Interpretation problems of LA-ICP-MS U-Pb geochronology

Интерпретационни проблеми пред LA-ICP-MS U-Pb геохронология

Ivan Zagorchev

Иван Загорчев

Geological Institute “Acad. Str. Dimitrov”, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev str., 1113 Sofia, Bulgaria;
E-mail: iszagorchev@yahoo.com

Abstract. The existing practice for characterizing the time of a metamorphic event by the average mean of radiogenic mineral dates gives a false idea about the event duration. In the present communication this practice is discussed from the viewpoint of regional geology and geodynamics. Conclusions about the interpretations of radioactive mineral dates for the mineral event duration and the metamorphic event duration are also made.

Keywords: mineral event dating, metamorphic event dating and duration.

Въведение

През последните няколко десетилетия беше постигнат значителен прогрес в датирането на радиоактивни минерали (циркон, монацит, титанит, рутил и др.) чрез U-Pb метод. Усъвършенстваните лабораторни техники са в състояние да постигнат високоточни измервания. LA-ICP-MS анализът се извършва върху материал, извлечен от миниатюрни кратери в ядрата или отделни слоеве от зонални минерални зърна. Постиганата лабораторна точност на определянето на възрастта е от порядъка на няколко десетки до няколкостотин хиляди години. Това високо технологично развитие създава до известна степен фалшиво усещане за всемогъщество на изотопната геохронология и за почти автоматична интерпретация на нейните резултати, понякога в ущърб на другите геоложки методи. Целта на настоящето съобщение е да привлечем вниманието върху някои сериозни проблеми при интерпретацията в реалните условия на регионалната геология.

Проблеми при датирането на метаморфните събития

Времетраенето на метаморфните събития е важен параметър от гледна точка както на изследването на метаморфните (Glazner, Sadler, 2016; Taylor et al., 2016), така и на геодинамичните процеси. За съжаление, в много случаи този параметър се пренебрегва или интерпретира погрешно.

Основните проблеми при регионално-геоложкото датиране на метаморфните събития

произхождат от самата същност на метаморфните процеси, както и от същността на изотопното датиране и на използваните при интерпретацията методи на геостатистиката (вж. също McKillup, Dyar, 2010; von Quadt et al., 2014). Трябва да се припомнят някои основни понятия, като дата на минералообразуване, средна дата на минералообразуване, времетраене на минералообразуването за даден минерал; средна дата на метаморфното събитие по отделна скална проба и средна дата на метаморфното събитие въз основа на регионално представително опробване; времетраене на метаморфното събитие; доверителни граници за всеки от тези параметри. При това при определянето на доверителните граници трябва да се имат предвид не само статистическите методи, но и реалните геоложки условия. Същност става дума за доверителни граници, респ. интервали, на коренно различни по характер величини. Така доверителните граници за единичното измерване на датата за материала, добит от даден LA кратер от минералното зърно, изцяло зависят от точността на апаратурата (лабораторната грешка) на определяне на съответните изотопи и изотопни отношения. Ситуацията се изменя, когато преминем към интегриране на резултатите от отделните кратери (поякога 2–3 в рамките на едно минерално зърно) и минералните зърна по отношение на цялата проба. Тогава пристъпваме обикновено към графично представяне и оценка на разпределението на фигуративните точки на приетите диаграми (дискордия-конкордия), на която конкордантните стойности (фигуративни точки, попадащи на конкордия) могат да оформят повече

от един клъстер, т.е., да са свързани с повече от едно метаморфно събитие. Ограничаването на клъстера, който отговаря на определено метаморфно събитие, е до голяма степен субективно по отношение на крайните стойности. След това се преминава към статистическото определяне на доверителния интервал (граници), при което се определя средната стойност на датата и средните стандартни отклонения. Обикновено се приемат отклонения 2σ като доверителният интервал теоретично включва 95% от вероятните резултати. Практическият опит показва, че при сравнително малък брой фигуративни точки в клъстера (много често 5–6 при 20–50 общ брой измервания от пробата) този доверителен интервал далеч не отговаря на действителния интервал на съответното минералообразуващо събитие. Дори от този малък брой стойности по статистически път се изключват реални дати на образуване на съответния минерал, като неоправдано се стеснява доверителния интервал на минералообразуващото събитие. Ще припомним, че всяка от тези реални дати има реален доверителен интервал, който определя възмож-

