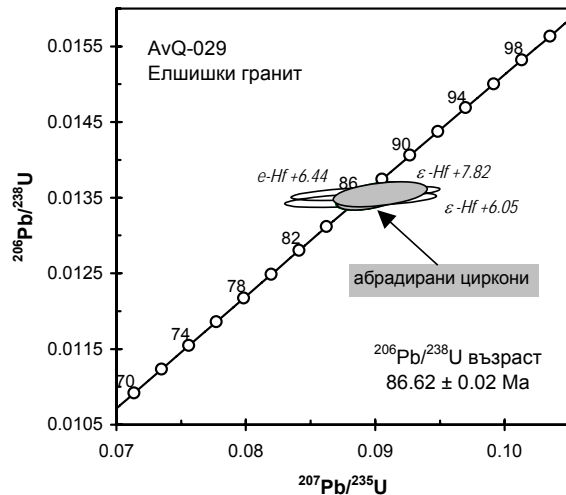
Датиране на рудообразователните процеси в находищата от Централното Средногорие

Датирането на рудообразователните процеси изисква обикновено едновременното прилагане на няколко изотопни метода, за да се определи продължителността на геоложките събития в едно находище в съответната тектонска обстановка, включително магматизма и отлагането на металите. В зависимост от конкретната геоложка обстановка подходите за решаването на тази задача могат да бъдат различни: (1) да се датират директно рудни минерали или хидротермални променителни продукти или (2) да се датират магматични събития, които маркират началото и края на рудообразуването. В някои случаи, при доказан магматичен произход на хидротермалните разтвори може да се използва и продължителността на магмената активност в района на едно находище (3). Изборът на конкретния подход зависи от предварителните теренни изследвания, затова при всички случаи опробването на скалите и минералите от находищата в Централното Средногорие бе извършено съвместно с колеги-геолози от рудниците или след детайлна картировка и/или описание на полевите взаимоотношения.

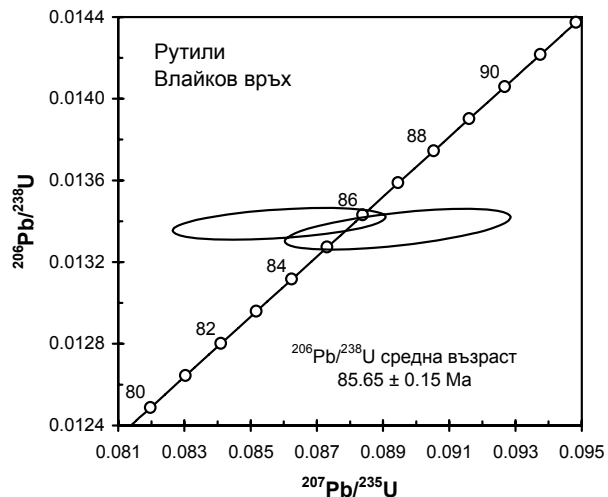
Първият подход е приложен при изследването на отстоящите на около 0.5 km едно от друго медно-порфирно находище Влайков връх и епитермално находище Елшица (Kouzmanov *et al.*, 2003). За датиране са използвани хидротермален рутил (U-Pb метод) и молибденит (Re-Os метод). Данните са сравнени с U-Pb цирконови датировки на магмените скали от района на находищата. Най-старите скали са амфибол-пироксенови андезити (Богданов, 1987). Те са покрити от дацитови лави и туфи и са пресечени от субвулкански дацитови тела и гранодиорит-порфирови дайки. Към така описания комплекс принадлежи и Елшишкия гранит, който се приема обикновено за по-стар от киселите и средно-киселите вулканити, но вероятно по-млад от андезитите. Медно-порфирното находище Влайков връх е вмесено в субвулкански гранодиорити, а епитермалното находище Елшица – в силно хидротермално променени дацити.

Цирконите от Елшишкия гранит определят време на интродуране 86.62 ± 0.02 Ma (фиг. 2). Възрастта на кристализация на субвулканските дацити е 86.11 ± 0.23 Ma Средното $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ отношение на високотемпературни рутили от Влайков връх определя възраст 85.65 ± 0.15 Ma (фиг. 3) и е в съответствие с Re-Os изотопна датировка на молибденит от същия стадий на минерализация 85.2 ± 0.5 Ma. Бъдещите изследвания на нискотемпературни минерали от променителните зони с Ag-Ag изотопен метод ще позволят да се датират и нискотемпературните стадии на минерализация.

При изследването на находищата Елаците и Челопеч е използван втория подход: с помощта на U-Pb метод и ID-TIMS (isotope dilution - thermal ionisation mass spectrometry) техника са датирани прецизно единични циркони от дайки и вулканични тела, ограничаващи



Фиг. 2. U-Pb диаграма с конкордия за циркони от Елшишкия гранит.



