

Polskie moldawity – obecny stan wiedzy i perspektywy nowych znalezisk

Krzysztof Szopa¹, Tomasz Brachaniec¹, Łukasz Karwowski¹



K. Szopa



T. Brachaniec



Ł. Karwowski

Polish moldavites – the current state of knowledge and perspectives of new finds. Prz. Geol., 67: 662–667; doi: 10.7306/2019.39

A b s t r a c t. The first Polish moldavites were discovered in 2012. This paper is a summary of the distribution and inventory of these Polish tektites. Up to the present, 28 moldavites have been described from seven different sandpits. These moldavites were deposited in the upper Miocene fluvial deposits of the Gozdnica Formation, as well as in the Pleistocene river terraces. Apart from a typical bottle green colour, moldavites also have other diagnostics features for this class of tektites, such as the presence of bubbles, inclusions of lechatelierite, as well as the same, homogeneous chemical composition. Fluvial redeposition was interpreted as the main process

which determined moldavite distribution. Despite the most recent find of one moldavite specimen in Bielawy, all of these specimens indicate both Lusatian as well as sub-strewn Czech fields as their supply area.

Keywords: moldavite, tektite, Nördlinger Ries, Miocene, Pleistocene, Poland

Tektyt to naturalna substancja amorficzna (odpowiednik szkliwa krzemionkowego), która powstała na skutek przetopienia skał skorupy ziemskiej w wyniku spadku relatywnie dużego ciała pozaziemskiego (np. komety lub meteorytu). Tektyty zalicza się do grupy skał o nazwie impaktyty. Obecnie na Ziemi wyróżnia się cztery główne pola rozrzutu tektytów: północnoamerykańskie, europejskie, afrykańskie i wschodnioazjatyckie (australijskie). Tektyty cechują się m.in.: wysoką zawartością SiO₂ (ok. 70–80%), amorficznością, twardością ~5,5 w skali Mohsa, przełamem muszlowym oraz najniższą zawartością wody spośród wszystkich naturalnych substancji na Ziemi (ok. 0,002–0,03% wag.; Beran, Koeberl, 1997).

Mołdawity, czyli tektyty związane ze środkowoeuropejskim polem rozrzutu, są równoległe z kraterem Nördlinger Ries oraz mniejszym, bliźniaczym – Steinheim. Obydwa kratery znajdują się w Niemczech, w Bawarii. Pierwszy z nich, znacznie większy, ma średnicę 24 km i jest datowany na 14,93–15 Ma (Rocholl i in., 2017). Powstanie mołdawitów, a także innych przetopionych częściowo impaktytów, wiąże się z przetopieniem paleogeńskich utworów molasowych (niem. *Tertiary Obere Süßwasser Molasse*; ang. *Upper Freshwater Molasse*), składających się z piasków kwarcowych z przeławieniami węglanów i ilów (Horn i in., 1985; Huttner, Schmidt-Kaler, 1999; Żák i in., 2016). Do czasu odnalezienia mołdawitów w Polsce ich występowanie odnotowano na terenie Czech, Niemiec oraz Austrii (Trnka, Houzar, 2002).

Pierwsze polskie mołdawity odnaleziono latem 2012 r. w kopalni odkrywkowej glin ogniotrwałych Stanisław Północ k. miejscowości Rusko, oddalonej o ok. 8 km na północny zachód od Strzegomia (Brachaniec i in., 2013; Brachaniec i in., 2014a). W następnych latach prace terenowe przyniosły kolejne znaleziska w stanowiskach: Mielęcina k. Ruska (Brachaniec i in., 2015) oraz Lasów i Gozdnicy (Brachaniec i in., 2015; Brachaniec i in., 2016; Szopa i in., 2017; Szopa, 2018), a także w Nowej Wsi Kąckiej (Bracha-

