

Geochemie a zirkonové U-Pb stáří derflického granodioritu z dyjského masivu

Geochemistry and U-Pb zircon ages of Derflice granodiorite from the Thaya (Dyje) Massif

MARTIN SVOJTKA¹ – KAREL BREITER¹ – JANA ĎURIŠOVÁ¹ –
LUKÁŠ ACKERMAN¹ – FRANTIŠEK VESELOVSKÝ² –
JAROSLAV ŠMERDA³

¹ Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6;
svojtka@gli.cas.cz

² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

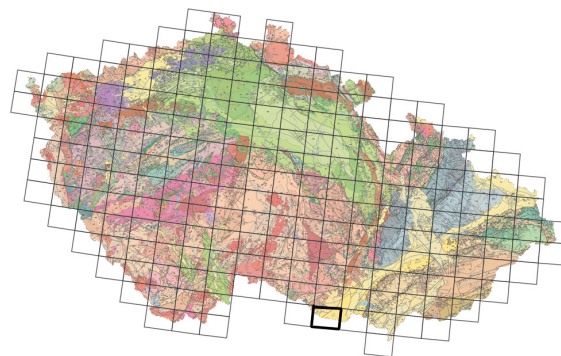
³ Jihomoravské muzeum ve Znojmě, Přemyslovců 129, 669 02 Znojmo

Please cite this article as: M. Svojtka – K. Breiter – J. Ďurišová –
L. Ackerman – F. Veselovský – J. Šmerda (2017): Geochemistry and
U-Pb zircon ages of Derflice granodiorite from the Thaya (Dyje)
Massif. – Geoscience Research Reports, 50, 17–24. (in Czech)

Key words: Bohemian Massif, Thaya (Dyje) Massif, Cadomian
granitoids; zircon U-Pb dating

Summary: Two studied granodiorites from the Derflice village (east of the town of Znojmo, southern Moravia) in the NE-part of the Dyje- (Thaya-) Massif (Fig. 1) are homogeneous fine-grained rocks composed of quartz (35 wt%), altered plagioclase (35 wt%), potassium feldspar (25 wt%) and chlorite (5 wt%) with accessory amounts of muscovite, apatite, hematitized ilmenite, and zircon. Appropriate petrological name of these rocks are chloritized biotite granodiorites. Chemically and mineralogically (Table 1, Fig. 2), the Derflice granitoids resemble granodiorites of the Tetčice suite from the western branch of the Brno Massif.

Representative oscillatory zoning (Fig. 3) revealed in cathodoluminescence (CL) images of zircon grains in all studied sam-



(34-13 Dyjákovice)

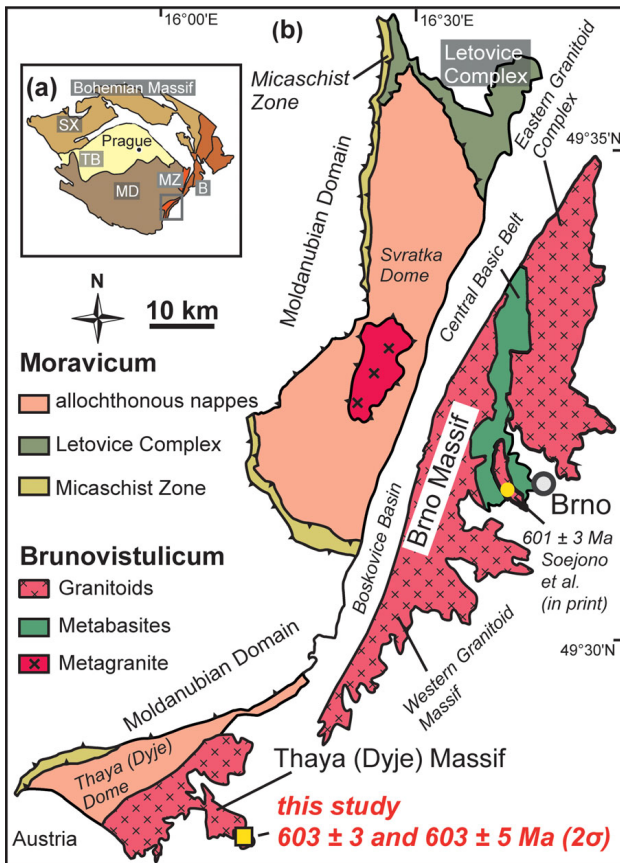
ples is shown in Fig. 1, and U-Pb concordia diagrams for zircons from the Thaya (Dyje) Massif are in Fig. 4. Dating of samples DF-B and DF-C yielded concordia ages of 603 ± 3 Ma and 603 ± 5 Ma (2σ), respectively (for geochronological data of individual zircon grains see Table 2), and are interpreted as the Upper Proterozoic intrusive age of the granodiorite. These ages are close to the age of zircons from granodiorite of the nearby Western Granitoid Complex of the Brno Massif (603 ± 3 Ma, 2σ ; Soejono et al. 2016, in print). Comparable ages supporting the idea that the granitoids of the Thaya Massif are assumed to be a south-western continuation of the Western Granitoid Complex of the Brno Massif. The presence of granitic rocks in the Thaya (Dyje) Massif with the Upper Proterozoic (Ediacaran) crystallization ages provides further evidence for a widespread Cadomian magmatic activity along the northern margin of Gondwana.

