

2019 m. gruodžio 20 d. LAURYNAS ŠILIAUSKAS Gamtos tyrimų centre (GTC) apgynė geologijos mokslo krypties disertaciją „Proterozojaus magminių uolienų kompleksų Pietų Lietuvoje sąsaja su Varėnos geležies rūdos telkiniu“ (“Evolution of the Proterozoic magmatic complexes in southern Lithuania: implications for the formation of the Varėna Iron Ore deposit”). Mokslinė vadovė dr. Gražina Skridlaitė.

Laurynas Šiliauskas, Gamtos tyrimų centras



PROTEROZOJAUS MAGMINIŲ IR METAMORFINIŲ ĮVYKIŲ PIETŲ LIETUVOJE SĄSAJA SU VARĖNOS GELEŽIES RŪDOS TELKINIU

Anotacija

Šiliauskas L. Proterozojaus magminių ir metamorfinių įvykių Pietų Lietuvoje sąsaja su Varėnos geležies rūdos telkiniu // *Geologijos akiračiai*. ISSN 1392-0006. 2021, nr. 1–2, p. 36–46.

Varėnos geležies rūdos telkinį supančiose uolienose buvo atlikti cheminiai bei izotopiniai tyrimai, monacitų datavimas bei įvertinti slėgio ir temperatūros (PT) (angl. *pressure, temperature*) parametrai. Telkinį supančios uolienos yra rūgštūs metavulkanitai, susidarę ties 1,83 mlrd. m. (Ga) (lot. *giga annum*; trumpinys Ga vartojamas, kai norima pasakyti, kad kažkas įvyko nurodytu skaičiumi prieš milijardą metų) riba. Po pikinio metamorfizmo apytiksliai (lot. *circa*, ca.) 1,73 Ga (640 °C–0,7 gigapaskalių (GPa) uolienos buvo iškeltos ir patyrė terminį metamorfizmą (640 °C 0,35–0,45 GPa) ca. 1,5 Ga. Panašūs PT parametrai nustatyti ir Varėnos telkinyje ca. 1,79 Ga ir 1,5 Ga. Terminį metamorfizmą sukėlė 1,5 Ga granitinio lydalo įsiskverbimas, vienalaikis su anortozito-mangerito-čarnokito-granito (angl. *Anorthosite-Mangerite-Charnockite-Granite*, AMCG) komplekso susidarymu pietuose.

Annotation

Šiliauskas L. Evolution of the Proterozoic magmatic complexes in southern Lithuania: implications for the formation of the Varėna Iron Ore deposit // *Geologijos akiračiai*. ISSN 1392-0006. 2021, nr. 1–2, p. 36–46.

Zircon and monazite dating has been conducted in Varėna Iron Ore deposit (VIOD) and the surrounding rocks, along with geothermobarometric PT estimations and thermodynamic phase modeling. The VIOD surrounding rocks formed at approximate (in Lat. *Circa*, ca.) 1.83 Ga. After the peak metamorphic conditions at 620 °C and 0.7 GPa at ca. 1.73 Ga, rocks experienced decompression, followed by a ca. 1.5 Ga thermal metamorphism up to 640 °C at 0.35–0.45 GPa. Similar PT constrains can be implied to VIOD at ca. 1.79 Ga and 1.5 Ga, suggesting that they have been metamorphosed simultaneously with the surrounding rocks. The local reheating during granitic melt emplacement at ca. 1.5 Ga is simultaneous with the AMCG suite formation to the south.

Raktiniai žodžiai: Varėnos geležies rūdos telkinys, slėgis ir temperatūra (PT), cirkonų datavimai, Rytų Europos kratonas.

Keywords: Varėna Iron Ore deposit (VIOD), pressure and temperature (PT), Zircon dating, East European Craton.

Received 26 October 2020, accepted 26 February 2021

Laurynas Šiliauskas. Gamtos tyrimų centras. Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, Lithuania, e-mail: laurynas.siliauskas@gamtc.lt

IVADAS

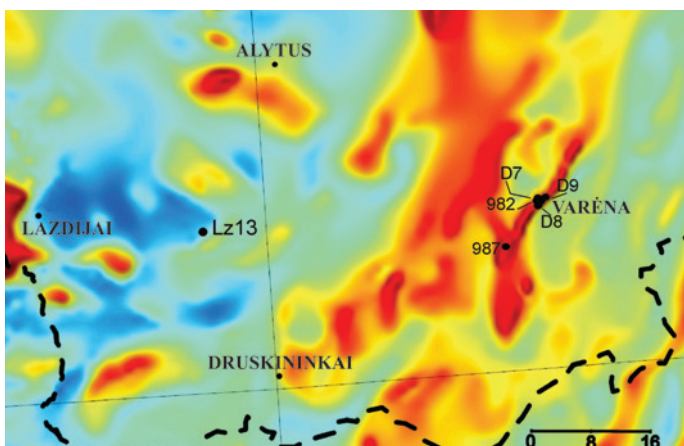
Varėnos geležies rūdos telkinys, taikant geofizinius metodus, aptiktas praėjusio amžiaus antrojoje pusėje, o vėliau buvo patikrintas ir gręžiniais (1 pav.). Rūdosių išteklių skaičiavimai parodė, kad telkinyje gali būti 1,8 mln. t geležies rūdos (Marfin, 1988). 1990–1992 m. detalesnių tyrimų metu rūdos kiekis telkinyje, vertinant skirtingais metodais, išaugo iki 71–219,6 mln. t (Marfin, 1996, 1998). 1993 m. telkinio susidarymui paaiškinti pasitelktas metasomatinis skarnų modelis (Skridlaitė, 1993 a, b). Telkinį supančios uolienos yra paveiktos seritizacijos, kalio feldšpatizacijos, jose susidaro mineralų, pvz., turmalino. Tai rodo, kad jos buvo paveiktos hidroterminių tirpalų, o šis reiškinys dažnai pasireiškia prieš uolienų skarnavimą. Pavyzdžiu gali būti Lz-13 gręžinio uolienos, susiformavusios į vakarus nuo Varėnos telkinio, kurių tyrimai suteikia naudingos informacijos apie geležies rūdos susidarymo sąlygas. Jo kerną sudaro sluoksniuota metavulkaninių (rūgščios ir vidutinės sudėties) uolienų storumė, persiluoksniavusi su karbonatinėmis uolienomis, pakeistomis į kalcifyrus. Šios uolienos gali būti suklostytos tame pačiame nuosėdiniame baseine, kaip ir Varėnos telkinio karbonatinės uolienos. Varėnos telkinyje ir aplink jį dažnai randamos granitų gyslos, parodančios granitų, kurie iki šiol nebuvo tyrinėti, svarbą susidarant telkiniui.

Šiuo darbu siekta nustatyti Varėnos telkinį supančių uolienų ir jį kertančių granitoidų kilmę ir jų susidarymo sąlygas (1 pav.).