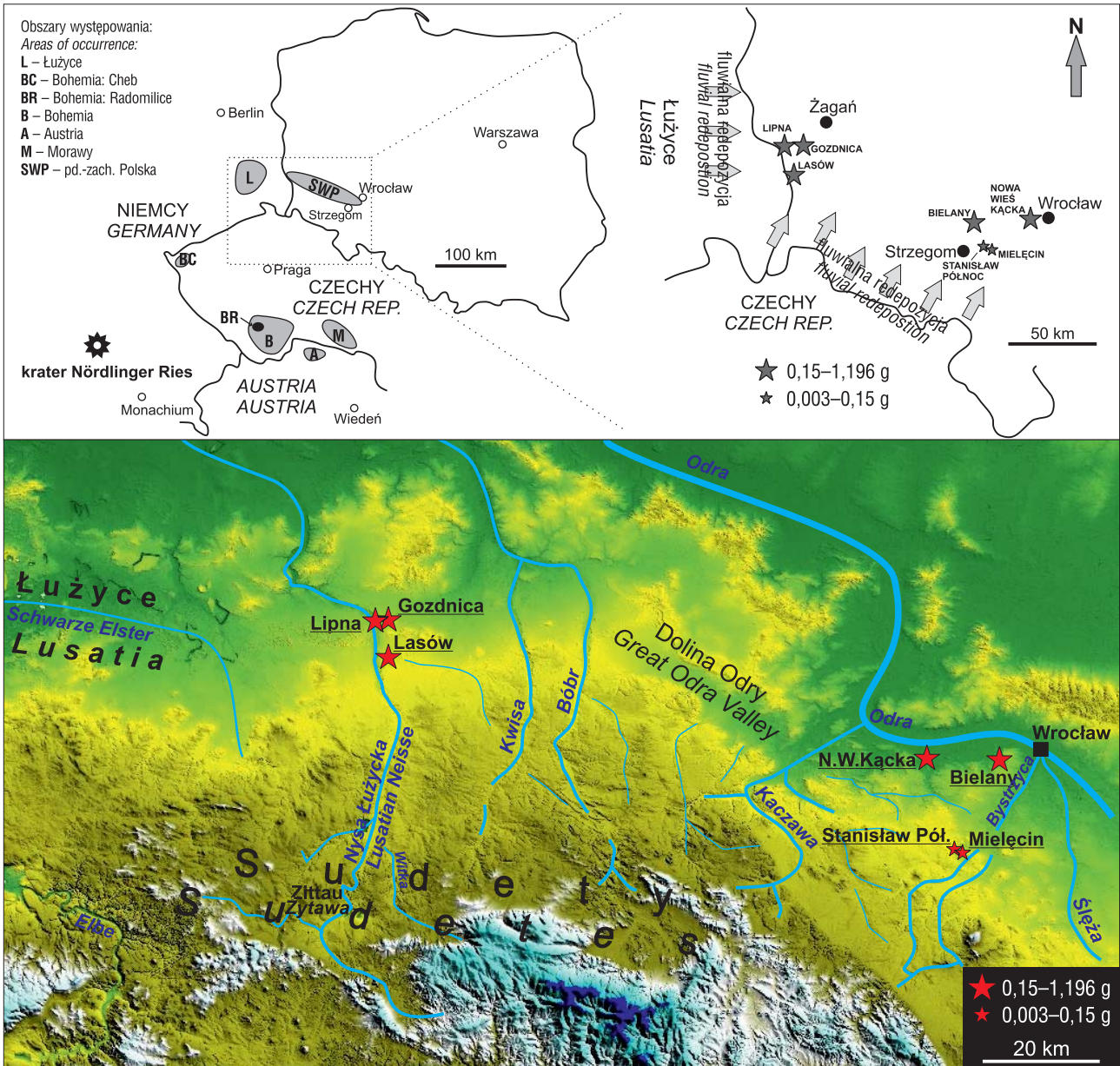
niec, 2017). Dwa kolejne mołdawity zostały odkryte w 2016 i 2017 r., podczas amatorskich poszukiwań w stanowisku Gozdnica, natomiast jeden w nowej lokalizacji – Lipna, która jest oddalona o ok. 7 km na zachód od Gozdnicy, nieopodal granicy z Niemcami (Szopa, 2018). Kolejny tektyt, opisany w niniejszym artykule, został znaleziony w 2017 r. w piaskowni Bielany k. Wrocławia. Wszystkie stanowiska, w których znaleziono tektyty, zostały przedstawione na ryc. 1.

Celem niniejszego artykułu jest podsumowanie dotychczasowej wiedzy o dystrybucji mołdawitów w osadach miocenu i plejstocenu w południowej i południowo-zachodniej części Polski oraz ocena perspektyw znalezienia nowych polskich mołdawitów.

METODYKA

Prace terenowe przeprowadzono w województwach dolnośląskim i lubuskim, w stanowiskach: Gozdnica (Wschód i Zachód), Mielęcina, Stanisław Północ, Nowa Wieś Kącka oraz Lasów. Polegały one na poszukiwaniu mołdawitów w materiale skalnym, który przesiewano w terenie za pomocą sit o średnicy oczek od 2 do 6 mm. Znalezione mołdawity były charakteryzowane (pod względem morfologii oraz składu chemicznego) za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego FET Philips 30 z EDS na Wydziale Nauk o Ziemi w Sosnowcu. Wybrane tektyty umieszczono w żywicy i poddano badaniom mikrosondą elektronową (CAMECA SX-100) w Międzywydziałowym Laboratorium Mikroanalizy Mineralów i Substancji Syntetycznych w Warszawie na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Analizy w mikroobszarze wykonano z użyciem zestawu naturalnych i syntetycznych wzorców pod napięciem przyspieszającym 15 kV, stosując natężenie wiązki 20 nA w czasie zliczania równym 10 sekund dla każdego pierwiastka.

¹ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; krzysztof.szopa@us.edu.pl; tomasz.brachaniec@o2.pl; lukasz.karwowski@us.edu.pl



Ryc. 1. Mapa występowania móldawitów na obszarze południowo-zachodniej Polski (wg Badury, Przybylskiego, 2004 – zmodyfikowana; Szopa i in., 2017; Brachaniec, 2018a, b)