Moravskoslezská oblast (moravosilesikum) je nejvýchodnější částí Českého masivu a její východní část nazývaná brunovistulikum je nejčastěji považována za součást kadmického, silně varisky přepracovaného mikrokontinentu Avalonie (např. Friedl et al. 2004) nebo za fragment severního okraje Baltiky (Kalvoda et al. 2008). Brunovistulikum je rozčleněno centrálním bazickým pruhem na dva masivy – brněnský a dyjský, tvořené hlavně granitoidy. Finger et al. (2000) popsali časovou a geochemickou příbuznost dyjského masivu se západní částí brněnského masivu, které podle něj tvoří jedno těleso pojmenované dyjský terán, přičemž východní část brněnského masivu nazvali slavkovským teránem.

Dyjský terán tvoří převážně biotitické a dvojslídne granodiority a granity, vzniklé před cca 600 Ma na aktivním kontinentálním okraji Gondwany (Finger et al. 2007). Součástí dyjského masivu jsou i zbytky metamorfního pláště tvořeného hlavně rulami až migmatity a vápenosilikátovými horninami a amfibolity.

Granitoidy severní (české) části dyjského plutonu byly dosud zkoumány jenom omezeně. Ve srovnání s nimi jsou granitoidy západní části brněnského plutonu lépe petrologicky a geochemicky definovány a jejich klasifikace může sloužit jako východisko ke klasifikaci granitoidů v české části dyjského plutonu. Leichmann a Höck (2008) zde definovali tři suity granitoidů: (i) suita Rena je složena z amfibol-biotitických granodioritů a biotitických granitů I-typu, kdežto objemově významnější (ii) suita Tetčice obsahuje amfibolicko-biotitické diority, drobnozrné biotitické granity a hrubě zrnité biotitické granity řazené k S-typu. Obsahuje i tělesa granitoidů u Derflic, která jsou předmětem výzkumu této studie (obr. 3a). Objemově nejméně významná, ale geochemicky a mineralogicky zajímavá je (iii) suita Hlína, složená z více typů žilných hornin s granátem a páskovanými a usměrněnými texturami, odpovídající magmatům A-typu (Hönič 2012).

Ve studované oblasti jsou různé typy granitoidních hornin, které dosud nebyly detailně studovány. Vzhledem