REGIONO GEOLOGINĖ RAIDA

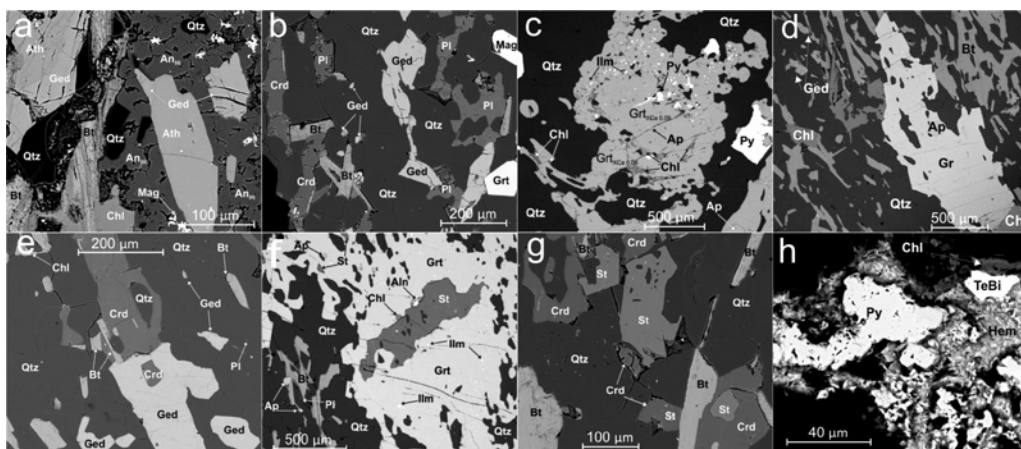
Remiantis izotopiniais uolienų amžiaus duomenimis, metamorfizmo parametrais bei Lietuvos ir kaimyninių šalių geofiziniais žemėlapiais, atlikta kristalinio pamato rekonstrukcija. Lietuvos kristalinis pamatas sudarytas iš trijų pagrindinių tektoninių sričių: Latvijos–Rytų Lietuvos (LRL) – 1,87–1,89 Ga, Vidurio Lietuvos (VLS) – 1,86–1,84 Ga ir Vakarų Lietuvos granulitų (VLG) – 1,83–1,76 Ga (Bogdanova et al., 2015).

Latvijos–Rytų Lietuvos (LRL) tektoninėje srityje randama įvairių metamorfituotų magminių bei nuosėdinių uolienų, čia plyti ir tiriamasis Varėnos geležies rūdos telkinys. Keliose LRL vietose buvo nustatytas magminių uolienų amžius: Staicelės-1 gręžinyje (Latvijoje) jis siekia 1,87 Ga (Mansfeld, 2001), o Lz-8 gręžinyje (Pietų Lietuvoje) – 1,89 Ga (Bogdanova et al., 2015). Metamorfituotų magminių uolienų, slūgsančių apatinėje Varėnos rūdos telkinio dalyje, amžius panašus: D-8 ir D-9 gręžiniuose – 1,89 Ga, uolienų, esančių į pietvakarius nuo telkinio: Lz-27 – 1,87 Ga ir Lz-13 gręžinyje – 1,89 Ga (Šiliauskas et al., 2018 a, b). Neseniai paskelbti magminių uolienų datavimo duomenys Šiaurės Lenkijoje (1,88 Ga) parodo galimą šios srities tęsinį pietų kryptimi (Krzeminska



1 pav. Pietų Lietuvos magnetinio lauko anomalijų žemėlapis (Krolikowski et al., 1999; Skridlaitė et al., 2016). Raudona spalva – didžiausias magnetinio lauko intensyvumas, mėlyna – mažiausias. Tirtų gręžinių vieta pažymėta juodais taškais

Fig. 1. Magnetic field anomaly map of the southern Lithuania (result of Polish–Lithuanian cooperation of gravimetric and magnetic data compilation after Krolikowski et al., 1999; Skridlaitė et al., 2016). Black dots mark locations of drillings investigated in this study

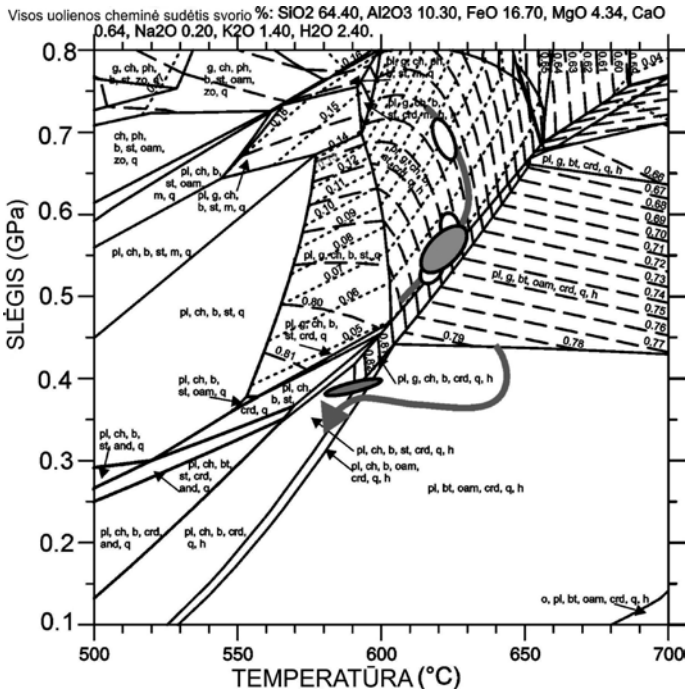


2 pav. Tiro Lz-13 gręžinio uolienu išsklaidytų elektronų (angl. *back-scattered electron*, BSE) vaizdai: a) Ged, keičiantis Ath, apsuptas daug Ca turinčių Pl (Lz-13 / 512); b) 521,8 m gylyje Crd su Grt randamas tik domenuose, kuriuose nėra ortorombinio amfibolo; c) Grt centrai, turintys daugiau Ca, atskirti nuo apvado Ilm, Py ir Qtz intarpais (Lz-13 / 521,8); d) viena laikis Grt ir Chl augimas mėginyje Lz-13 / 521,8; e) Ged formavimasis iš Crd. Šalia amfibolo randami smulkūs Pl intarpai. Crd apsupa Bt grūdėlius, išlaikydamas pirminę jų orientaciją; f) skeletinio Grt formavimasis iš St, Grt aptinkami St, Ilm, Chl, Qtz ir Aln intarpai (Lz-13 / 540); g) Lz-13 / 540 mėginyje randamas iš dalies suekvotas St, Crd bei naujai besiformuojantis St, pusiauvyroje su Crd; h) deformuotos ir iš dalies oksiduotos Py gyslos fragmentas, kuriame randama TeBi (Lz-13 / 512). Mineralų trumpiniai: Aln – alanas; And – andalusitas; An – anortitas; Ap – apatitas; Ath – antofilitas; Bt – biotitas; Ca – kalcis; Cal – kalcitas; Chl – chloritas; Crd – kordieritas; H – vanduo; Hem – hematitas; Idd – iddingsitas; Ilm – ilmenitas; Ged – žedritas; Grt – granatas; Ky – kianitas; Mag – magnetitas; M – margaritas; O – olivinas; Oam – ortorombinis amfibolas; Qtz – kvarcas; Py – piritas; Phl – flogopitas; Ph – fengitas; Pl – plagioklasas; Py – piritas; Sill – sillimanitas; Sp – špinelė; Srp – serpentiną; St – staurolitas; TeBi – telurobismutitas; Zo – zoizitas