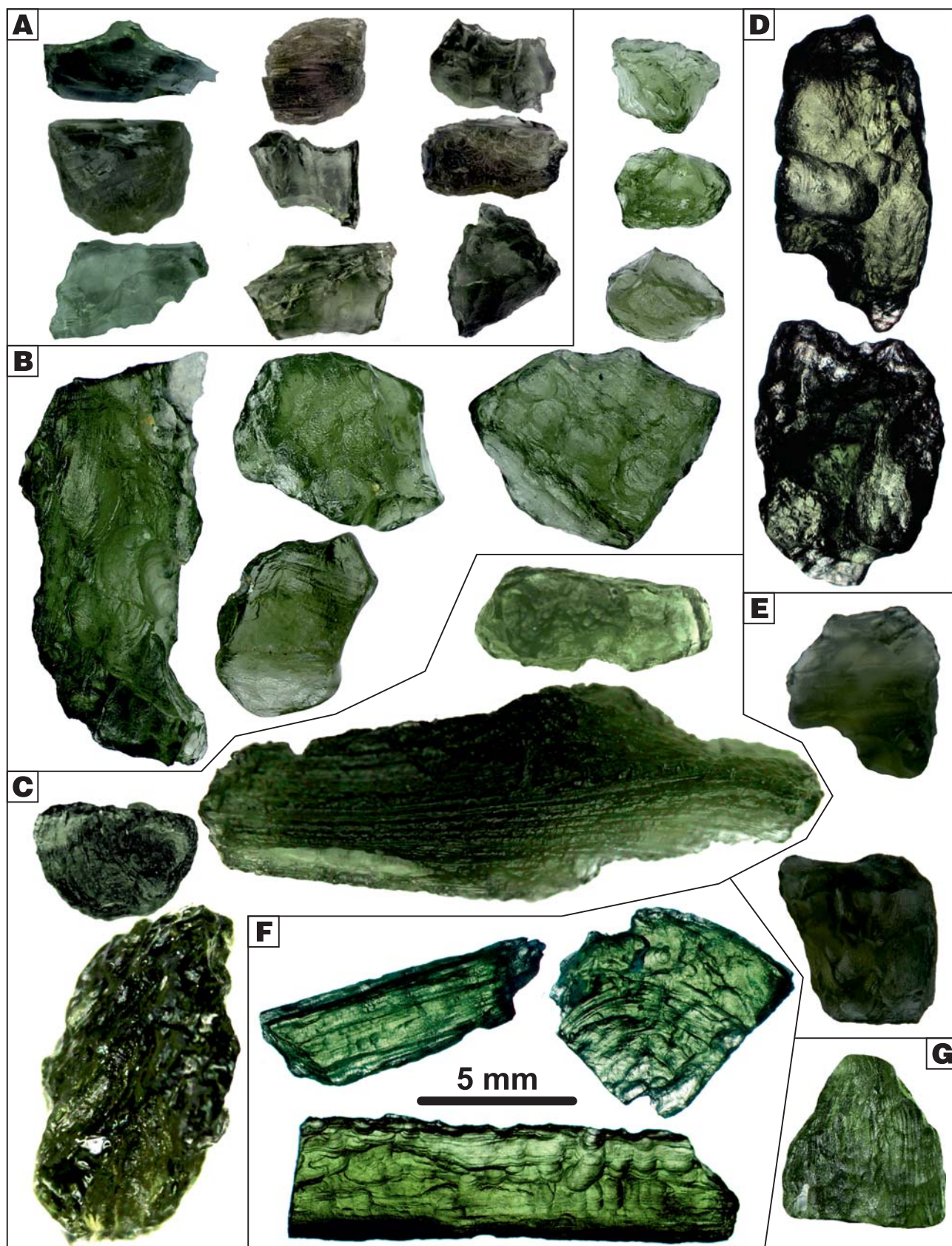
Fig. 1. Simplified map with moldavite distribution, including their localities in SW Poland (after Badura, Przybylski, 2004 – modified; Szopa et al., 2017; Brachaniec, 2018a, b)

WYNIKI BADAŃ

W 7 stanowiskach na terenie południowo-zachodniej Polski w osadach miocenu i plejstocenu znaleziono łącznie 28 móldawitów (ryc. 2). Relacje między ilością przesianego osadu w każdym stanowisku, a liczbą znalezionych móldawitów zawarto w tabeli 1. Prawie wszystkie móldawity występowały w osadach formacji gozdnickiej, wykształconej w postaci fluwialnych, żółtoszarych piasków ze żwirem (ryc. 3A; Badura, Szykiewicz, 2011; Szykiewicz, 2011). Osady te charakteryzują się dużą zawartością frakcji żwirowej, której udział zwiększa się z północnego zachodu na południowy wschód, oraz przeławiczeniami szarych ilów. Przyjęto, że osady te reprezentują późny miocen – pannon (Szykiewicz, 2011), chociaż ich wiek jest dyskusyjny (Stachurska i in., 1971; Dyjor i in., 1992; Standke, 2006). W Lasowie dwa móldawity znaleziono w szarych piaskach, lokalnie przeławiconych żwirem,

Tabela 1. Liczba móldawitów znalezionych w Polsce w udokumentowanych stanowiskach w relacji do ilości przesianego osadu
Table 1. The number of moldavites found in Poland in each location in relation to the amount of sieved sediment

Stanowisko Location	Ilość przesianego osadu [t] Amount of sieved sediment [t]	Liczba znalezionych móldawitów The number of found moldavites
Gozdnica Wschód i Zachód	4	10
Stanisław Północ	2,5	10
Lasów	1,5	2
Mielęcín	1	2
Bielany	0,5	1
Nowa Wieś Kącka	0,3	2
Lipna	0	1



Ryc. 2. Polskie móldawity ze wszystkich znanych do tej pory lokalizacji: **A** – Jarosów koło Strzegomia (Brachaniec i in., 2014a), **B** – Gozdnicza i kolejne znaleziska z Jarosowa i Mielęcina (Brachaniec i in., 2015), **C** – największe okazy z Gozdnicy (Brachaniec i in., 2016), **D** – Lasów (Szopa i in., 2017), **E** – Nowa Wieś Kącka (Szopa i in., 2017), **F** – okazy z Lipnej i Gozdnicy (Szopa, 2018) oraz **G** – okaz z nowej lokalizacji w Bielanych k. Wrocławia