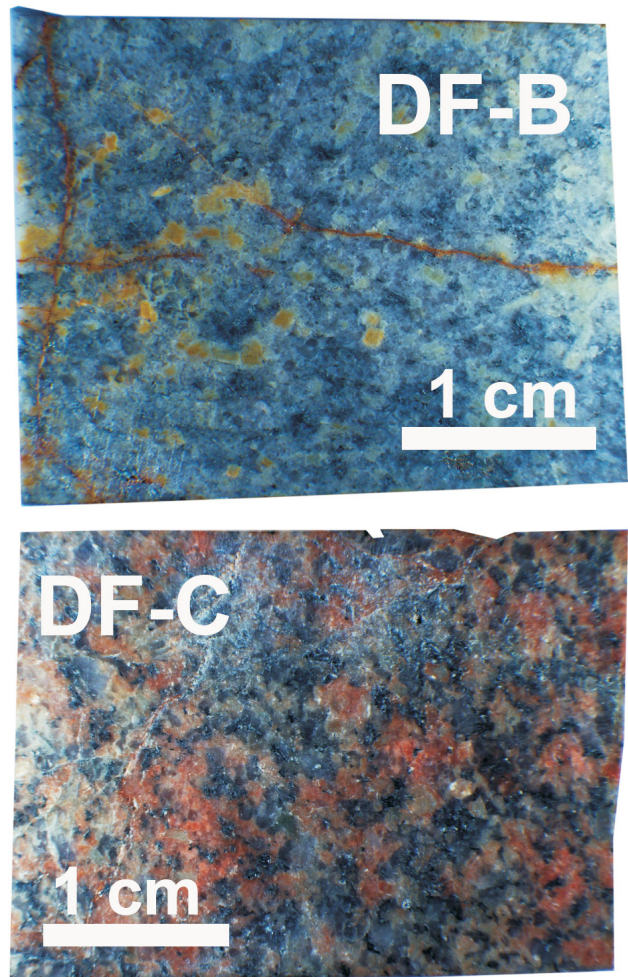


Obr. 1. Schematická mapa studované oblasti (převzato a upraveno podle Soejono et al. 2016 v tisku). a – pozice Českého masivu: SX – saxothuringikum, TB – teplesko-barrandienská oblast, MD – moldanubikum, B – brunovistulikum, MZ – moravikum. Čtverec označuje studovanou oblast. b – zjednodušená geologická mapa brněnského a dyjského masivu.

Fig. 1. Sketch map of studied area (modified after Soejono et al. 2016 in print). a – position of the Bohemian Massif: SX – Saxothuringian Domain, TB – Teplá-Barrandian Unit, MD – Moldanubian Domain, BD – Brunovistulian Domain, MZ – Moravian Zone. The solid square indicates studied area. b – simplified geological map of the Brunovistulian and Thaya (Dyje) Massifs.

k chybějícím časovým informacím týkajícím se stáří české části dyjského masivu byly vybrány k této geochronologické a geochemické studii vzorky z východní části masivu – z oblasti Derflice. Jako samostatný typ v rámci dyjského masivu je vyčleněn pouze tasovický (biotiticko-muskovitický) granit (Leichmann – Höck 2008), který se vyskytuje severně od studovaných granodioritů z Derflice a podle Leichmanna a Höcka (2008) odpovídá červeně zbarvené varietě granitů tetčické suity z brněnského plutonu. Výskyt drobných žil aplitů a biotitických pegmatitů, vzácněji dioritů, jsou vázány na celý dyjský masiv. V některých částech masivu lze nalézt enklávy gaber a dioritů, které indikují míšení kyselého a bazického magmatu (Leichmann – Höck 2008).

Finger et al. (1989) definovali v rakouské části dyjského masivu 4 hlavní typy granitoidů: (a) Hauptgranit – středně zrnitý granit vyskytující se ve dvou varietách: světle šedý až růžový biotiticko-granátický granit Eggenburg/Maissau