Fig. 2. BSE images of the Lz-13 rocks: a) Ged and Ath in sample Lz-13 / 512 are often surrounded by Ca rich Pl; b) in sample Lz-13 / 521.8 Cdr and Grt together can be found only in domains with no orthorhombic amphibole; c) Ca rich Grt cores (sample Lz-13 / 521.8), surrounded by Ilm, Py and Qtz inclusion trails. The rim has abundant Chl inclusions; d) simultaneous Grt and Chl growth in sample Lz-13 / 521.8; e) Ged formation at the expense of Crd. Small Pl inclusions are found in Qtz next to the orthorhombic amphibole. Cdr engulfed Bt grains, preserving their primary orientation; f) skeletal Grt growth in sample Lz-13 / 540, at the expense of St. Grt hosts inclusions of St, Ilm, Chl, Qtz and Aln; g) in the lower right, partly consumed St trapped in Cdr (sample Lz-13/540). New St, in equilibrium with Cdr growth in matrix; h) fragment of deformed and partly oxidised Py veinlets hosting TeBi (sample Lz-13 / 512). Mineral abbreviations are as follows: Aln – allanite; And – andalusite; An – anorthite; Ap – apatite; Ath – anthophyllite; Bt – biotite; Cal – calcite; Chl – chlorite; Crd – cordierite; Di – diopside; Idd – iddingsite; Ged – gedrite; Grt – garnet; H – water; Hem – hematite; Ilm – ilmenite; Ky – kyanite; Mag – magnetite; M – margarite; Oam – orthoamphibole; O – olivine; Ph – phengite; Phl – phlogopite; Pl – plagioclase; Py – pyrite; Qtz – quartz; Sill – sillimanite; Sp – spinel; Srp – serpentine; St – staurolite; TeBi – tellurobismuthite; Tr – tremolite; Zo – zoisite

et al., 2019). Apie LRL uolienu metamorfizma duomenų mažai. Nustatytos 700 °C ir 0,6 GPa metamorfizmo sąlygos (Bogdanova et al., 2006), o 40Ar / 39Ar (argono izotopų santykis) metodo taikymas amfiboluose parodė du uolienu etapus – ca. 1,66 Ga (Bogdanova et al., 2001) ir 1,55–1,45 Ga (Bogdanova et al., 2001; Skridlaitė et al., 2006), kurie galėjo vykti kaip atsakas į Fenoskandijos ir Sarmatijos kontinentų suaugimą bei Mazūrų komplekso magmos įsiskverbimą pietuose (Bogdanova et al., 2001).

Iš vakarų prie LRL prisišliėjusi Vidurio Lietuvos (VLS) tektoninė sritis sudaryta iš įvairių intruzinių magminių bei vulkaninių uolienu (Bogdanova et al., 2015), kurių vyraujantis amžius svyruoja nuo 1,86 iki 1,84 Ga (Bogdanova et al., 2015; Motuza, 2005; Motuza et al., 2008; Skridlaitė et al., 2011, 2014). Panašaus amžiaus uolienu aptinkama ir šiaurinėje Lenkijoje (Krzeminska et al., 2019) bei Gotlando saloje (Salin et al., 2019). VLS keletą kartų patyrė aukštos temperatūros metamorfizmą – ca. 1,80 Ga (G1-99) (Skridlaitė et



3 pav. Mėginio Lz-13 / 521,8 stabilių fazių diagrama CNKFMASH sistemoje bei granato izopletos. Pilkos elipsės rodo termobarometrijos rezultatus, o baltos atitinka granatų cheminę sudėtį, nustatytą šliffe. Taškinė linija parodo grosuliario, o punktyrinė – almandino kiekį granate. Mineralų trumpiniai – žr. 2 pav. Fig. 3. Sample Lz-13 / 521.8 pseudo-section for CNKFMASH system and garnet composition isopleths. Thermobarometry results are shown by grey ellipses, while white ellipses represent garnet compositions as measured in the thin section. The grossularite and almandine contents are shown by dotted and dashed lines, respectively. Mineral abbreviations – see Fig. 2

al., 2014), 1, 82 Ga ir 1, 72 Ma (Gr-7) (Skridlaitė et al., 2014).

Vakarų Lietuvos granulitų (VLG) tektoninė sritis sudaryta iš metamorfizuotų nuosėdinių ir vulkaninių uolienų, į kurias įsiskverbė vēlesnis magminis lydalas. Magminės uolienos čia jaunesnės nei 1,83 Ga (Claesson, 1996; Skridlaitė et al., 2014). Panašaus amžiaus uolienų aptinkama Mazovijoje, Lenkijoje (Krzeminska et al., 2005, 2007; Wisniewska et al., 2007). VLG nustatyti keturi aukštos temperatūros metamorfizmo etapai: ca. 1,81–1,79; 1,73–1,68; 1,62–1,58 ir 1,52–1,50 Ga (Skridlaitė et al., 2014).

Į Pietų Lietuvos ir Šiaurės Lenkijos sritis ca. 1,56–1,48 Ga (Dörr et al., 2002; Morgan et al., 2000; Ruskowski et al., 2018; Skridlaitė et al., 2003; 2008; Sundblad et al., 1994) įsiskverbė Mazūrų masyvo magma. Į vakarus nuo jo aptinkama panašių, bet kiek jaunesnių uolienų, į plūtą įsiskverbusių ca. 1,47–1,45 Ga (Motuza et al., 2006; Skridlaitė et al., 2007). Magmos įsiterpimas į plūtą sukėlė supančių uolienų deformacijas ir metamorfizmą (Bogdanova et al., 2001; Skridlaitė

et al., 2006, 2008, 2014). Manoma, kad šie įvykiai gali būti susiję su naujos plutos formavimusi toliau į vakarus (Bogdanova et al., 2008; Brander et al., 2012; Brander, Söderlund, 2007).

TYRIMŲ METODAI

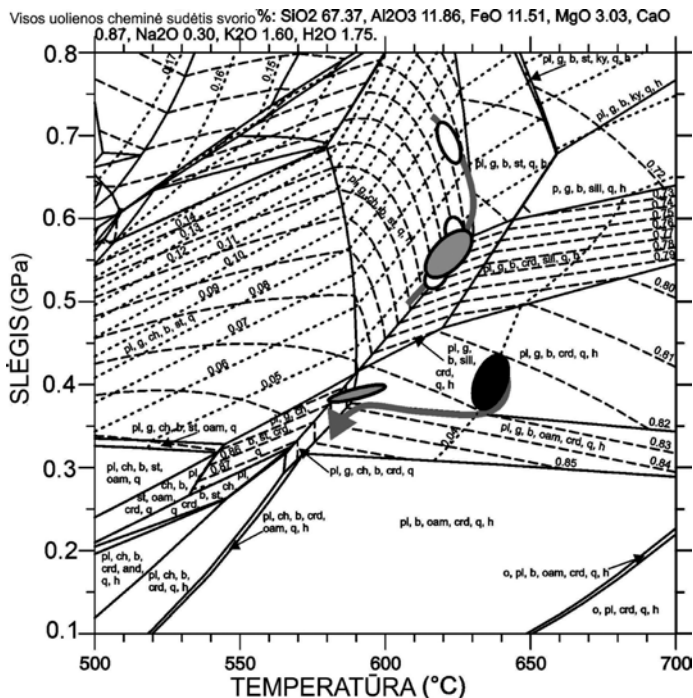
GTC laboratorijoje Vilniuje buvo analizuoti Lz-13 gręžinio uolienų šlifai petrologiniu (Nicon-50-iPolan) bei skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM FEI Quanta-250). Mineralų cheminė sudėtis nustatyta naudojant energijos dispersijos spektrometrą (EDS) (SDD, X-Max (20 mm²)). Analizės metu srovės stipris buvo 1,1–1,2 nA, o greitinanti įtampa – 10–20 kV. Tirtų uolienų cheminė sudėtis nustatyta naudojant induktyviai susietos plazmos atominės emisijos spektrometrą (ICP-AES) ir induktyviai susietos plazmos masės spektrometrą (IC-PMS). Dalis mėginių tirti ACME Analytical Laboratories laboratorijoje Kanadoje, likę – Liuleo (Luleå) technikos universiteto laboratorijoje Švedijoje. Lietuvos geologijos tarnybos (LGT)