Fig. 2. All described Polish moldavites from: **A** – Jarosów near Strzegomia (Brachaniec et al., 2014a), **B** – Gozdnicza and more specimens from Jarosów and Mielęcina (Brachaniec et al., 2015), **C** – the biggest tektites from Gozdnicza (Brachaniec et al., 2016), **D** – Lasów (Szopa et al., 2017), **E** – Nowa Wieś Kącka (Szopa et al., 2017), **F** – moldavites from Lipna and Gozdnicy (Szopa, 2018), as well as **G** – the new find in Bielany near Wrocław

należących do plejstocenijskich tarasów Nysy Łużyckiej (ryc. 3B). Ponadto jeden mołdawit znaleziony w Lipnej został zebrany z powierzchni ziemi i w związku z tym niestety nie można określić, z jakiego osadu pochodzi.

Zróznicowanie wielkościowe znalezionych tektytów jest bardzo duże (ryc. 2). Większe mołdawity, których masa waha się w granicach 0,15–1,196 g, znaleziono w stanowiskach Lipna, Gozdnicza, Lasów, Nowa Wieś Kącka i Bielany (ryc. 1). Znacznie mniejsze tektyty znaleziono w Mielęcinie i kopalni Stanisław Północ (0,003–0,15 g; Brachaniec i in., 2015). Mołdawit znaleziony w Bielanych k. Wrocławia (ryc. 1), podobnie jak inne polskie tektyty, charakteryzuje się tzw. butelkową zielenią. Jego wymiary to 7 x 6 x 4 mm, natomiast masa wynosi 0,638 g. Wielkością przypomina mołdawity z Gozdnicy i Lasowa, co świadczy o jego stosunkowo krótkim transporcie fluwialnym (por. Szopa i in., 2017).

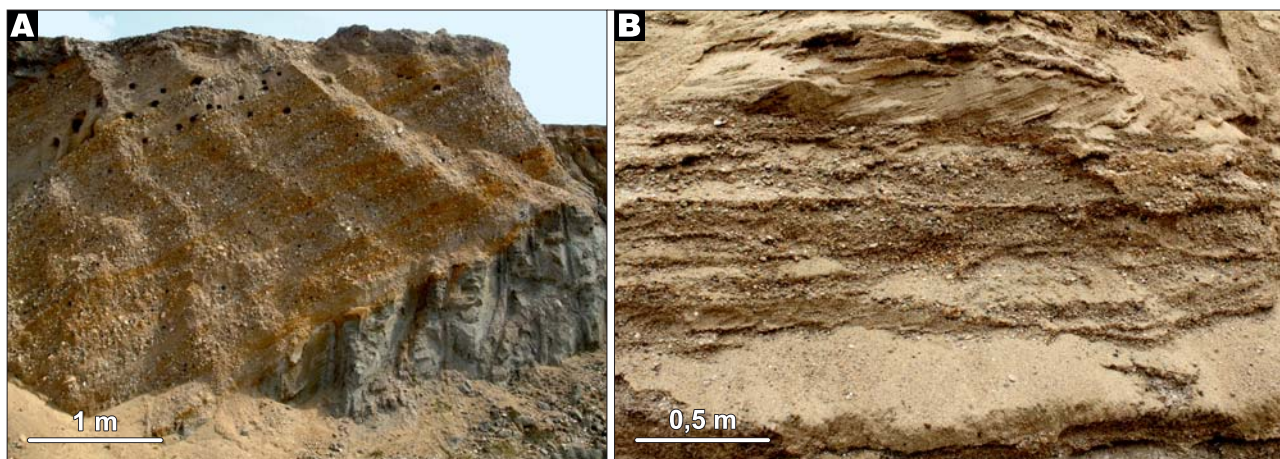
Charakterystycznymi cechami mołdawitów są: homogeniczny skład chemiczny, obecność licznych pęcherzyków gazu, szliry, a także inkluzje lechatelierytu (Trnka, Houzar, 2002). Na podkreślenie zasługuje fakt, że to właśnie lechatelieryt jest ważnym indykatorem petrogenety tektytów. Składa się on z czystej krzemionki zatopionej w szkliwie tektytowym i jest śladem po przetapianiu ziaren piasku kwarcowego. Jest on wskaźnikiem ciśnienia 30–50 GPa (Stöffler i in., 2002) oraz temperatury $\geq 1750^{\circ}\text{C}$ (Stöffler, Langenhorst, 1994). Wyniki jakościowej i ilościowej

analizy składu chemicznego badanych mołdawitów jednoznacznie wskazują na ich podobieństwo i powiązanie genetyczne. Średnia zawartość SiO_2 w badanych polskich mołdawitach wynosi 76,28–78,31% wag. (tab. 2).