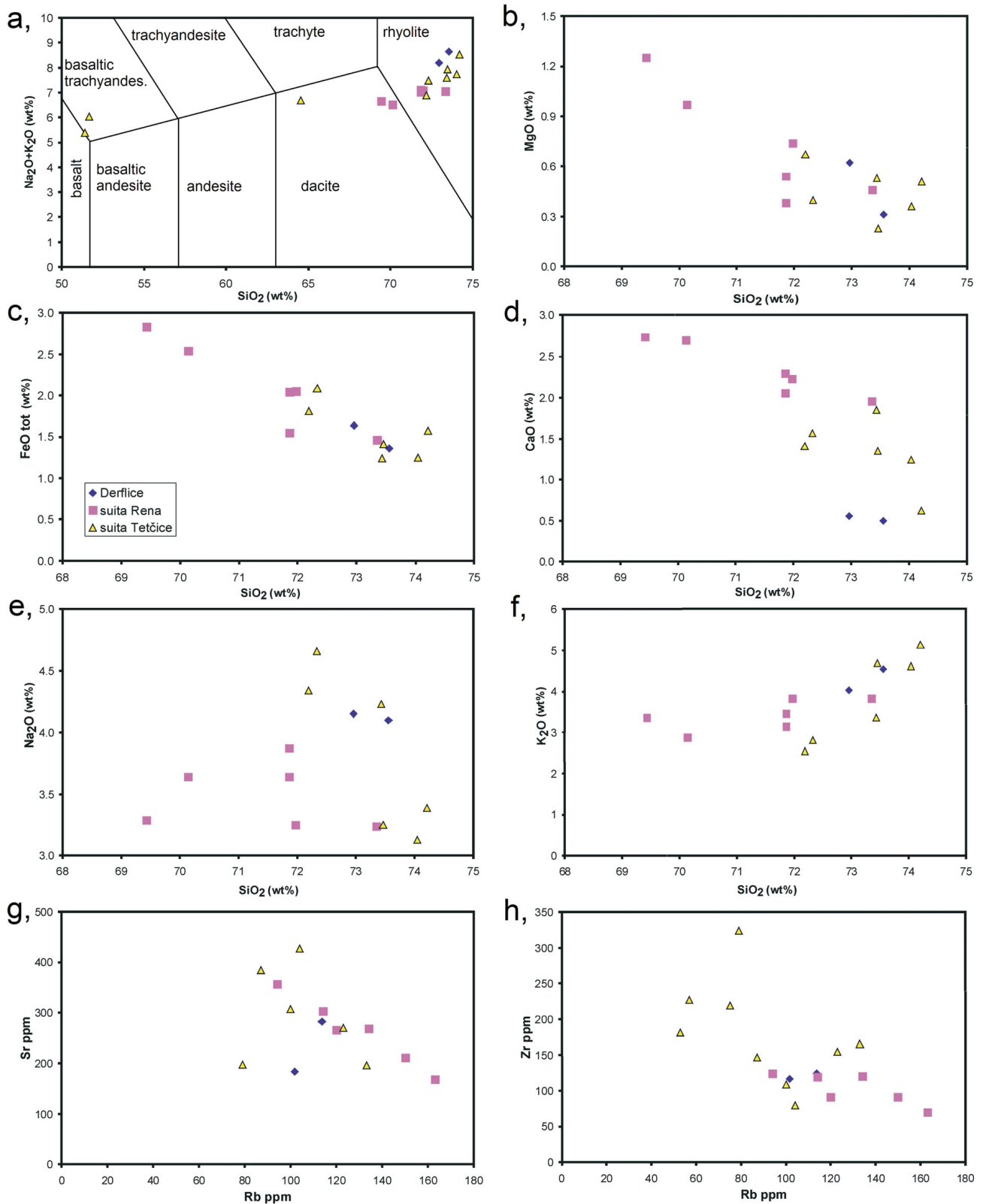


Obr. 2. Makrofotografie leštěného povrchu ukazující texturu a barevné rozdíly studovaných vzorků (DF-B a DF-C).

Fig. 2. Macrophotographs of polished surface of studied samples (DF-B a DF-C) showing texture and differences in color.

a biotitový granit Pulkau/Zellendorf; (b) biotitem bohatý granodiorit až monzodiorit Gumping; (c) biotiticko-granátický tonalit typu Passendorf a (d) typ Gaudendorf – jemně zrnitý granit až granodiorit, který by podle Leichmanna a Hocka (2008) měl odpovídat granodioritům tetčické suity, tedy i vzorkům z Derflice.

Intruzivní stáří většiny granitoidů brunovistulika s.s. je předešlými pracemi datováno v rozmezí cca 580–600 Ma. Neoproterozoické zirkonové U-Pb stáří je dokumentováno na dioritech ze západní části brněnského masivu (584 ± 5 Ma; van Breemen et al. 1982), stejně jako $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ jako stáří chladnutí amfibolů ($596,9 \pm 2,1$ Ma; Fritz et al. 1996). Metagranit z rakouské části dyjského masivu byl datován pomocí U-Pb SHRIMP analýzy na zirkonech jako stáří 567 ± 6 Ma (Friedl et al. 2004) a pomocí Rb-Sr (pouze celková hornina) méně přesně jako stáří 551 ± 6 Ma (Scharbert – Batík 1980). Soejono et al. (2016 v tisku) nově datovali ze západní části brněnského masivu (Anenský Mlýn, $49^\circ 08.103' \text{ N}$, $16^\circ 31.906' \text{ E}$) biotiticko-amfibolický granodiorit pomocí laserové ablace ICP-MS U-Pb metodou na zirkonech a získané stáří je 601 ± 3 Ma (chyba 2σ).



Obr. 3. Porovnání chemického složení studovaných vzorků DF-B a DF-C s typickými vzorky ze suit Rena a Tetčice (data Leichmann – Höck 2008). a – TAS-klasifikační diagram (Le Maitre 2002); b–h chemické složení.

Fig. 3. Comparison of chemical composition of the studied samples DF-B and DF-C with typical compositions of the Rena- and Tetčice-suites (data from Leichmann and Höck 2008). a – TAS-classification diagram (Le Maitre 2002); b–h harker diagrams.

