

Tomasz BRACHANIEC¹, Krzysztof SZOPA¹, Mirosław SZCZYRBA¹

Osady molasowe źródłem mołdawitów

Molasse deposits as a source of moldavites

Abstract: Moldavite are result of melting and mixing of ejecta Cenozoic deposits from Ries crater. The Czech moldavites have different Al, Ca and Si content in contrast to tektites from Lusatian area. Differences in chemical composition of moldavites are caused by local interbedded layers of Tertiary Obere Süßwasser Molasse, which are represented by: quartz sands and limestones with clays.

Key-words: moldavite origin, melting, molasse, substrewnfields

Pierwsze prace dotyczące hipotetycznego pochodzenia mołdawitów zaczęły się pojawiać pod koniec XVIII wieku (Mayer 1788; Lindaker 1792; patrz Meisel i in. 1997 i literatura tam cytowana). Naukowe badania materiału źródłowego tych tektytów przeprowadzili Schwarcz (1962) i Bouška (1968). Obecnie jest wiele prac opisujących ich skład chemiczny, a tym samym mówiących o utworach z jakich powstały (przegląd w: Trnka i Houzar 2002 oraz Žák i in. 2012). Walter (1967) wysunął hipotezę, według której mołdawity powstały na drodze parowania drobnych cząstek płynnego skalnego stopu, utworzonego na skutek impaktu Ries. Obecnie przyjmuje się, że te bryłki zasobnego w krzemionkę szkliwa są przedstawicielami tzn. ejecta deposits, czyli materiału, który został wyrzucony z krateru, co teoretycznie zobrazował już w 1933 roku jako pierwszy L. Spencer. Półpłynny, gorący stop krzemionki w końcowej fazie lotu ulegał ochłodzeniu i finalnie zastygnięciu. Późno mioceńska paleogeografia Centralnej Europy sugeruje że, znaczna część nowo powstałych mołdawitów mogła zostać gwałtownie schłodzona na skutek spadku do rzek i zbiorników wodnych. Proces wyrzutu półpłynnych warstw skalnych z krateru, które tworzyły macierzysty materiał dla tektytów został opraco-

¹ *Katedra Geochemii, Mineralogii i Petrografii; Wydział Nauk o Ziemi UŚ; Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; email: tribal216@gmail.com; kszopa@us.edu.pl; mirek.szczyrba@gmail.com*

wany przez: Barnes (1964, 1989), Wasson (1991, 1995), Koeberl (1992) oraz Engelhardt i in. (1987). Skład chemiczny móldawitów można interpretować jako wynik stopienia i zmieszania kilku rodzajów osadów (Delano i Lindsley 1982; Delano i in. 1988; Meisel i in. 1997; Magna i in. 2011; Žák i in. 2012).

Pomimo, że móldawity powstały na skutek jednego impaktu, to różnią się one od siebie składem chemicznym. Każde ich występowanie na terenie Czech charakteryzuje się zwiększoną ilością innego związku chemicznego: tektyty z Bohemii mają największą ilość węgla, morawskie minerałów ilastych, natomiast wysoka zawartość krzemionki charakteryzuje móldawity z Radomilic (fig. 1). Ich niemiecckie odpowiedniki są mieszaniną uśrednionych ilości w/w związków.

Bouška (1968) opisał chemiczne powinowactwo pomiędzy móldawitami. Różnice w ich składzie chemicznym mogą sugerować lokalne przeławienia pierwotnych osadów krzemionkowych przed impaktem. Z drugiej jednak strony stop skalny mógł powstać po impakcie, po zmieszaniu już płynnych skał. Delano i Lindsley (1982) oraz Delano i in. (1988) wyjaśnili mechanizm powstania móldawitów na skutek mieszania stopu, utworzonego na drodze połączenia: minerałów ilastych, węglanów i kwarcu, który według autorów rozcieńczał nowo powstałą mieszaninę. Również Bouška (1992) wykazał, że stosunek ilościowy pierwiastków: Zr/Hf, K/U, Th/U, K/Rb, wskazywał na ich bliskie pokrewieństwo z piaskiem kwarczo-