DYSKUSJA

Impakty ciał pozaziemskich można podzielić na wydarzenia lokalne, którym nie towarzyszy energia potrzebna do wytworzenia tektytów (np. Schmitz i in., 2014; Szopa i in., 2017b), oraz o oddziaływaniu regionalnym, na skutek których powstają zarówno rozległe struktury uderzeniowe, jak i wiele produktów nazywanych impaktytami, takich jak np. tektyty, suevity i brekcje impaktytowe. W czasie uderzenia meteorytu lepki stop krzemianowy, o dużym kontraście reologicznym względem nieprzetopionego materiału, zostaje wyrzucony w formie kropeł na odległość co najmniej kilkudziesięciu kilometrów od krateru. Późniejsza ewolucja tego materiału, w zależności od często wieloetapowych procesów redystrybucji lub też wietrzenia, może znacznie utrudnić określenie pola ich rozrzutu. Polskie mołdawity są najbardziej dystalnymi tektytami struktury Ries – występują w odległości większej niż 150 km od krateru.

Wszystkie polskie mołdawity zostały znalezione w osadach fluwialnych, które są znacząco młodsze (późny miocen, plejstocen) od samego impaktu, datowanego na środkowy miocen (Rocholl i in., 2017). Również większość



Ryc. 3. Osady zaliczane do formacji gozdniczej (miocen) w stanowisku Stanisław Północ (A) oraz osady plejstocenijskie ze stanowiska Lasów (B)
Fig. 3. An example from the Gozdnicza Formation sediments (Miocene), exposed in the northern Stanisław sandpit (A), as well as in Pleistocene sediments from the Lasów sand pit (B)

Tab. 2. Skład chemiczny [% wag.] mołdawitów z różnych obszarów dystrybucji
Table 2. Chemical composition [wt.%] of moldavites from different sub-strewn fields

	Gozdnicza Wschód (Brachaniec i in., 2016)	Mielęcin (Brachaniec i in., 2015)	Stanisław Północ (Brachaniec i in., 2015)	Łużyce (Lange, 1995)	Morawy (Skála, Čada, 2003)	Austria (Koeberl i in., 1988)
SiO_2	77,34	78,31	76,28	79,3	79,28	79,73
TiO_2	0,24	0,27	0,12	0,34	0,42	0,3
Al_2O_3	10,71	11,01	10,87	10,5	11,01	9,81
$\text{FeO}_{\text{total}}$	1,88	1,89	1,92	1,84	2,26	1,54
MnO	0,04	0,01	0,02	0,06	0,13	0,06
MgO	1,75	1,78	1,75	1,75	1,39	1,72
CaO	2,2	2,08	2,12	2	1,64	2,41
Na_2O	0,49	0,51	0,57	0,47	0,57	0,39
K_2O	3,36	3,58	3,21	3,46	3,38	3,49
P_2O_5	0,07	0,05	0,07	–	0,02	–
Razem Total	98,06	99,49	96,93	99,72	100,1	99,45

tektytów z terenów Czech, Łużyc i Austrii została znaleziona w osadach młodszych od impaktu, co oznacza ich późniejszą redepozycję (Trnka, Houzar, 2002). Proces ten miał pierwszoplanowe znaczenie w dystrybucji materiału pochodzącego z impaktu Ries (Buchner i in., 2003; Buchner, Schmieder, 2009). Na terenie Republiki Czeskiej wyróżniono trzy grupy osadów, w których są znajdowane tektyty (Ševčík i in., 2007): 1) mioceńskie osady wraz z tzw. formacją Vrábče, w której móldawity najprawdopodobniej występują *in situ*, 2) fluwialne osady plejstocenu, tworzące tzw. *Koroseky Sandy Gravel* oraz 3) osady holocenijskie współczesnych rzek. Należy jednak zaznaczyć, że stratygrafia czeskich osadów z móldawitami jest mocno dyskusyjna (patrz Trnka, Houzar, 2002). Na obszarze Łużyc móldawity znajdują się w osadach górnego miocenu, do których należy formacja *Older Senftenberg Elbe Gravels* oraz *Bautzen Elbe Gravels* (Lange, 1995). W Austrii osady z móldawitami są słabo rozpoznane zarówno pod względem pochodzenia, jak i stratygrafii. Wynika to najprawdopodobniej z małej liczby znalezionych tektytów oraz z braku kontynuacji poszukiwań. Koeberl i in. (1988) twierdził, że tektyty były znajdowane w formacjach *Irn-fritz-Radessen Sands* oraz *Gravels or Messern Sands and Clays*, które także są wieku późnomioceńskiego. Bez względu na obecne położenie móldawitów w osadach szacuje się, że podczas impaktu Ries powstało ok. 10^5 – 10^{10} sztuk móldawitów (Shuvalov, 1999).

Proces redepozycji drobnego materiału poimpaktowego jest złożony i stosunkowo mało poznany, szczególnie jeśli chodzi o tektyty niewielkich rozmiarów (<1 g), których znaleziska nie są zazwyczaj dokumentowane w publikacjach. Niektórzy badacze (Lange, 1996; Trnka, Houzar, 2002), ze względu na kruchość tektytów, poddają w wątpliwość możliwość ich wodnego transportu na duże odległości. Eksperymentalnie wykazano, że maksymalny dystans redepozycji móldawitu mógł wynosić nie więcej niż kilkadziesiąt kilometrów (Brachaniec, 2018a, b).