laboratorijoje buvo nustatytos Lz-13 gręžinio mėginių pagrindinių elementų koncentracijos, taikant šlapios chemijos metodus. Taip pat įvertintos šio gręžinio uolienu PT (mėginiai Lz-13 / 521,8 ir Lz-13 / 540), buvusios metamorfizmo metu. Uolienu tyrimui taikytas *plagioklazo-biotito-granato geo-termobarometras* (Holdaway, 2000) ir *granato-chlorito termometras* (Grambling, 1990). Sudarant minėtų mėginių fazių stabilumo diagramas buvo naudojama *Theriak Domino* kompiuterinė programa (de Capitani, Brown, 1987; de Capitani, Petrakakis, 2010) ir *Thermocalc* duomenų bazė (Powell et al., 1998), atnaujinta 2004-ųjų lapkričio mėn. (ds55) (Holland et al., 1998). Modeliavimui taikyti aktyvumo–koncentracijos (a–x) modeliai (Šiliauskas et al., 2018).

Varšuvos universiteto laboratorijoje elektroniniu mikrozondų (EPMA) (*Cameca SX100*) atlikta monacitų cheminė analizė. Jos metu naudotas 60 nA srovės stipris ir 20 kV greitinančioji įtampa. Nustatytos cheminių elementų koncentracijos, matuojant šias linijas: Ka liniją – P, La, Ca, S, Si; La liniją – Ce, Er, Yb,

Y; Lβ liniją – Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy ir Ho; Ma liniją – Pb ir U; Mβ liniją – Th.

Siekiant nustatyti uolienu amžių, GTC laboratorijoje iš granitoidų mėginių (D-9-1083 ir V-987-387) rankiniu būdu atrinkti cirkonai. Šie mėginiai bei Lz-13 / 521,8 metavulkanito cirkonai, naudojant didelės raiškos antrinių jonų masės spektrometrą (SIMS) (*Cameca ims1280*), buvo analizuojami Gamtos ir istorijos muziejaus laboratorijoje *NORDSIM Laboratory* Švedijoje (Whitehouse et al., 1999; Whitehouse, Kamber, 2005). U / Pb santykiui kalibruoti naudotas 1 065 Ma (lot. *mega annum*; trumpinys Ma vartojamas, kai norima pasakyti, kad kažkas įvyko nurodytu skaičiumi prieš milijoną metų) cirkonas (Geostandarts 91500 – Wiedenbeck et al., 1995). Duomenims apdoroti pasitelkta šioje laboratorijoje sukurta programinė įranga. Jeigu švino izotopo ^{204}Pb kiekis viršijo vidutinę fono reikšmę trigubai, buvo daroma prielaida, kad paviršius užterštas poliravimo stadijoje. Tokiais atvejais taikyta šiuolaikinio ^{204}Pb izotopo kiekio korekcija (Stacey, Kramers, 1975). Tollesnis duomenų apdorojimas



4 pav. Mėginio Lz-13 / 521,8 stabilių fazių diagrama CNKFMASH sistemoje bei granato izopletos. Juoda elipsė parodo granato cheminę sudėtį, nustatytą Lz-13 / 540 mėginio šlifu, o baltos ir pilkos atitinka Lz-13 / 521,8 mėginio duomenis. Mineralų trumpiniai – žr. 2 pav.

Fig. 4. Sample Lz-13 / 540 pseudosection for CNKFMASH system and garnet composition isopleths. Black ellipse represents garnet composition as measured in the thin section, while grey and white ellipses are those obtained in sample Lz-13 / 521.8. Mineral abbreviations used are as used in Fig. 5. The grossular and almandine content is presented by dotted and dashed lines, respectively. Mineral abbreviations – see Fig. 2

atliktas naudojant ISOPLOT 3,75 programą (Ludwig, 2012), o rezultatai pateikiami esant 95 % patikimumui.

TIRTOS UOLIENOS

Varėnos telkinį supančių uolienu tyrimai atlikti siekiant išsiaiškinti jų kilmę. Pasirinktas Lz-13 gręžinys, kuriame aptinkama metamorfizmą patyrusių rūgščių vulkaninių uolienu (485,5–540,8 m). Jo metu uolienose susidarė granatai, leidžiantys įvertinti metamorfizmo parametrus (PT) (1 pav.). Prieš metamorfizmą uolienos patyrė hidroterminį pakeitimą, kurio metu pirminė uolienu cheminė sudėtis pakito nevienodai. Tai atsispindi ir metamorfinių mineralų paragenezėse: viršutinėje intervalo dalyje (Lz-13 / 512 / 521,8) uoliena sudaryta iš granato, žedrito, antofilito, biotito, kvarco, plagioklazo, chlorito ir kordierito (2 a–e pav.), o apatinėje dalyje amfibolų nėra (Lz-13 / 540) (2 f, g pav.). Taip pat hidroterminio pakeitimo metu uolienoje susidarė sulfidinės gyslūtės, kuriose vietomis randama telūro bismutito (Bi_2Te_3) (2 h pav.).

Varėnos telkinį kertančios granitų gyslos tyrimai atlikti siekiant įvertinti granitinio magmatizmo amžių. Pasirinkti mėginiai iš D-9 ir V-987 gręžinių.

Gręžinio D-9 apatinėje dalyje albitinis leukogranitas (D-9 / 1083) įsiskverbė į granodioritą ca. 1,89 Ga (Šiliauskas et al., 2018). Kontaktai tarp uolienu staigūs. Granitas sudarytas iš albito, kvarco bei nedidelio kiekio kalio feldšpato ir chlorito. Kvarcas pasiskirsto daugiausia aplink kiek stambesnius plagioklazo grūdelius. Chlorito randama kartu su kalio feldšpatais, pastebimi smulkūs titanito intarpai. Tai rodo, kad jis susidarė vėliau iš biotito. Taip pat rasti keli biotito grūdeliai, apsupti kvarco. Akcesoriniai mineralai yra titanitas, cirkonas, apatitas ir toritas. Stambesniuose titanito grūdeliuose randami torito, alanito, kalcito ir itrio-kolumbito-(Y) intarpai.