Tabulka 1. Chemická analýza studovaných vzorků DF-B a DF-C z Derflice (hlavní prvky v hmot. %, stopové prvky v ppm)
Table 1. Chemical analyses of studied samples DF-B and DF-C from Derflice (major elements in wt%, trace elements in ppm)

Oxides (wt. %)	DF-B	DF-C
SiO ₂	73.56	72.96
TiO ₂	0.2	0.27
Al ₂ O ₃	13.89	13.95
Fe ₂ O ₃	0.73	0.76
FeO	0.7	0.95
MgO	0.31	0.62
MnO	0.016	0.041
CaO	0.5	0.56
SrO	0.02	0.032
BaO	0.09	0.096
Li ₂ O	< 0.001	0.002
Na ₂ O	4.1	4.15
K ₂ O	4.53	4.03
P ₂ O ₅	0.042	0.064
F	0.023	0.029
CO ₂	0.02	0.01
C(ost.)	0.014	0.033
S(tot.)	0.148	< 0.010
H ₂ O(+)	0.96	1.16
H ₂ O(-)	0.1	0.15
F(ekv)	-0.01	-0.012
S(ekv)	-0.037	-0.001
Total	99.96	99.88
Li (ppm)	7.6	11
Sc	3.2	2.7
V	9.5	12
Cr	1.5	1.4
Co	2.7	2.4
Ni	1.2	2
Cu	43	2.9
Zn	27	38
Rb	102	114
Sr	184	282
Y	22	17
Zr	118	125
Nb	8.9	9.8
Cs	1	1.4
Ba	846	940
La	49	33
Ce	86	60
Pr	9.8	6.5
Nd	35	23

Oxides (wt. %)	DF-B	DF-C
Sm	6.3	3.9
Eu	1.2	0.76
Gd	5.1	3.1
Tb	0.72	0.48
Dy	4.2	2.8
Ho	0.76	0.57
Er	2.2	1.7
Tm	0.32	0.26
Yb	2.2	1.6
Lu	0.32	0.25
Hf	3.5	3.4
Ta	0.9	0.78
Pb	36	9
Th	10.1	8.7
U	4.3	2

Metodika

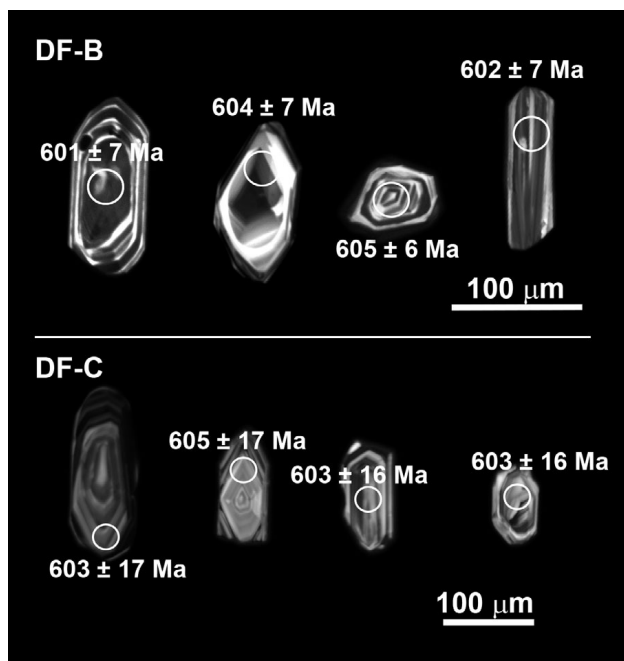
Vzorky byly odebrány z opuštěného kamenolomu 500 m sv. od vesnice Derflice (obr. 1; 48° 48.804' N a 16° 9.005' E). Z množství přibližně 5 kg vzorků, podrceného na čelisťovém drtiči, byla malá část drceného materiálu po kvartaci homogenizována pro chemickou analýzu a ze zbytku umletého prášku byl konvenční metodou separován zirkon. Nejdříve síťováním, dále plavením na koncentračním stole Wilfley a v závěru separací nemagnetického podílu v těžkých kapalinách (postupně v tetrabromethanu a diiodomethanu). Zirkony byly následně zality do epoxidového 2,5cm disku a naleštěny. Před vlastní analýzou na hmotovém spektrometru byla pomocí katodové luminescence zjištěna vnitřní stavba zirkonů (v laboratořích České geologické služby na Barrandově).