ната грешка, така че не можем да отстраняваме този резултат по статистически съображения. Затова би трябвало да приемем един по-широк подход, а именно определяне като минимално времетраене на минералообразуващото събитие на целия интервал от дати, или /1/ от най-горната доверителна граница на най-старата дата до най-долната доверителна граница на най-младата дата, или /2/ на интервала, включващ всички средни дати от клъстера (фиг.1 и 2).

Метаморфните процеси са многофакторни, многофазови и са свързани с различни геодинамични обстановки. Датирането на времетраенето на едно минералообразуващо събитие, свързано с дадено метаморфно събитие, изисква интегриране на резултати от няколко проби от различни скални разновидности, принадлежащи на една тектонска единица, претърпяла това събитие, и разположени в различни части от ареала на разпространение на единицата. При това по отделните проби се установяват най-често различни интервали на минералообразуващото (респективно, метаморфното) събитие, като общото времетраене на събитието обхваща съв-

Фиг. 1. Диаграма за конкордантни цирконови дати от 4 проби от Огражденския суперкомплекс (Zagorchev et al., 2015) с данни (в зелено) от проба от Рибнишкия гранит (Peytcheva et al., 2015). Показани са доверителните граници за всяка проба и общото времетраене на цирконообразуващото събитие.

Фиг. 2. Диаграма за конкордантните монацитови дати от метапелитите на проба от Луковишката свита (от Massonne, 2016, Fig. 9) с показани предполагаемите интервали на монацитообразуването

купността от интервалите, получени по отделните проби (фиг. 1).

В подкрепа на горните разсъждения привеждаме два конкретни примера от Югозападна България – Огражденската единица на Сръбско-Македонския масив и Пирин-Пангеонската единица на Родопския масив.

Раннопалеозойски анатектични събития в Огражденския суперкомплекс, Огражденска единица

Този суперкомплекс отдавна (Zagorchev in Aleksić et al., 1988) се приема за полиметаморфен, като най-добре изявеното метаморфно и анатектично събитие се датира като кадомско. Новите датировки чрез LA-ICP-MS U-Pb изследвания върху циркони (Zagorchev et al., 2011, 2015; Peytcheva et al., 2015) потвърждават кадомската възраст на това събитие и датират следващите метаморфни събития като каледонски и херцински. Изследваните десетина проби са съсредоточени предимно в част от Малешевския комплекс, като са разпръснати на разстояния от порядъка на 50 km. Каледонското събитие се датира чрез 6 до около 40 датировки в проба, като недостатъчният брой датировки в някои от пробите са подтикнали към неправомерно комбини-

ране на три проби от мигматити, разположени на разстояния до десетина километра една от друга (Peytcheva et al., 2015). Резултатите показват, че при средни стойности (дати) между 475 и 440 Ma реалният интервал на цирконообразуване е около 54 млн. години (фиг. 1).

Монацитово датиране в метапелити от Луковишката свита, Пирин-Пангеонска единица

Датирането на монацитообразуващото събитие е извършено от Massonne (2016) и дискутирано от Zagorchev (2020). Монацитовите 56 дати (след отхвърлянето от Massonne, 2016 на 5 дати като неотговарящи на реалната геоложка обстановка) се разпределят равномерно в интервала между 62 и 24 Ma, като изчислената средна стойност на ниво 2σ е 42.7±2.6 Ma (Massonne, 2016, Fig. 9). Вижда се (фиг. 2), че в този доверителен интервал от 5,2 млн. год. не попадат 19 от всички 56 дати, т.е. около 1/3 от всички дати. По-реален интервал по предлагания от мен критерий обхваща около 23 млн. год., а при вземане предвид на всички средни дати – около 38 млн. год., т.е. интервала от 62 до 24 Ma. Този интервал отговаря на монацитообразуващо явление, покриващо цялото време на палеогенско изди-

гане и ексхумация, включително и внедряването на Спанчевските и Тешовските гранитоидни плутони (Zagorchev, 2020).