Gręžinio V-987 viršutinėje dalyje sieninis granitas kerta granato-klinopiroksenno-amfibolo metasomatitus. Kontaktas su

talpinančiomis uolienomis staigus. Granitas vietomis yra stambiai grūdėtas, pegmatitinis. Mėginys (V-987 / 387) paimtas iš smulkiai grūdėto intervalo, kurį sudaro kalio feldšpatas, kvarcas, plagioklazar ir mafiniai mineralai (Ca-amfibolas, klinopiroksenas ir rūdiniai mineralai, sudarantys mažiau kaip 3 % uolienos tūrio). Grūdelių dydis vienodas, jie sudaro poligoninę struktūrą. Manoma, jog klinopiroksenas yra įtrauktas iš supančių uolienu, o amfibolo kilmė gali būti magminė. Akcesoriniai mineralai yra titanitas, cirkonas, apatitas, epidotas.

REZULTATAI

Varėnos telkinį supančios uolienos tirpame Lz-13 gręžinyje (485,5–540,8 m intervale) pasižymi itin žemomis kalio, natrio, kalcio koncentracijomis bei mažais lengvųjų retųjų žemių (RŽ) elementų (La-Sm) kiekiais. Tai parodo šių elementų išnešimą hidroterminio pakeitimo metu dar prieš metamorfizmą. Dėl skirtingo uolienu pakeitimo metamorfizmo metu jos persikristalizavo į antofilito-žedrito-kordierito-granato uolienas viršutinėje intervalo dalyje bei kordierito-biotito-granato-chlorito – apatinėje. Nejudrių cheminių elementų Th / Yb ir Ta / Yb santykiai (Gorton, Shandl, 2000; Pearce, 1983) parodo, kad uolienos susidarė subdukcijos ruože, salų lankų tektoninėje padėtyje.

Naudojant klasikinius metodus bei termodinaminį modeliavimą (1 lentelė) atliktas metamorfizmo parametrų įvertinimas, kuris parodė, kad uolienos buvo nugramzdintos į 25 km gylį (0,7 GPa slėgis), kur temperatūra siekė 630 °C (3 pav.). Po to jos buvo iškeltos ir 15 km gylyje pakaitintos iki 630–640 °C ca. 0,35–0,45 GPa (4 pav.). Šis etapas nustatytas Lz-13 / 540 mėginio skeletiniuose granatuose. Uolienoje buvo aptikta smulkių prizmiškų cirkonų be oscilatorinio zoniškumo, įvertinus jų amžių nustatyta, kad uolienos susidarė ca. 1 831±14 Ma bei buvo metamorfizuotos ca. 1 730±5 Ma. Monacitų (lengvųjų RŽ fosfatas) amžius yra gerokai jaunesnis – 1 473±30 Ma. Jie parodo vėlesnio metamorfizmo etapo amžių.

Varėnos telkinį kertančios granitų gyslos tyrimai parodė, kad joms (D-9 / 1083 ir V-987 / 387) būdinga žemos temperatūros kalio feldšpato, albito ir kvarco paragenezė. Šios uolienos yra metaliumingos, jose yra šarminių elementų, maži geležies, magnio ir titano kiekiai. Tirti granitoidai yra A tipo, susidarę tektoninėmis plokštės vidurio sąlygomis (angl. *within-plate granite*) (Pearce et al., 1984). Uolienose yra nedarnųjų elementų, o darnųjų atžvilgiu turi neigiamas stroncio, fosforo ir titano anomalijas. Lengvųjų RŽ elementų kiekiai maži, D-9 granitas labiau frakcionuotas (LaN / YbN santykis 5,56 (D-9 / 1083) ir 1,61 (V-987 / 387)). Albitinio leukogranito (D-9 / 1083) cirkonai yra taisyklingi ir prizmiški. Katodoluminescencinėje (CL) šviesoje grūdėliai labai tamsūs, vietomis matyti oscilatorinis zoniškumas (5 pav.). Dauguma analizių diskordiškos, aštuonių – konkordijos amžius siekia $1\,497 \pm 7$ Ma (6 a pav.). Šių analizių $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ amžius labai artimas, siekia $1\,495 \pm 6$ Ma (6 b pav.) ir laikomas granitų susidarymo amžiumi. Sienitinio granito (V-987 / 387) cirkonai kiek smulkesni. Kaip ir ankstesniame mėginyje, CL šviesoje grūdėliai tamsūs, oscilatorinio zoniškumo nėra išlikę. Didžioji dalis analizių itin diskordiškos ir tik dvi išsidėsto netoli konkordijos kreivės. Jų $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ amžius siekia $1\,507 \pm 12$ Ma ir $1\,484 \pm 4$ Ma. Aštuonios analizės buvo panaudotos skaičiuojant diskordijos amžių (6 c pav.). Diskordija kerta konkordiją ca. $1\,512 \pm 13$ Ma ir 541 ± 21 Ma. Apatinės susikirtimo vertės geologinė prasmė nėra aiški, o viršutinė artima mažai diskordiškų grūdėlių $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ amžiui ir parodo granitų susidarymo laiką.

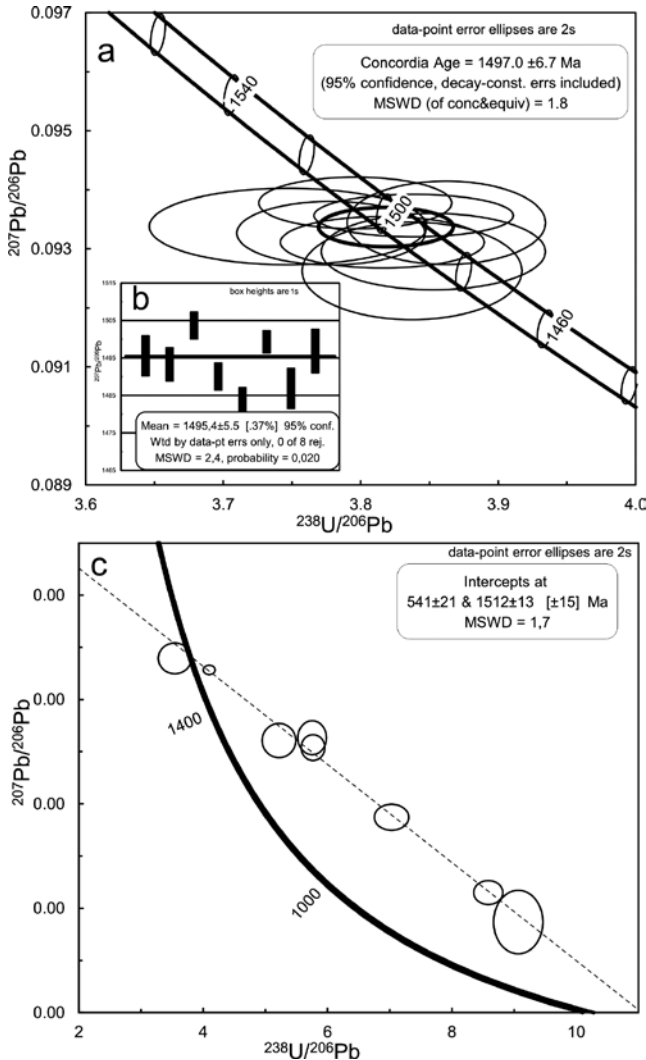
DISKUSIJA

Varėnos telkinį supančių uolienuų cirkonų datavimas Lz-13 gręžinio mėginyuose atskleidė, kad jos susidarė ca. $1\,831 \pm 14$ Ma. Neigiama niobio (Nb) anomalija bei nejudrių elementų santykiai rodo, kad vulkaninės uolienos susiformavo subdukcijos ruože. Hidroterminio pakitimo metu vulkaninis stiklas ir pirminiai magminiai minera-