Analýzy izotopových poměrů Pb/U byly měřeny na ICP-MS hmotovém spektrometru s indukčně vázanou plazmou Element 2, vybaveném laserovým ablačním systémem 213-nm (NdYAG UP-213) na pracovišti Geologického ústavu AV ČR v Praze – Suchdole. Podmínky měření byly následující: frekvence laserového svazku 5 Hz, průměr paprsku 30 μm, fluence 4–5 J.cm⁻². Snímány byly hmoty 204, 206, 207, 208, 232 a 238. Pro laserování studovaných zirkonů byla aplikována nízkoobjemová cela, umožňující rychlý proplach (minimalizace memory efektů) a účinnou homogenizaci aerosolu, a jako nosný plyn bylo použito helium. Nečistoty (hlavně Hg) v nosném plynu, které mohou způsobit koincidence na hmotě 204 (²⁰⁴Hg a ²⁰⁴Pb), byly redukovány pomocí pastí s pískem pokoveným zlatem, příspěvek „obyčejného olova 204“ k celkovému Pb byl menší než 0,1 %. Sběr dat pro každý měřený vzorek i standard se skládal z 30s měření pozadí následovaného měřením signálů U a Pb po dobu dalších 35 s. Prvková frakcionace a přístrojová diskriminace hmot byly korigovány normalizací na interní kalibrační zirkonový U-Pb přírodní standard 91500 a referenční přírodní zirkonový

Tabulka 2. U-Pb data zirkonů získaná pomocí laserové ablace ICP-MS z dyjského masivu (vzorek DF-B a DF-C)

Table 2. Laser ablation ICP-MS U-Pb data for zircons from the Thaya (Dyje) Massif (samples DF-B a DF-C)