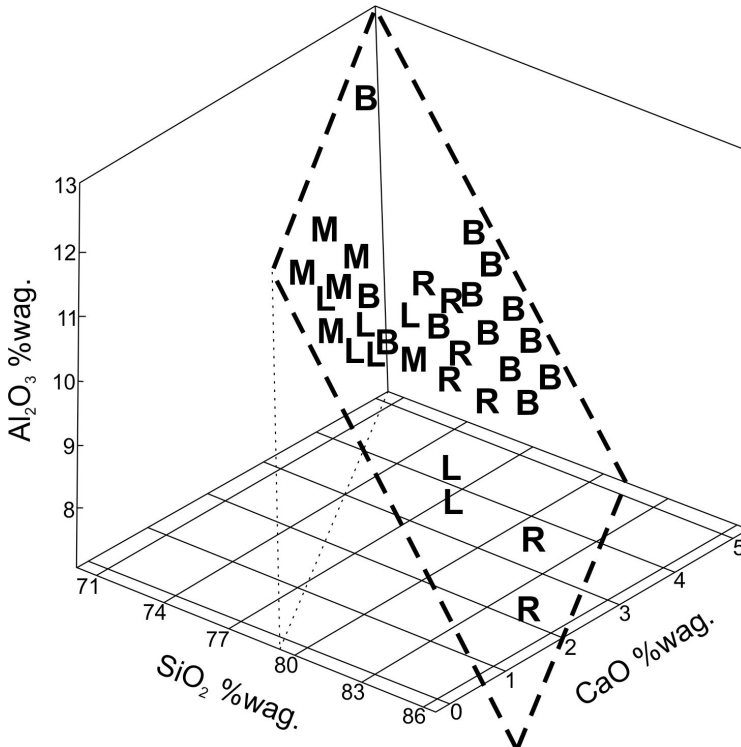


Fig. 1. Model zawartości głównych tlenków dla móldawitów (uproszczone z: Lange 1995; Meisel i in. 1997) z: Radomilic (R), Moraw (M), Bohemii (B) i Łużyc (L).

wym oraz iłem. Wyżej wymienionych autorów poparli m.in.: Meisel i in. (1997) oraz Řandy i in. (2008), którzy stwierdzili, że korelacja głównych związków chemicznych $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$, mieszcząca się w średniej dla móldawitów (fig. 1) oznacza, że powstały one z mieszaniny minerałów ilastych (głównie Al, Fe, K, Na, Ti), węglanów (Ca, Mg, Mn) i krzemionki (Si).

Profile litostratygraficzne jednoznacznie wskazują, że najstarszymi utworami w rejonie krateru Ries są skały paleozoicznego i proterozoicznego podłoża (głównie gnejsy, granity, metadiabazy) (Graup i in. 1981; Horn i in. 1985; Stöffler i in. 2002). Na nich znajdują się osady Permu oraz Mezozoiku (Jury i Triasu – głównie wapienie, łupki i piaskowce) (Stöffler i in. 2002). Niewątpliwym źródłem móldawitów były jednak osady Trzeciorzędu, osiągające do 50 metrów miąższości (Horn i in. 1985; Hüttner i Schmidt-Kaler 1999), tzw. Tertiary Obere Süßwasser Molasse (OSM; piaski kwarcowe z okruchami węglanów i iłami) (Bouška i in. 1973; Luft 1983; Horn i in. 1985; Engelhardt i in. 1987, 2005; Meisel i in. 1997; Trnka i Houzar 2002 i literatura tam cytowana).

Horn i in. (1985) opisali z Tertiary Obere Süßwasser Molasse piaski kwarcowe ze skaleniami oraz soczewami węglanów i przewarstwieniami iłu. Oznacza to, że różnice chemiczne w rozmieszczeniu geograficznym móldawitów odpowiadają zmianom lokalnym osadów molasowych (Engelhardt 1967), powstałych na skutek erozji proterozoicznego i wczesno paleozoicznego podłoża krystalicznego przedpola Alp. Zostało to potwierdzone badaniami geochemicznymi wykonanymi m.in. przez: Lufta (1983), Engelhardta i in. (1987), Koeberla i in. (1985) oraz Delano i in. (1988). Różnice w składzie chemicznym móldawitów są stosunkowo niewielkie w porównaniu do np. australitów, co może świadczyć o tym, że osad mimo, że przelawicany, był na ogół dość jednorodny. Badania izotopowe oraz analizy ilościowe pierwiastków ziem rzadkich nie dały jednoznacznej odpowiedzi o geograficzną lokalizację osadów stanowiących źródło móldawitów (Meisel i in. 1997). W ich strukturze nie stwierdzono pierwiastków pochodzenia meteorytowego (Trnka i Houzar 2002).

Řanda i in. (2008) oraz Skála i in. (2009) stwierdzili, że do osadów, które bez wątpienia stanowiły źródło móldawitów (piaski kwarcowe, margle/iły oraz węglany) należy dołączyć materię organiczną (pochodzącą z drzew, krzewów i gleby). Według autorów hipoteza ta jest oparta na wysokiej zawartości K/Na i wzbogaceniu w Ca, Mg i Na, a także pozytywną korelacją tych pierwiastków z K, co jest obserwowane w móldawitach z Cheb Basin (Czechy). Obecność biogenicznych komponentów w materiale źródłowym móldawitów jako pierwszy zasugerował Kinnunen (1990). Według niego lechatelieryt obecny w szklivach tektytów pochodzi z krzemionkowego biogenicznego opalu utworzonego w tkankach roślinnych. OSM to wysoce porowaty osad, w którym wysoka zawartość wody oraz pokrywa gleby sprzyja szybkiej wegetacji roślin (Žák i in. 2012). Osady molasowe wokół krateru Ries zawierają ok. 0,09 %wag. węgla organicznego (Žák i in. 2012), z którego Petersile i in. (1967) uzyskali 0,0072 %wag. związków organicznych.