lai, tokie kaip plagioklazas, buvo keičiami žematemperatūriais mineralais, tokiais kaip chloritas (Peck, Smith, 2005), taip iš uolienos pašalinant šarminius elementus. Tokių procesų metu akumuliuojantys lengvųjų RŽ mineralai pasidaro nestabilūs ir šie elementai iš uolienos yra išnešami (Hikov, 2013). Hidroterminis vulkaninių uolienuų pakitimas paaiškina nebūdingą uolienuų cheminę sudėtį. Po vulkanizmo uolienos buvo nugramzdintos į 25 km gylį (granato centrų izopletas; 0,7 GPa) (3 pav.), kur pasiekta 630 °C temperatūra. Šis metamorfizmo etapas vyko ca. 1,73 Ga (cirkonų amžius). Pagal granatų apvadėlius, kai apskaičiuotas 0,5–0,6 GPa slėgis ir 640 °C temperatūra, nustatyta, kad uolienos buvo iškeltos ir atsidūrė 15 km gylyje. Galiausiai uolienos patyrė pakaitinimą, fiksuojamą tik Lz-13/540 mėginyje. Pakaitinimas vyko 0,35–0,45 GPa slėgyje 630–640 °C temperatūroje (pagal granato izopletas) (4 pav.). Greta jų rasti smulkūs, torio papildyti ir mažai sunkiųjų RŽ elementų turintys $1\,473 \pm 30$ Ma monacitai, augę tuo pat metu kaip granatas (Williams et al., 2007). Pagrindiniuose silikatinuose mineraluose yra pakankamas RŽ elementų kiekis monacitui stabilizuoti, o granatas sukaupia sunkiąsias RŽ (Kohn, Malloy, 2003).

Varėnos telkinį kertančių granitų prizminė cirkonų forma bei oscilatorinio zoniškumo liekanos rodo magminę datuotų cirkonų kilmę (Connelly, 2000; Hoskin, 2000). Tamsus cirkonų CL signalas, pakitimai bei intarpai (5 pav.) atskleidžia, jog cirkonai yra iš dalies metamiktiniai ir patyrė kietos stadijos perkristalizavimą (angl. *solid state recrystallization*) (Geisler et al., 2007). Šių procesų metu metamiktizuotose grūdėlio dalyse padidėja švino judrumas (Cherniak, 2010; Cherniak, Watson, 2000), dėl to vyksta švino praradimas ir gaunami duomenys yra diskordiški (6 c pav.).

Geochemiškai bei pagal nustatytą kristalizacijos amžių tirti granitoidai yra panašūs į pietuose esančio ca. 1,5 Ga Mazūrų kompleksu uolienas (Dörr et al., 2002; Morgan et al., 2000; Ruszkovski et al., 2018; Skridlaitė et al., 2003, 2008; Sundblad et al., 1994). Šis įvykis



5 pav. Datuotų D-9 / 1083 granito cirkonų katodoliuminescencinės (CL) nuotraukos kairėje, o BSE – dešinėje: a)–e) cirkonai su išlikusiu osciliatoriniu zoniškumu; f)–h) cirkonai be osciliatorinio zoniškumo
 Fig. 5. CL (left) and BSE (right) images of zircons from sample D-9 / 1083: a)–e) zircons with preserved oscillatory zoning; f)–h) zircons with no oscillatory zoning

6 pav. Cirkonų datavimo rezultatai D-9 / 1083 (a–b) ir V-987 / 387 (c) mėginuose: a) Tera-Wasserburg diagrama nustatytas konkordiškas amžius siekia 1497 ± 7 Ma (MSWD 1,8); b) $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ amžiaus svertinis vidurkis iš to paties mėginio yra 1495 ± 6 Ma (MSWD 2,4); c) Tera-Wasserburg diagrama gauta regresijos linija (mėginys V-987-387) susikerta su Konkordijos kreive ca. 1512 ± 13 Ma (MSWD 2,0) ir 541 ± 21 Ma
 Fig. 6. Zircon dating results of samples D-9-1083 (a–b) and V-987-387 (c): a) Tera-Wasserburg diagram of sample D-9-1083 showing a concordant age of 1497 ± 7 Ma (MSWD 1.8); b) $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ average age of the same sample yielded 1495 ± 6 Ma (MSWD 2.4); c) Tera-Wasserburg diagram of sample V-987-387 intercepting the Concordia at 1512 ± 13 Ma (MSWD 2.0) and 541 ± 21 Ma

fiksuojamas taip pat ir metamorfiniuose monacituose – tiek Varėnos telkinyje (Skridlaite et al., 2019), tiek už jo ribų. Granitinio lydalo įsiskverbimas į viršutinę plūtą ca. 1,5 Ga galėjo sukelti talpinančių uolienuų metamorfizmą, dalinį rūdos perkristalizavimą, geležies mobilizavimą bei magnetito cheminės sudėties pakitimus (Skridlaite et al., 2019).

Regiono evoliucija. Tirtų Lz-13 gręžinio vulkaninių uolienuų amžius siekia 1,83 Ga. Varėnos telkinio metavulkaninių uolienuų cirkono amžius labai artimas – 1843 ± 6 Ma (Šiliauskas, 2019). Panašaus amžiaus uolie-

nos formavosi Vakarų Lietuvoje ir Šiaurės Lenkijoje (Claesson, 1996; Krzeminska et al., 2005, 2007; Wiszniewska et al., 2007). Šalia Lz-13 gręžinio uolienuų amžius senesnis: ca. 1,86–1,84 Ga bei 1,89–1,87 Ga. 1,89–1,87 Ga uolienos priskiriamos Rytų Lietuvos sričiai (Bogdanova et al., 2015; Mansfeld, 2001; Šiliauskas et al., 2018). Jaunesnė uolienuų grupė priskiriama Vidurio Lietuvos juostai (Bogdanova et al., 2015). Šios uolienos sudarė kontinento pakraštį, o Lz-13 gręžinio uolienuų geocheminės charakteristikos rodo, kad jos susiformavo po plona pluta iš

juvenilinio šaltinio (TDM 2,08 Ga, ϵNd (1,9 Ga) +1,8) (Mansfeld, 1995). Cirkonų datavimais nustatytas metamorfizmo amžius siekia 1,73 Ga. Varėnos telkinyje datuotų monacitų apytikslis amžius yra artimas šiam įvykiui, ca. 1,79 Ga (Skridlaitė et al., 2019).

Tirtame regione nustatytas kiek senesnių gabrų įsiskverbimo į plutą amžius, siekiantis 1,76 Ga (Skridlaitė et al., spaudoje), siejamas su Sarmatijos–Fenoskandijos kolizija, po kurios ca. 1,71–1,66 Ga vyko uolienų deformacija ir metamorfizmas (Bogdanova et al., 2001, 2015).