Фиг. 3. U-Pb диаграма с конкордия за рутили от медно-порфирно находище Влайков връх.

времево рудообразуването. Определена е възраст 92.1 ± 0.3 Ma за рудоносни, рудовместващи кварц-монцитонитови порфири от находище Елаците (Quadt *et al.*, 2002). Възрастта на секуща рудоносна дайка с по-слаба калиева околорудна промяна е със средна $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ възраст по конкордантни циркони 91.84 ± 0.3 Ma. Цирконовите анализи на секуща дайка, носеща само нискотемпературни орудявания, дават конкордантна $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ възраст 91.42 ± 0.15 Ma. Посочените данни показват, че минерализацията в находище Елаците е ограничена от магмени събития, като продължителността на рудоносния магматизъм е максимално 1.1 Ma, а вероятно и доста по-малка. По двойката биотит-калиев фелдшпат с използването на Rb-Sr изотопен метод, е определена възраст 90.55 ± 0.8 Ma, интерпретирана като времето на затваряне на Rb-Sr изотопна системата при $T \sim 300^\circ\text{C}$ (Quadt *et al.*, 2002).

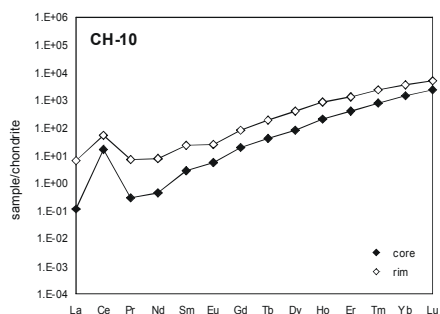
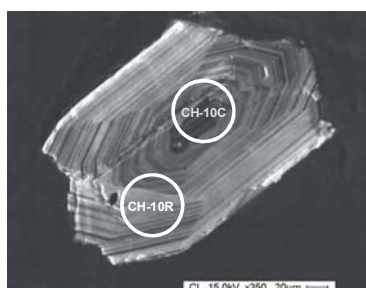
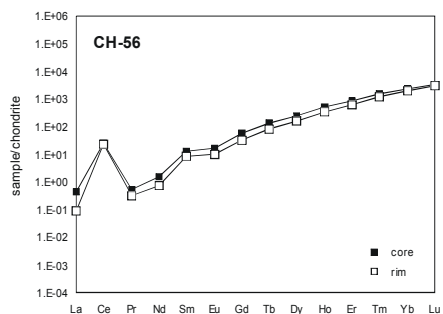
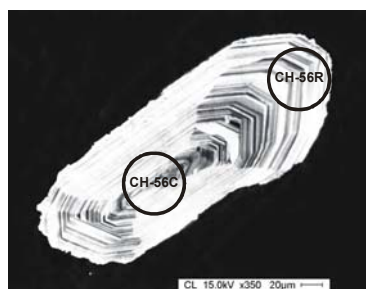
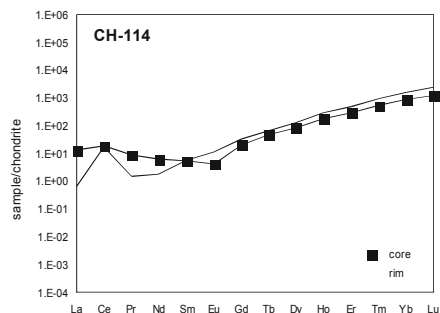
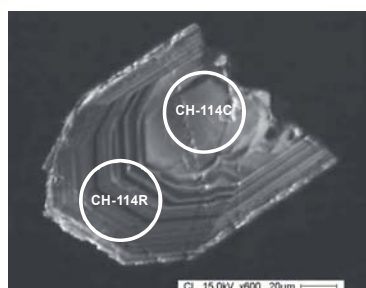
Прецизните U-Pb анализи на единични циркони от магмени скали в района на находище Челопеч показват, че магматичната активност започва в

северната част на Челопешкия район с интродуирането на куполовидни тела с андезитов до трахидацитов състав и възраст 92.3 ± 0.5 Ma (Stoykov *et al.*, 2004). Продуктите на втората (латити до трахидацити) и третата единици от Челопешкия вулкански комплекс (вулкански брекчи и вулканити основно с андезитов състав) са следвали толкова скоро една след друга, че датировките им съвпадат в рамките на аналитичната грешка: U-Pb цирконови анализи на представителни образци определят време на кристализация 91.3 ± 0.3 Ma. Продуктите на втората единица са рудовместващи, следователно рудоносният икономически значим магматизъм е започнал най-рано преди 91.6 Ma (взимайки предвид 2s грешката) (Moritz *et al.*, 2003; Stoykov *et al.*, 2004). Приблизително може да се оцени и края на този магматизъм: вулканските брекчи на третата единица се проследяват/зацепват с Воздолските пясъчници, възрастта на които неотдавна бе определена палеонтологично като туронска (Stoykov, Pavlishina, 2003); от друга страна във вулканските

брекчи още през 1969 г. са описани хидротермално променени и орудени късове (Мутафчиев, Чипчакова, 1969), чийто минерален състав е подобен на този от участъците с медно-златна минерализация в рудник Челопеч (Georgieva *et al.*, 2004). Следователно икономически значимото рудообразуване е завършило през турона, най-вероятно не по-късно от преди 91.0 Ma.