Bazując na zróżnicowaniu wielkości zebranego materiału można przypuszczać, że polskie móldawity były transportowane sieciami mioceńskich rzek przedgórze sudeckiego płynącymi w kierunku Odry (ryc. 1; Badura, Przybylski, 2004; Szopa i in., 2017; Brachaniec, 2018a, b). Większe rozmiary znalezionych tektytów z całą pewnością wskazują na krótki transport, być może nawet na odległość zaledwie kilkuset metrów lub kilku kilometrów (?). Niemożliwe jest, by redeponowane szkliwo było ostrokrawędziste, dlatego też uważa się, że móldawity znalezione w rejonie Strzegomia, o masie tysięcznych części grama i wykazujące przełam muszlowy, są fragmentami tektytów podlegających abrazji fluwialnej. Wyjątkiem jest nowo opisany tektyt z Bielana (ryc. 2G), który nie uległ fragmentacji, tylko najprawdopodobniej krótkiej rzecznej abrazji, na co wskazuje jego stosunkowo duży rozmiar. Mając na uwadze niewielkie dystanse, jakie tektyty mogą przetrwać w środowisku rzeczonym, ich obszar alimentacyjny nadal nie jest do końca wyjaśniony. Obecnie jedynym prawdopodobnym wyjaśnieniem pochodzenia tych móldawitów wydają się być wnioski wysunięte przez Stöfflera i in. (2002), który na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdził, że móldawity mogły zostać wyrzucone z krateru Ries nawet na odległość ponad 500 km.

Interpretacja morfologii powierzchni tektytu często jest trudna. Począwszy od momentu jego formowania się aż do ostatecznego pogrzebienia mógł on być poddawany różnego rodzaju procesom niszczącym, takim jak dewitryfikacja czy chemiczne rozpuszczanie przez kwasy orga-

niczne występujące w osadzie (Scholze, 1977; Koeberl, 1986; Barnes, 1990; McCall, 2001; Trnka, Houzar, 2002; Langbroek, 2015). Również warunki klimatyczne, skład chemiczny czy też diagenetyzm mają znaczący wpływ na zmiany fizykochemiczne szkliwa impaktowego (Wosinski i in., 1967; Glass, 1984, 1986; Konta, 1988; French, 1998; Brachaniec i in., 2014b). Jest ono rezultatem stopienia i zmieszania się ze sobą skał podłoża po impakcie (Magna i in., 2011). Rodovská i in. (2016) oraz Skála i in. (2016) twierdzą, że zmiany składu chemicznego móldawitów jednoznacznie odzwierciedlają zmiany litologii osadów, z których powstały. Mając na uwadze fakt, że nie ma móldawitów o identycznym składzie, można przypuszczać, że stopione całe kompleksy skał osadowych sąsiadujących z kraterem Ries były lokalnie bardzo zróżnicowane.

WNIOSKI

Odkrycie prawie 30 móldawitów na terenie Polski niewątpliwie umożliwiło aktualizację obszaru dystrybucji tych tektytów na terenie Europy środkowej. Wszystkie móldawity znalezione w osadach formacji gozdnickiej, które są rezultatem sedymentacji rzecznej w późnym miocenie, wskazują, że transport przebiegał na przedpolu Sudetów w kierunku wschodnim (Brachaniec i in., 2014a, 2015, 2016; Szopa i in., 2017). Przypuszczenie to potwierdza także wielkość znajdujących obiektów. Największe pochodzą z rejonu Gozdnicy czy Lipnej (ryc. 2 i 3). Najmniejsze móldawity, opisane jak dotąd w Polsce, pochodzą z rejonu Jarosłowa. Energia rzek na całej potencjalnej drodze transportu była zróżnicowana, co ma odzworowanie w składzie ilościowym i jakościowym klastów rzecznych, a tym bardziej w stanie zachowania móldawitów.

Znalezisko z Lasowa (~25 km na SSW od Gozdnicy) genetycznie jest związane z osadami wieku plejstocenijskiego, tworzącymi tarasy Nysy Łużyckiej (Szopa i in., 2017). Są to dwa okazy, które wielkością i morfologią przypominają część okazów np. z Gozdnicy. Znaleziska te wskazują, że polskie móldawity są parautochtoniczne i pochodzą ze znanych już pól spadku – z terenu Niemiec lub też Czech (Szopa i in., 2017). Były one transportowane przez duże rzeki, które lokalnie mogły różnić się energią. Ponadto nie można wykluczyć, że transport odbywał się wieloetapowo.

Zagadkowe jest ostatnie znalezisko z Bielana, które przeczy poprzedniemu stwierdzeniu. Tektyt ten jest duży i dobrze zachowany, bez widocznych licznych utrażeń ani abrazji na powierzchni. Wielkością przypomina materiał znajdujący w rejonie Gozdnicy. Osady, w których został znaleziony, to piaski i żwiry formacji gozdnickiej, co jednoznacznie wskazuje, że musiał przebyć podobną drogę, co pozostałe, jednak wyjątkowy stan jego zachowania i wielkość nie zostały do tej pory wyjaśnione. Więcej znalezisk tego typu mogłoby wskazywać, że móldawity w Polsce mają dwojakie pochodzenie – pierwsze to niezaprzeczone pochodzenie parautochtoniczne ze znanych pól dystrybucji w Niemczech, a drugie autochtoniczne, związane ze spadkiem na terytorium Polski. Przy czym w hipotezie tej należałoby założyć spadek do osadów równoleżnikowych ze zdarzeniem Nördlinger Ries oraz możliwość erozji tych osadów na terenie Polski i redepozycję do młodszych osadów (w tym i do fm. gozdnickiej). W celu potwierdzenia tej teorii potrzebne są nowe znaleziska z jak najbardziej dystalnych części pola rozrzutu móldawitów w Polsce.