	corrected isotope ratios					apparent ages (Ma)				U, Th and Pb content (ppm)						
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 2s$ (abs.)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 2s$ (abs.)	error corr. 6/38 vs. 7/35	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 2s$ (Ma)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 2s$ (Ma)	Approx U (ppm)	$\pm 2s$ (abs.)	Approx Th (ppm)	$\pm 2s$ (abs.)	Approx Pb (ppm)	$\pm 2s$ (abs.)	Th/U ratio
DF-B																
DF-B_1	0.8070	0.0130	0.0972	0.0012	0.5818	601	8	598	7	431	5.4	254	2.8	72	1.2	0.6
DF-B_2	0.8073	0.0120	0.0970	0.0010	0.3454	601	7	597	6	289	5	177	3.7	49	1.1	0.6
DF-B_3	0.8150	0.0140	0.0982	0.0011	0.3485	606	8	604	7	301	2.5	206	2	54	0.8	0.7
DF-B_4	0.8170	0.0130	0.0989	0.0010	0.3676	605	7	608	6	424	9.7	346	10.0	94	2.7	0.8
DF-B_5	0.8080	0.0150	0.0977	0.0011	0.2184	600	9	601	7	251	8.6	111	3.7	30	1.0	0.4
DF-B_6	0.8130	0.0150	0.0979	0.0012	0.4670	603	8	603	7	340	5.2	199	3.0	55	0.9	0.6
DF-B_7	0.8030	0.0150	0.0984	0.0012	0.5369	597	8	605	7	222	5	114	2.3	33	0.9	0.5
DF-B_8	0.8060	0.0180	0.0981	0.0013	0.2781	600	10	604	7	139	1.9	47	0.5	12	0.3	0.3
DF-B_9	0.8010	0.0160	0.0979	0.0013	0.2782	598	9	602	7	158	2.2	91	1.6	24	0.5	0.6
DF-B_10	0.8140	0.0150	0.0986	0.0013	0.4734	606	8	606	8	679	6.4	473	5.0	119	1.9	0.7
DF-B_11	0.8070	0.0140	0.0981	0.0013	0.3772	600	8	603	8	406	8	145	2.4	37	0.8	0.4
DF-B_12	0.8204	0.0120	0.0985	0.0010	0.3287	609	7	605	6	386	4.8	133	0.9	37	0.5	0.3
DF-B_13	0.8050	0.0120	0.0987	0.0012	0.4913	599	7	607	6	424	4.7	256	3.1	70	1.2	0.6
DF-B_14	0.8110	0.0130	0.0990	0.0011	0.4868	603	8	609	6	273	8.7	141	6.8	39	1.7	0.5
DF-B_15	0.8060	0.0130	0.0984	0.0011	0.4863	600	7	605	6	307	6.8	257	8.4	66	1.9	0.8
DF-B_16	0.8110	0.0150	0.0972	0.0011	0.3609	603	8	598	6	143	3.5	58	1.9	15	0.5	0.4
DF-B_17	0.8060	0.0120	0.0983	0.0011	0.4563	600	7	604	7	444	9.2	266	6.5	71	1.8	0.6
DF-B_18	0.8170	0.0140	0.0984	0.0014	0.5060	608	8	605	8	412	6.6	278	3.9	78	1.3	0.7
DF-B_19	0.8150	0.0160	0.0988	0.0013	0.4594	605	9	607	8	330	4.7	173	2.6	47	0.9	0.5
DF-B_20	0.8080	0.0160	0.0982	0.0012	0.4539	600	9	604	7	247	8.9	201	8.0	54	2.0	0.8
DF-B_21	0.8120	0.0130	0.0980	0.0011	0.4340	604	7	602	7	348	14	198	14.0	54	3.6	0.6
DF-C																
DF-C_1	0.8390	0.0290	0.0994	0.0031	0.5699	620	15	610	18	318	4.2	155	1.7	47	1.0	0.5
DF-C_2	0.8260	0.0280	0.0981	0.0029	0.4818	611	16	603	17	190	2.5	68	0.8	21	0.6	0.4
DF-C_3	0.7920	0.0250	0.0974	0.0028	0.6024	591	14	599	16	506	5.3	302	3.3	88	1.4	0.6
DF-C_4	0.8020	0.0240	0.0981	0.0028	0.5410	598	14	603	16	356	3	204	4.0	59	1.4	0.6
DF-C_5	0.7940	0.0280	0.0977	0.0028	0.2293	594	16	601	16	67	0.58	23	0.2	7	0.2	0.4
DF-C_6	0.8010	0.0280	0.0974	0.0027	0.2895	597	16	599	16	72	1.6	60	1	17	0.4	0.8
DF-C_7	0.7920	0.0260	0.0963	0.0028	0.4866	592	16	592	16	215	3.2	194	2.0	55	0.8	0.9
DF-C_8	0.7980	0.0290	0.0979	0.0028	0.2770	593	17	602	16	112	1	39	0.4	11	0.3	0.3
DF-C_9	0.8260	0.0270	0.0987	0.0028	0.2826	611	15	607	17	99	1.4	68	1	20	0	0.7
DF-C_10	0.8140	0.0260	0.0983	0.0028	0.2847	604	14	604	16	163	5.2	108	5	31	1.3	0.7
DF-C_11	0.8210	0.0290	0.0984	0.0030	0.5072	607	16	605	17	201	2.2	123	1.5	40	0.9	0.6
DF-C_12	0.8000	0.0280	0.0979	0.0028	0.1926	597	16	602	16	79	2.5	69	2.0	20	0.5	0.9
DF-C_13	0.8050	0.0250	0.0985	0.0028	0.3855	599	14	605	16	203	3.6	89	2.1	27	0.8	0.4
DF-C_14	0.8050	0.0260	0.0981	0.0028	0.4237	599	14	603	17	164	3.2	100	1.9	30	0.6	0.6
DF-C_15	0.8037	0.0240	0.0982	0.0027	0.5237	598	13	604	16	469	5.7	272	3.1	82	1.0	0.6
DF-C_16	0.8260	0.0270	0.0980	0.0028	0.3679	610	15	603	16	200	2.2	92	1	26	0	0.5
DF-C_17	0.8210	0.0270	0.0978	0.0028	0.4460	609	14	602	17	244	4.1	96	1.8	26	0.7	0.4
DF-C_18	0.8230	0.0280	0.0975	0.0029	0.5114	609	15	600	17	269	4.7	299	4.2	78	1.4	1.1
DF-C_19	0.8280	0.0270	0.0982	0.0027	0.4046	613	15	604	16	172	2.8	102	3.0	28	1.0	0.6
DF-C_20	0.7980	0.0250	0.0965	0.0029	0.4247	596	14	594	17	365	4.6	62	0.7	19	0.6	0.2



Obr. 4. Vnitřní struktury zirkonů datovaných vzorků DF-B a DF-C zobrazené pomocí katodové luminescence. 30 μm oblasti po laserování jsou označeny společně se získaným stářím $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

Fig. 4. Internal structures of zircons DF-B and DF-C revealed by cathodoluminescence images of the dated samples. The 30 μm spots where laser-ablation analysis was performed are indicated together with obtained $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages.

standard GJ-1 pro vzorek DF-B a Plešovice pro vzorek DF-C. Všechny standardy poskytly data v rámci analytické chyby shodná s publikovanými údaji. Naměřená data a jejich grafické výstupy byly zpracovány v programu Iolite (v. 3.0; Paton et al. 2011). Výpočet chyb byl proveden podle doporučení uvedeného v Horstwood et al. (2016).