Разпределенията на редкоземните елементи (REE) в циркони от трите единици на Челопешкия вулкански комплекс (LA ICP-MS analyses) се характеризират със силно изразена позитивна Ce-аномалия при цирконите от втората единица (трахидацити) и цирконови ядра от третата единица (андезити), което се свързва с високото окислително състояние на изходната магма в рудоносната втора единица (фиг. 4).

Прецизните U-Pb анализи на единични циркони от магмени скали в района на находищата Медет и Асарел показаха едновременност на магматичната активност в интервала 90.4 ± 0.5 до 89.7 ± 0.3 Ma и потвърдиха идеите за възможна обща магмена камера за двете



Фиг. 4. Катодолуминисцентни снимки на циркони от трите единици на Челопешкия вулкански комплекс със съответното хондрит-нормализирано разпределение на редкоземните елементи. Кръговете върху снимките отговарят на кратерите от аблацията на цирконите при LA ICP-MS анализите.

находища в дълбочина. В находище Медет развитието на магматизма започва с по-базични скали – габродиорити до диорити преди 90.4 ± 0.5 Ma; много бързо след тях са интродуирани кварц-монцодиоритите, които се приемат за рудоносни (Чипчакова, 2002). Гранодиоритовите тела, порфирни по амфибол и плагиоклаз, са пресечени от аплитиви жили със сиенитов състав и възраст 90.12 ± 0.36 Ma. Следователно (вземайки предвид и възможната грешка от 0.36 Ma) магматизмът в находище Медет е завършил преди 89.7 Ma. Доколкото магматичният произход на хидротермалните разтвори в находището е доказан достатъчно убедително (Strashimirov *et al.*, 2002), то възрастта му е ~90 Ma.

Източници на веществото в магматично-хидротермалните находища

За характеризиране на магмените източници в находищата от Централното Средногорие са използвани както данни за общата химия на скалите, така и изотопни анализи: Rb-Sr, Sm-Nd и Pb-Pb по средни скални проби и хафниеви (Hf) на циркони с предварително определена възраст.

Геохимичните характеристики (главни, второстепенни и редкоземни елементи) на къснокредните магмени скали са типични за островнодъгови магми от субдукционни геодинамични обстановки (Kamenov *et al.*, 2004). Изотопните Sr-Nd-Pb анализи подкрепят този извод, като свидетелстват за смесен корово-мантиен произход на магмата (Quadt *et al.*, 2004). Горнокредните магмени продукти в Централното Средногорие са резултат от сложни процеси на мантийно топене, смесване с корови компоненти и фракциониране на магмата (Kamenov *et al.*, 2004, Quadt *et al.*, 2004).

Изотопните Sr-Nd-Pb анализи на скалите, както и Hf анализи на цирконите, предполагат по-голяма участие на коров компонент в по-старите и по-северно разположени горнокредни магмени комплекси: в най-южно разположеният и най-млад Капитан-Димитриевския плутон (78.54 ± 0.15 Ma) се наблюдават и най-типично „мантийните” стойности на e_{Nd} (до +1.55) и началното стронциево отношение (0.7040); нарастващите стойности на e_{Hf} в цирконите от южните плутони на Панаягорския район (до +8, +10) отразяват подобни трендове на нарастващо участие на мантийно вещество.

Прилагането на U-Pb и Hf изотопни методи при изследването на циркони от горнокредните гранитоиди и габра в южната част на Централно Средногорие позволиха разграничаването на разновъзрастните смесващи се магми и асимилираната стара кора. Двете контрастни магми при с. Величково са съответно с възраст 82 и 85 Ma, а асимилираният коров протолит - с възраст около 460 Ma. Изотопногеохимичните характеристики на скалите са използвани за оценка на процесите на механично и химично смесване на магмата.

Заклучение

Детайлните изотопногеохимични и геохронологички изследвания са ефективно средство за изясняване процесите на магмено-хидротермално рудообразуване и източниците на определени компоненти в магмено-хидротермалната система. Успешното им прилагане при решаването на геоложките проблеми зависи както от доброто познаване на техните възможности и избора на подходящия комплекс изотопни методи, така и от прецизната работа на полевите геолози, минералози, петролози и структурни геолози и съвместната интерпретация на резултатите.