Literatura

- Barnes V.E., 1964, *Variation of petrographic and chemical characteristics of indochinite tektites within their strewn-field*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, s. 893–913.
- Barnes V.E., 1989, *Origin of tektites*, *Texas Journal of Science*, 4, s. 5–33.
- Bouška V., 1968, *On the original rock source of tektites*, *Lithos*, 1, s. 102–112.
- Bouška V., 1992, *Tajemne vltaviny*, Gabriel, Praga.
- Bouška V., Benada J., Řanda Z., Kuncíř J., 1973, *Geochemical evidence for origin of moldavites*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, s. 121–131.
- Delano J.W., Lindsley D.H., 1982, *Chemical systematics among the moldavite tektites*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46, s. 2447–2452.
- Delano J.W., Bouška V., Řanda Z., 1988, *Geochemical constraints on the source materials of moldavite tektites*, *Proceedings – Second International Conference on Natural Glasses*, Praga, s. 221–230.
- Engelhardt von W., 1967, *Chemical composition of Ries glass bombs*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, s. 677–1689.
- Engelhardt von W., Berthold C., Wenzel T., Dehner T., 2005, *Chemistry, small-scale inhomogeneity, and formation of moldavites as condensates from sands vaporized by the Ries impact*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69, s. 5611–5626.
- Engelhardt von W., Luft E., Arndt J., Schock H., Weiskirchner W., 1987, *Origin of moldavites*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, s. 1425–1443.
- Graup G., Horn P., Köhler H., Müller-Sohnius D., 1981, *Source material for moldavites and bentonites*, *Naturwissenschaften*, 68, s. 616–617.
- Horn P., Müller-Sohnius D., Köhler H., Graup G., 1985, *Rb-Sr systematic of rocks related to the Ries Crater. Germany*, *Earth and Planetary Science Letters*, 75, s. 384–392.
- Hüttner R., Schmidt-Kaler H., 1999, *Erläuterungen zur geologischen Karte des Rieses 1:50000*, *Geologica Bavarica*, 104, s. 7–76.
- Kinnunen K.A., 1990, *Lechatelierite inclusions in indochinites and the origin of tektites*, *Meteoritics*, 25, s. 181–184.
- Koerberl C., 1992, *Geochemistry and origin of Muong Nong-type tektites*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, s. 1033–1064.
- Koerberl C., Kluger F., Kiesel W., 1985, *Rare earth elemental patterns in some impact glasses and tektites and potential parent materials*, *Chemie der Erde*, 44, s. 107–121.
- Lange J.M., 1995, *Lausitzer moldavite und ihre Fundschichten*, *Schriftenreihe für Geowissenschaften* 3, Berlin.
- Luft E., 1983, *Zur Bildung der Moldavite beim Ries-Impact aus Tertiären Sedimenten*, Enke-Verlag, Stuttgart.
- Magna T., Deutsch A., Mezger K., Skála R., Seitz H.-M., Mizera J., Řanda Z., Adolph L., 2011, *Lithium in tektites and impact glasses. Implications for sources, histories and large impacts*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, s. 2137–2158.
- Meisel T., Lange J.-M., Krahenbuhl U., 1997, *The chemical variation of moldavite tektites. Simple mixing of terrestrial sediments*, *Meteoritics & Planetary Science*, 32, s. 493–502.
- O'Keefe J.A., 1976, *Tektites and their origin*, Elsevier, Amsterdam.
- Petersile I.A., Vorobei G.G., Ikorskij S.V., Proskuryakova E.B., 1967, *Bituminoznoe veschestvo v tektitach*, *Geokhimiya*, 4, s. 467–470.
- Řanda Z., Mizera J., Frána J., Kučera J., 2008, *Geochemical characterization of moldavites from a new locality, the Cheb Basin, Czech Republic*, *Meteoritics & Planetary Science*, 43, s. 461–477.

- Schwarcz H.P., 1962, *Possible origin of tektites by soil fusion at impact sites*, *Nature*, 194, s. 8–10.
- Skála R., Strnad L., McCammon C., Čada M., 2009, *Moldavites from the Cheb Basin, Czech Republic*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, s. 1145–1179.
- Spencer L.J., 1933, *Origin of tektites*, *Nature*, 131, s. 117–118.
- Stöffler D., Artemieva N.A., Pierazzo E., 2002, *Modeling the Ries-Steinheim impact event and the formation of the moldavite strewn field*, *Meteoritics & Planetary Science*, 37, s. 1893–1907.
- Trnka M., Houzar S., 2002, *Moldavites a review*, *Bulletin of the Czech Geological Survey*, 77, s. 283–302.
- Walter L.S., 1967, *Tektite compositional trends and experimental vapor fractionation of silicates*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, s. 2043–2063.
- Wasson J.T., 1991, *Layered tektites a multiple impact origin for the Australasian Tektites*, *Earth and Planetary Science Letters*, 102, s. 95–109.
- Wasson J.T., 1995, *The disintegration of comet Shoemaker-Levy 9 and the Tunguska object and the origin of the australasian tektites*, *Lunar and Planetary Science*, 26, s. 1469–1470.
- Žák K., Skála R., Řanda Z., Mizera J., 2012, *A review of volatile compounds in tektites, and carbon content and isotopic composition of moldavite glass*, *Meteoritics & Planetary Science*, 47, s. 1010–1028.