Od 7 lat są w Polsce znajdowane móldawity. Wszystkie ich okazy, poza dwoma pochodzącymi z Lasowa, odkryto w osadach formacji gozdnickiej (miocen). Wychodnie tej

formacji licznie występują w pasie ciągnącym się od rejonu Gozdniczy, Lubania, Bolesławca i Strzegomia aż po terytorium Oławy. Są to miejsca perspektywiczne pod względem dalszych poszukiwań i możliwości pozyskania materiału do badań. Warte sprawdzenia są także osady genetycznie związane z tarasami rzecznyymi Nysy Łużyckiej (plejstocen), ciągnące się w kierunku północnym, równoległe do granicy państwa, od rejonu Zgorzelca aż do miejscowości Forst (Lausitz).

Autorzy dziękują Wydziałowi Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach za umożliwienie przeprowadzenia badań oraz prof. Andrzejowi Muszyńskiemu (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu), a także prof. Tadeuszowi A. Przylibskiemu (Politechnika Wrocławska) za wnikliwą recenzję i cenne uwagi. Podziękowania należą się dr. Januszowi Badurze za uwagi dotyczące geologii badanego obszaru oraz Panu Kamilowi Rudzkiemu za udostępnienie do badań znalezionych przez niego moldawitów. Projekt sfinansowano w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr 2014/13/N/ST10/04921.