Po regioninio metamorfizmo ca. 1,79–1,73 Ga uolienos buvo iškeltos į gana seklių kelių kilometrų gylį. Apie 1,5 Ga tiek Varėnos telkinį sudarančios uolienos, tiek uolienos šalia jo patyrė pakaitinimą iki 640 °C, fiksuotą monacitų datavimais. Nustačius Varėnos telkinį kertančių granitų gyslų amžių paaiškėjo, jog jos susidarė tuo pat metu. Kiek į pietus nuo tiriamos teritorijos slūgso AMCG Mazūrų masyvas, susidaręs 1,48–1,56 Ga laikotarpiu (Dörr et al., 2002; Morgan et al., 2000; Skridlaitė et al., 2003, 2008; Sundblad et al., 1994). Tuo pat metu į vakarus nuo Mazūrų vyko naujos plutos susidarymas (Bogdanova et al., 2008; Brander et al., 2012; Brander, Söderlund, 2007). Lietuvoje šis įvykis taip pat pasireiškia kaip senesnių uolienų metamorfizmas ir deformacija (Bogdanova et al., 2001; Skridlaitė et al., 2008, 2014).

IŠVADOS

Lz-13 gręžinyje randamos vulkaninės uolienos susidarė salų lankų tektoninėje

aplinkoje ir susiformavo nuosėdiniame baseine. Čia jos buvo paveiktos hidroterminių procesų, kurių metu sunaikintas plagioklazas ir retųjų žemių elementus akumulavę mineralai, taip pašalinant iš uolienos kalcį, natrį, kalį ir lengvasias retąsias žemes. Hidroterminis pakitimas vyko prieš uolienų metamorfizmą.

Lz-13 vulkaninių uolienų amžius (1,83 Ga) parodo, kad tuo metu (1,86–1,84 Ga) išilgai kontinentinio pakraščio galėjo formuotis nuosėdinis baseinas. Cirkonų ir monacitų datavimai atskleidžia, jog Lz-13 gręžinio uolienos patyrė amfibolitinės facijos metamorfizmą ca. 1,73 Ga. Panašiu metu, ca. 1,79 Ga, metamorfizmą patyrė ir Varėnos telkinio uolienos. Terminis metamorfizmas Lz-13 gręžinyje ca. 1,5 Ga yra vienalaikis su granitų formavimusi Varėnos telkinyje bei sutampa paklaidų ribose su Varėnos telkinio uolienose datuotų monacitų amžiumi.

Granitinio lydalo įsiskverbimas į Varėnos telkinio uolienas vyko panašiu metu, kaip ir AMCG Mazūrų komplekso uolienų susidarymas. Uolienų metamorfizmas ca. 1,79–1,73 Ga gali būti susijęs su vėlesniais 1,75–1,70 Ga metamorfizmo įvykiais bei deformacija, kurie pasireiškė kaip atsakas į Fenoskandijos ir Sarmatijos suaugimą. Uolienų pakaitinimas ir granitų susidarymas sutampa su AMCG Mazūrų komplekso formavimosi amžiumi.

Padėka. Nuoširdžiai dėkoju draugei ir kolegei Laurynai Gribulytei už kalbos korekciją ir dr. Audriui Čečiui už konstruktyvią recenziją, dėl kurios pagerėjo straipsnio kokybė.

LITERATŪRA

- Bogdanova, S., Page, L. M., Skridlaitė, G., Taran, L. N. Proterozoic tectonothermal history in the western part of the East European Craton: $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints. *Tectonophysics*, 2001, nr. 339, p. 39–66.
- Bogdanova, S. V., Bingen, B., Gorbachev, R., Kheraskova, T. N., Kozlov, V. I., Puchkov, V. N., Volozh, Y. A. The east European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 2008, nr. 160 (1–2), p. 23–45.
- Bogdanova, S., Gorbachev, R., Skridlaitė, G., Soesoo, A., Taran, L., Kurlovich, D. Trans-Baltic Palaeoproterozoic correlations towards the reconstruction of supercontinent Columbia / Nuna. *Precambrian Research*, 2015, nr. 259, p. 5–33.
- Brander, L., Söderlund, U. 1.47–1.44 Ga intra-continental magmatism in the Fenoscandian Shield – a manifestation of the Danopolonian Orogeny? In *The Pulse of the Earth & 76 Planetary Evolution: Rates and Rhythms: Cycles and Cataclysms* (Eds. Bleeker, W., Sylvester, P.). GAC NUNA Conference, Sudbury, 13–17 June, 2007, p. 18.

- De Capitani, C., Brown, T. H. The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, nr. 51, p. 2639–2652.
- De Capitani, C., Petrakakis, K. The computation of equilibrium assemblage diagrams with Theriak / Domino software. *American Mineralogist*, 2010, nr. 95, p. 1006–1016.
- Cherniak, D. J., Watson, E. B. Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology*, 2000, nr. 172, p. 5–24.
- Claesson, S. U-Pb age determinations from the Precambrian of Lithuania and Poland. *Fourth EUROBRIDGE Workshop*. Lund University, Oskarshamn, Sweden, 1996.
- Connelly, J. N. Degree of preservation of igneous zonation in zircon as a signpost for concordancy in U/Pb geochronology. *Chemical Geology*, 2000, nr. 172, p. 25–39.
- Dörr, W., Belka, Z., Marheine, D., Schastok, J., Valverde-Vaquero, P., Wiszniewska, J. U-Pb and Ar-Ar geochronology of anorogenic granite magmatism of the Mazury Complex, NE Poland. *Precambrian research*, 2002, nr. 119, p. 101–120.
- Geisler, T., Schaltegger, U., Tomaschek, F. Re-equilibration of zircon in aqueous fluids and melts. *Elements*, 2007, nr. 3, p. 41–50.
- Gorton, M. P., Schandl, E. S. From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *Canadian Mineralogist*, 2000, nr. 38, p. 1065–1073.
- Grambling, J. A. Internally consistent geothermometry and H₂O barometry in metamorphic rocks: the example garnet-chlorite-quartz. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1990, nr. 105, p. 617–628.
- Hikov, A. Geochemistry of hydrothermally altered rocks from the Asarel porphyry copper deposit, Central Srednogie. *Geologica Balcanica*, 2013, nr. 42, p. 1–2.
- Holdaway, M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer. *American Mineralogist*, 2000, nr. 85, p. 881–892.
- Holland, T. J. B., Baker, J. M., Powell, R. Mixing properties and activity-composition relationships of chlorites in the system MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. *European Journal of Mineralogy*, 1998, nr. 10, p. 395–406.
- Hoskin, P. W. O. Patterns of chaos: fractal statistics and the oscillatory chemistry of zircons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, nr. 64, p. 1905–1923.
- Kohn, M. J., Malloy, M. A. Formation of monazite via prograde metamorphic reactions among silicates: implications for age determinations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, nr. 68, p. 101–133.
- Krolikowski, C., Petecki, Z., Jacyna, J., Korabliova, L., Nasedkin, V. Gravimetric and magnetic maps of the Polish-Lithuanian border area 1:200 000. Warsaw: Polish Geological Institute, 1999.
- Krzeminska, E., Williams, I., Wiszniewska, J. A Late Paleoproterozoic (1.80 Ga) subduction-related mafic igneous suite from Lomza, NE Poland. *Terra Nova*, 2005, nr. 17 (5), p. 442–449.
- Krzeminska, E., Wiszniewska, J., Williams, I. S., Dörr, W. Late Paleoproterozoic arc-related granites from the Mazowsze domain, NE Poland In: *Granitoids in Poland, AM Monograph* (Eds. Kozłowski, W., Wiszniewska, J.). Poland: Warsaw, 2007, no. 1, p. 41–56.
- Ludwig, K. R. Isoplot 3.75. A Geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Spec. Pub. 2012, nr. 5. Prieiga internete: [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037\(98\)00059-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037(98)00059-3).
- Mansfeld, J. (PhD thesis). Crustal evolution in the southeastern part of the Fenoscandian Shield. Stockholm University, Stockholm, Sweden, 1995, 128 p.
- Mansfeld, J. Age and εNd constrains on the Paleoproterozoic tectonic evolution in the Baltic-Sea region. *Tectonophysics*, 2001, nr. 339, p. 135–155.
- Marfinas, S. Report of additional investigations in South Lithuania at scale of 1:200 000 in 1990–1992 (Džūkija area). Gamybinė ataskaita. Vilnius: Lietuvos geologijos tarnybos fondas, 1998, nr. 1.
- Morgan, J. W., Stein, H. J., Hannah, J. L., Markey, R. J., Wiszniewska, J. Re-Os study of Fe-Ti-V oxide and Fe-Cu-Ni sulphide deposits, Suwalki Anorthosite Massif, Northeast Poland. *Mineralium Deposita*, 2000, nr. 5, p. 391–401.
- Pearce, J. A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In *Continental Basalts and Mantle Xenoliths* (Eds. Hawkesworth, C. J., Norry, M. J.). Shiva Natwich, 1983, p. 230–249.
- Pearce, J., Harris, N., Tindle, G. A. Trace element discrimination diagrams for Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 1984, nr. 25, p. 956–983.
- Peck, W. H., Smith, M. S. Cordierite-gedrite rocks from the central metasedimentary belt boundary thrust zone (Greenville Province, Ontario): Mesoproterozoic metavolcanic rocks with the affinities to the arc belt. *Canadian Journal of Earth Science*, 2005, nr. 42, p. 1815–1828.
- Powell, R., Holland, T. J. B., Worley, B. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations with examples using THERMOCALC. *Journal of Metamorphic Geology*, 1998, nr. 6, p. 173–204.
- Ruszkowski, M., Wiszniewska, J., Krzeminska, E., Bagiński, B. Geochronological calendar of A-type granites from NE Poland. Geophysical Research Abstract in EGU General Assembly 2018, nr. 20, EGU2018-18648.
- Salin, E., Sundblad, K., Woodard, J., O'Brien, H. The extension of the Transscandinavian Igneous Belt into the Baltic Sea region. *Precambrian Research*, 2019, nr. 328, p. 287–308.