Литература

- Богданов, В. 1987. *Медните находища в България*. Техника, София, 388 стр.
- Иванов, Ж. *Тектоника на България*. (под печат).
- Мутафчиев, И., С. Чипчакова. 1969. Околорудни изменения на скалите от сенонския вулкански комплекс в златно-медно-пиритното находище Челопеч. - *Изв. Геол. инст.*, 18, 125-142.
- Чешитев, Г., В. Миланова, И. Сапунов, П. Чумаченко. 1995. *Обяснителна записка към геоложката карта на България в М 1:100000. Картен лист Тетевен*. - „Геология и геофизика” АД, София, 95 стр.
- Чипчакова, С. 2002. Околорудни изменения на скалите в меднопорфирното находище Медет, Централно Средногорие. - *Геохим., минерал. и петрол.*, 39, 67-74.
- Georgieva, S., R. Petrunov, R. Moritz, S. Stoykov, I. Peytcheva, A. von Quadt. 2004. Temporal relationship between volcanism and the hydrothermal system in the region of Chelopech high-sulphidation Cu-Au deposit: constraints from geochronological and mineralogical data. - In: *Proc. ann. sci. conf. BGS „Geology 2004”*, December 16-17, Sofia, 21-23.
- Kamenov, B., Y. Yanev, R. Nedialkov, R. Moritz, I. Peytcheva, A. v. Quadt, S. Stoykov, A. Zartova. 2004. An across-arc petrological transect through the Central Srednogorie Late-Cretaceous magmatic centers in Bulgaria. - In: *Proc. ann. sci. conf. BGS „Geology 2004”*, December 16-17, Sofia, 35-37.
- Kouzmanov, K., C. Ramboz, C. Lerouge, E. Delouie, D. Beaufort, K. Bogdanov. 2003. Stable isotopic constrains on the origin of epithermal Cu-Au and related porphyry copper mineralisations in the southern Panagyurishte district, Srednogorie zone, Bulgaria. - In: Eliouopoulos, D.G. *et al.* (eds.): *Mineral exploration and sustainable development*. - Millpress Rotterdam, 1181-1184.
- Moritz, R., S. Jacquat, I. Chambefort, D. Fontignie, R. Petrunov, S. Georgieva, A. von Quadt. 2003. Controls of ore formation at the high-sulphidation Au-Cu Chelopech deposit, Bulgaria: evidence from infrared fluid inclusion microthermometry of enargite and isotope systematics of barite. - In: Eliouopoulos, D.G. *et al.* (eds.): *Mineral exploration and sustainable development*. - Millpress Rotterdam, 1209-1212.
- Popov, P., K. Popov. 2000. General geologic and metallogenic features of the Panagyurishte ore region. - In: Strashimirov, S. & Popov, P. (eds): *Geology and metallogeny of the Panagyurishte ore region (Srednogorie zone, Bulgaria)*. Guide to Excursions A and C. ABCD-GEODE 2000 Workshop, Borovets, Bulgaria, 1-7.
- Popov, P., S. Strashimirov, K. Popov, R. Petrunov, M. Kanazirski, D. Tsonev. 2003. Main features in geology and metallogeny of the Panagyurishte ore region. - *50 Years University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski”*, vol. 46, part I, 119-125.
- S. Stoykov, I. Peytcheva, A. v. Quadt, R. Moritz, M. Frank, D. Fontignie. 2004. Isotope constraints on the age and magma evolution of the Chelopech volcanic complex (Bulgaria). - In: *Proc. ann. sci. conf. BGS „Geology 2004”*, December 16-17, Sofia, 80-82

- Stoykov, S., P. Pavlishina. 2003. New data for Turonian age of the sedimentary and volcanic succession in the southeastern part of Etropole Stara Planina Mountain, Bulgaria. - *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 56, 6, 55-60.
- Strashimirov, S., R. Petrunov, M. Kanazirski. 2002. Porphyry-copper mineralisation in the Central Srednogorie zone, Bulgaria. - *Mineral. Deposita*, 37, 587-598.
- Von Quadt, A., I. Peytcheva, B. Kamenov, L. Fanger, C. A. Heinrich, M. Frank. 2002. The Elatsite porphyry copper deposit in the Panagyurishte ore district, Srednogorie zone, Bulgaria: U-Pb zircon geochronology and isotope-geochemical investigations of magmatism and ore genesis. - In: Blundell, D.J., Neubauer, F. & von Quadt, A. (eds). *The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen*. - Geol. Soc., London, Spec. Publication, 204, 119-135.
- Von Quadt, A., I. Peytcheva. 2004. Magmatic evolution of the Cretaceous rocks within the Panagyurishte district (Sentral Srednogorie, Bulgaria) based on U-Pb and Hf-zircon, Nd and Sr whole rock data. - In: Proc. *ann. sci. conf. BGS „Geology 2004”*, December 16-17, Sofia, 60-62.