LITERATURA

- BADURA J., PRZYBYLSKI B. 2004 – Evolution of the Late Neogene and Eopleistocene fluvial system in the foreland of the Sudetes Mountains (southwest Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 74: 43–61.
- BADURA J., SZYMKIEWICZ A. 2011 – Stanowisko B2/2: Rusko (k. Jaroszowa. Odkrywka *Stanisław N.*). [W:] Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Ciężkowski W., Przewodnik do wycieczek LXXXI Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. *Pol. Tow. Geol.*, Wrocław: 46–53.
- BARNES V.E. 1990 – Tektite research 1936–1990. *Meteoritics*, 25: 149–159.
- BERAN A., KOEBERL C. 1997 – Water in tektites and impact glasses by fourier-transformed infrared spectrometry. *Meteoritics*, 32: 211–216.
- BRACHANIEC T. 2017 – The most distal moldavite findings from Lower Silesia, Poland. *Carnets de Geologie*, 17: 139–144.
- BRACHANIEC T. 2018a – An experimental model for the tektite fluvial transport based on the most distal Polish moldavite occurrences. *Meteoritics & Planetary Science*, 53: 505–513.
- BRACHANIEC T. 2018b – Variations in fluvial reworking of Polish moldavites induced by hydrogeological change. *Carnets de Geologie*, 18: 225–232.
- BRACHANIEC T., KARWOWSKI Ł., SZOPA K. 2013 – Pierwsze znalezisko polskich moldawitów. *Acta Soc. Meteor. Polon.*, 4: 37–38.
- BRACHANIEC T., SZOPA K., KARWOWSKI Ł. 2014a – Discovery of the most distal Ries tektites found in Lower Silesia, southwestern Poland. *Meteoritics & Planetary Science*, 49: 1315–1322.
- BRACHANIEC T., KARWOWSKI Ł., SZOPA K. 2014b – Spherules associated with the Cretaceous-Paleogene boundary in Poland. *Acta Geol. Pol.*, 64: 99–108.
- BRACHANIEC T., SZOPA K., KARWOWSKI Ł. 2015 – A new discovery of parautochthonous moldavites in southwestern Poland, Central Europe. *Meteoritics & Planetary Science*, 50: 1697–1702.
- BRACHANIEC T., SZOPA K., KARWOWSKI Ł. 2016 – New moldavites from SW Poland. *Acta Geol. Pol.*, 66: 99–105.
- BUCHNER E., SCHMIEDER M. 2009 – Multiple fluvial reworking of impact ejecta-A case study from the Ries crater, southern Germany. *Meteoritics & Planetary Science*, 44: 1051–1060.
- BUCHNER E., SEYFRIED H., VAN DEN BOGAARD P. 2003 – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe age determination confirms the Ries impact crater as the source of glass particles in Graupen sand sediments (Grimmelfingen Formation, North Alpine Foreland Basin). *Intern. J. Earth Sci.*, 92: 1–6.
- DYJOR S., KVACEK Z., LAŃCUCKA-SRODONIOWA M., PYSZYŃSKI W., SADOWSKA A., ZASTAWNIAK E. 1992 – The younger Tertiary deposits in the Gozdnicza region (WS Poland) in the light of recent palaeobotanical research. [W:] Zastawniak E., Polish Botanical Studies. Polish Academy of Science, Cracow.
- FRENCH B.M. 1998 – Traces of Catastrophe. A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures. Lunar and Planetary Institute, Boulevard.
- GLASS B.P. 1984 – Solution of naturally occurring glasses in the geological environments. *J. Non-Crystalline Solids*, 67: 265–286.
- GLASS B.P. 1986 – Solution of natural glasses in the geological environments. *Advance in Cer.*, 20: 723–732.
- HORN P., MÜLLER-SOHNUS D., KÖHLER H., GRAUP G. 1985 – Rb-Sr systematic of rocks related to the Ries Crater, Germany. *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 75: 384–392.
- HÜTTNER R., SCHMIDT-KALER H. 1999 – Erläuterungen zur geologischen Karte des Rieses 1:50000. *Geol. Bavarica*, 104: 7–76.
- KOEBERL C. 1986 – Geochemistry of tektites and impact glasses. *Ann. Rev. Earth and Planetary Sci.*, 14: 323–350.
- KOEBERL C., BRANDSTÄTTER F., NIEDEMMAZR G., KURAT G. 1988 – Moldavites from Austria. *Meteoritics*, 23: 325–332.
- KONTA J. 1988 – Variability in the sculpture of tektites revealed by scanning electron micrographs. Second International Conference on Natural Glasses: 231–259.
- LANGBROEK M. 2015 – Do tektites really date the bifaces from the Bose (Baise) Basin, Guangxi, southern China?. *J. Human Evolution*, 80: 175–178.
- LANGE J.-M. 1995 – Lausitzer Moldavite und ihre Fundschichten. *Schriftenreihe für Geowissenschaften* 3, Berlin.
- LANGE J.-M. 1996 – Tektite glasses from Lusatia (Lausitz), Germany. *Chemie der Erde*, 56: 498–510.
- 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: 2137–2158.
- MCCALL J. 2001 – Tektites in the Geological Record: Showers of Glass from the Sky. The Geological Society, London.
- ROCHOLL A., SCHALTEGGER U., GILG H.A., WIJBRANS J., BÖHME M. 2017 – The age of volcanic tuffs from the Upper Freshwater Molasse (North Alpine Foreland Basin) and their possible use for tephrostratigraphic correlations across Europe for the Middle Miocene. *Intern. J. Earth Sci.*, 107: 387–407.
- RODOVSKÁ Z., MAGNA T., ŽÁK K., SKÁLA R., BRACHANIEC T., VISSCHER C. 2016 – The fate of moderately volatile elements in impact events-Lithium connection between the Ries sediments and central European tektites. *Meteoritics & Planetary Science*, 51: 2403–2415.
- SCHMITZ B., HUSS G.R., MEIER M.M.M., PEUCKER-EHRENBRINK B., CHURCH R. P., CRONHOLM A., DAVIES M.B., HECK P.R., JOHANSEN A., KEIL K., KRISTIANSSON P., RAVIZZA G., TASSINARI M., TERFELT F. 2014 – A fossil winonaite-like meteorite in Ordovician limestone: A piece of the impactor that broke up the L-chondrite parent body? *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 400: 145–152.
- SCHOLZE H. 1977 – Glas – Natur – Struktur. Springer, Berlin.
- ŠEVČÍK J., KVACEK Z., MAI D.H. 2007 – A new mastixioid flora from tektite-bearing deposits in South Bohemia, Czech Republic (Middle Miocene, Vrábče Member). *Bull. Geosc.*, 82: 429–426.
- SHUVALOV V. 1999 – Multi-dimensional hydrodynamic code SOVA for interfacial flows: Application to the thermal layer effect. *Shock Waves*, 9: 381–390.
- SKÁLA R., ČADA M. 2003. Major element composition of three moldavites from Dřevnice, the Cheb Basin, Czech Republic. *Acta Scient. Natur. Musei Moraviae Occidentalis Třebíč*, 41: 11–17.
- SKÁLA R., JONÁŠOVÁ S., ŽÁK K., ĐURIŠOVÁ J., BRACHANIEC T., MAGNA T. 2016 – New constraints on the Polish moldavite finds: a separate sub-strewn field of the central European tektite field or re-deposited materials? *J. Geosciences*, 61: 171–191.
- STACHURSKA A., DYJOR S., KORDYSZ M., SADOWSKA A. 1971 – Paleobotanic characteristics of Late Tertiary sediments at Gozdnicza (Lower Silesia). *Ann. Soc. Géol. Pologne*, 41: 359–386.
- STANDKE G. 2006 – Paläogeographisch-fazielle Modellierung des Unter-/Mittelmiozän-Grenzbereichs in der Lausitz (Briesker Folge/Formation). *Schriftenreihe für Geowiss.*, 14: 1–130.
- STÖFFLER D., LANGENHORST F. 1994 – Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory. *Meteoritics*, 29: 155–181.
- 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: 1893–1907.
- SZOPA K. 2018 – Kolejne znaleziska moldawitów w Polsce. *Acta Soc. Meteor. Polon.*, 9: 123–125.
- SZOPA K., BADURA J., BRACHANIEC T., CHEW D., KARWOWSKI Ł. 2017 – Origin of parautochthonous Polish moldavites – a palaeogeographical and petrographical study. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 87: 1–12.
- SZYMKIEWICZ A. 2011 – Wiek utworów neogenu w Zachodniej części Dolnego Śląska. [W:] Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Ciężkowski W., Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska. WIND, Wrocław: 11–18.
- TRNKA M., HOUZAR S. 2002 – Moldavites: a review. *Bull. Czech Geol. Sur.*, 77: 283–302.20
- WOSINSKI J.F., BEALL G.H., MACDOWELL J.F. 1967 – Devitrification of Tektite Glass. *Nature*, 215: 839–841.
- ŽÁK K., SKÁLA R., ŘANDA Z., MIZERA J., HEISSIG K., ACKERMAN L., ĐURIŠOVÁ J., JONÁŠOVÁ Š., KAMENÍK J., MAGNA T. 2016 – Chemistry of Tertiary sediments in the surroundings of the Ries impact structure and moldavite formation revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 179: 287–311.

Praca wpłynęła do redakcji 11.03.2019 r.
Akceptowano do druku 25.06.2019 r.