Заклучение

Средната стойност (*средна минерална дата*) на данните, получени за зърна или техни ядра/обвивки от даден радиоактивен минерал, извлечени от представителна скална проба не може да даде реална представа за времетраенето на дадено метаморфно събитие, с което се свързва образуването на съответния минерал (обвивка). Необходимо е да се отчита целия непрекъснат интервал от конкордантни минерални зърна и той да се приеме за времетраене на минералообразователното събитие. Идентификацията на минералообразователното събитие с дадено метаморфно събитие може да стане само чрез безспорно доказване на принадлежността на съответния минерал към дадена метаморфна минерална парагенеза.

Литература References

- Aleksić, V., S. Dimitriadis, M. Kalenić, R. Stojanov, I. Zagorchev. 1988. Serbo-Macedonian Massif. – In: Zoubek, V., J. Cogné, D. Kozhoukharov, H. Krautner (Eds.), *Precambrian in Younger Fold Belts*. Wiley & Sons, 779–820.
- Glazner, A. F., P. M. Sadler. 2016. Estimating the duration of geologic intervals from a small number of age determinations: A challenge common to petrology and paleobiology. – *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17, 12, 4892–4898.
- Massonne, H.-J. 2016. A Tertiary high-pressure metamorphism recorded in andalusite-bearing micaschist, southern Pirin Mts., SW Bulgaria. – *Europ. J. Miner.*, 28, 6, 1187–1202.
- McKillop, S., M. D. Dyar. 2010. *Geostatistics Explained. An Introductory Guide for Earth Scientists*. Cambridge University Press, 396 p.
- Peytcheva, I., L. Macheva, A. von Quadt, N. Zidarov. 2015. Gondwana-derived units in Ograzhden and Belasitsa Mountains, Serbo-Macedonian Massif (SW Bulgaria): combined geochemical, petrological and U-Pb zircon-xenotime age constraints. – *Geologica Balc.*, 44, 1–3, 51–84.
- Rasmussen, B., J. R. Muhling. 2007. Monazite begets monazite: evidence for dissolution of detrital monazite and reprecipitation of syntectonic monazite during low-grade regional metamorphism. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 154, 675–689.
- Taylor, R. J. M., C. L. Kirkland, C. Clark. 2016. Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes. – *Lithos*, 264, 239–254.
- von Quadt, A., D. Gallhofer, M. Guillong, I. Peytcheva, M. Waelle, S. Sakata. 2014. U–Pb dating of CA/non-CA treated zircons obtained by LA-ICP-MS and CA-TIMS techniques: impact for their geological interpretation. – *J. Anal. At. Spectrom.*, 29, 1618–1629.
- Zagorchev, I. 2020. LA-ICP-MS U-Pb geochronology on monazite: Geologic “date” and geologic event duration. Comment on the paper by H.-J. Massonne, European Journal of Mineralogy, DOI:10.1127/ejm/2016/0028-2575. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 81, 2 (in press).
- Zagorchev, I., C. Balica, I. Balintoni, E. Kozhoukharova, R. Dumitrescu, G. Sabau, E. Negulescu. 2011. New isotopic data on the metamorphic rocks in SW Bulgaria. – *3rd Intern. Symp. on the Geology of the Black Sea Region*, Bucharest, 223–225.
- Zagorchev, I., C. Balica, E. Kozhoukharova, I. Balintoni, G. Sabau, E. Negulescu. 2015. Cadomian and post-Cadomian tectonics west of the Rhodope massif: the Frolosh Greenstone Belt and the Ograzhdenian metamorphic supercomplex. – *Geologica Macedonica*, 29, 2, 101–132.