- Skridlaitė, G. Metasomatism in the Varena Iron Ore Zone, southern Lithuania. Ph. D. Thesis, Geological Institute and University of Vilnius, 1993.
- Skridlaitė, G. Geochemical peculiarities of metasomatic rocks from Varesnky Iron-ore zone on southern Lithuania. *Zapiski Vserossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, 1993, nr. 1, p. 81–88.
- Skridlaitė, G., Wiszniewska, J., Duchesne, J.-C. Ferro-potassic A-type granites and related rocks in NE Poland and S Lithuania: west of the East European Craton. *Precambrian research*, 2003, nr. 124, p. 305–326.
- Skridlaitė, G., Wiszniewska, J., Petecki, Z., Šiliauskas, L., Prušinskienė, S. Fe (Ti, Cu) mineralizations in NE Poland and S-SE Lithuania: their possible links and implications for regional evolution. Abstracts of 35th International Geological Congress, 27 August – 4 September 2016, Cape Town, South Africa.
- Skridlaitė, G., Šiliauskas, L., Whitehouse, M., Johansson, Å. and Rimša, A. On the origin and evolution of the 1.86–1.76 Ga Mid-Baltic Belt in the western East European Craton. *Precambrian Research* (spaudoje)
- Stacey, J. S., Kramers, J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet Science Letters*, 1975, nr. 26, p. 207–221.
- Sundblad, K., Mšfeld, J., Motuza, G., Ahl, M., Claesson, S. Geology, geochemistry and age of a CuMo-bearing granite at Kabeliai, southern Lithuania. *Mineralogy and Petrology*, 1994, nr. 50, p. 43–57.
- Šiliauskas, L. Evolution of the proterozoic magmatic complexes in southern Lithuania: implications for the formation of the Varena iron ore deposit. Ph. D. Thesis. Vilniaus universitetas, 2019.
- Šiliauskas, L., Skridlaitė, G., Baginski, B., Whitehouse, M., Prušinskienė, S. What the ca. 1.83 Ga gedrite-cordierite schists in the crystalline basement of Lithuania tell us about the late Paleoproterozoic accretion of the East European Craton. *GFF*, 2018, nr. 140 (4), p. 332–344.
- Šiliauskas, L., Skridlaitė, G., Whitehouse, M., Soesoo, A. A ca. 1.89 Ga magmatic complex in eastern Lithuania: a link connecting with the domains in Estonia and the Bergslagen terrane in Sweden. Geophysical Research Abstract in EGU General Assembly 2018, nr. 20, EGU2018-3050.
- Whitehouse, M. J., Kamber, B. S., Moorbath, S. Age significance of U–Th–Pb zircon data from early Archaean rocks of west Greenland – a reassessment based on combined ion-microprobe and imaging studies. *Chemical Geology*, 1999, nr. 160, p. 201–224.
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., Quadf, A. V., Roddick, J. C., Spiegel, W. Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 1995, nr. 19, p. 1–23.
- Williams, M. L., Jercinovic, M. J., Hetherington, C. J. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, nr. 35, p. 137–175.
- Wiszniewska, J., Krzeminska, E., Dörr, W. Evidence of arc-related Svecofenian magmatic activity in the southwestern margin of the East European Craton in Poland. *Gondwana Research*, 2007, nr. 12 (3), p. 268–278.

Summary

EVOLUTION OF THE PROTEROZOIC MAGMATIC COMPLEXES IN SOUTHERN LITHUANIA: IMPLICATIONS FOR THE FORMATION OF THE VARĖNA IRON ORE DEPOSIT

Varėna Iron Ore deposit (VIOD) is found in 1.89 Ga East Lithuanian–Latvian domain crystalline basement. The up-to-date research on the deposit is mainly descriptive, and its age and origin debated. In order to put time and PT constrains on formation, rocks surrounding it were studied by means of chemical and isotopic approaches. Phase diagrams were constructed for PT parameter determination. To estimate the final stage of deposits evolution, crosscutting granite veins were analysed by means of chemical and isotopic methods. The surrounding rock analyses showed that

they are Si-rich metavolcanics, formed at ca. 1.83 Ga. After the peak metamorphic conditions at 620° C and 0.7 GPa, rocks experienced decompression at ca. 1.73 Ga, followed by a ca. 1.5 Ga thermal metamorphism up to 640° C at 0.35–0.45 GPa. Similar PT constrains were implied to VIOD rocks. Monazite age of ca. 1.79 Ga and 1.5 Ga in VIOD rocks suggest that they have been metamorphosed simultaneously with the surrounding rocks. Granite emplacement in the upper crusty caused local reheating at ca. 1.5 Ga, simultaneously with the AMCG suite to the south.