Pro chemickou charakteristiku datovaných horninových vzorků byly použity postupy běžné v laboratořích České geologické služby – stanovení SiO_2 titrační metodou a dalších hlavních oxidů pomocí plamenné AAS (AAAnalyst 100), uhlíku a síry pomocí prvkového analyzátoru (ELTRA CS-500) a stopových prvků rentgenfluorescenční metodou (ARL9400 Advant'XP). Opakované analýzy mezinárodního standardu JG-3 (granodiorit, Geological Survey of Japan) vykazují vzhledem k doporučeným hodnotám průměrnou chybu (1σ) $\pm 1\%$.

Chemismus hlavních horninotvorných minerálů datovaných vzorků byl stanoven pomocí elektronové mikrosondy CAMECA SX100 v laboratořích Geologického ústavu AV ČR s použitím vlnově-disperzního modu, urychlovacího napětí 15 kV, proudu 10 nA a průměru paprsku 2 μm . Byly použity standardy: Na, Al – jadeit, Mg, Si, Ca – diopsid, K – leucit, Ti – rutil, P – apatit, Mn – rhodonit, Fe – hematit, Ba – baryt, Cr – Cr_2O_3 . Při interpretaci měření byly použity korekce (podle Merlet 1994) a v případě potřeby i korekce na překryt píku. Empirické vzorce živců byly počítány na 4 atomy kyslíku a vzorce chloritu na 22 atomů kyslíku ve vzorcové jednotce (4, resp. 22 O apfu).

Petrografická a geochemická charakteristika datovaných vzorků

Oba odebrané vzorky mají stejnoměrně drobně zrnitou všesměrnou texturu, liší se pouze barvou. Vzorek DF-B je světle šedý, vzorek DF-C načervenalý (obr. 2). Hornina (oba vzorky) je složena z křemene (cca 35 %), alterovaného plagioklasu (35 %), draselného živce (25 %) a chloritu (5%) s minimálním podílem muskovitu, apatitu, hematitizovaného ilmenitu a zirkonu. Jiné akcesorické minerály nebyly zjištěny. Petrologicky správný název horniny je chloritizovaný biotitický granodiorit, ač v klasifikačním TAS-diagramu (obr. 2a) hornina zdánlivě padá do pole granitu (ryolitu).

Xenomorfnní zrna lehce perthitického draselného živce obsahují 0,1–1 hmot. % BaO a 0,4–1,2 hmot. % Na_2O (3–11 % Ab), kdežto obsahy CaO a P_2O_5 nepřesahují 0,1, resp. 0,4 hmot. %. Subautomorfnní zrna plagioklasu jsou zonální: původně patrně bazičtější jádra jsou silně alterována za tvorby jemně dispergovaného muskovitu a v současnosti odpovídají albitu (více než 93 % Ab-složky), kdežto lemy jsou čerstvé se složením na hranici albit-oligoklas (89–95 % Ab-složky). Xenomorfnní zrna původního biotitu byla bez výjimky chloritizována. Některá zrna chloritu ve vzorku B srůstají s menšími zrny rozloženého, snad primárního muskovitu, což ukazuje na možná dvojslídny původní charakter horniny. Poměr $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ je v rámci vzorku homogenní – kolem 0,30 ve vzorku B a kolem 0,40 ve vzorku C. Z chemického hlediska (tab. 1) jsou mezi oběma vzorky minimální rozdíly (obr. 3): 73,6 a 73,0 hmot. % SiO_2 (vzorky DF-B a DF-C), 13,9 hmot. % Al_2O_3 , 1,4 až 1,6 hmot. % FeO_{tot} , 0,3–0,6 hmot. % MgO, 4,1 hmot. % Na_2O a 4,5, resp. 4,0 hmot. % K_2O . Červeně zbarvená varieta horniny je tedy nepatrně bohatší na Fe a Mg a chudší na draslík než varieta šedá. Ze stopových prvků obsahují oba vzorky prakticky shodné množství Rb a Zr (cca 110, resp. 120 ppm), ale liší se vyšším obsahem Sr ve vzorku C (282 oproti 180 ppm) a poněkud vyššími obsahy REE ve vzorku B. Zda zjištěné chemické rozdíly odrážejí primární rozdíly mezi intruzivními varietami granodioritu, nebo jsou výsledkem různého stupně alterace, nelze s určitostí říci.

Srovnání chemického složení vzorků z Derflice s publikovanými typickými analýzami hornin suity Rena a kyselých hornin suity Tetčice (Leichmann – Höck 2008) je provedeno v obr. 3a–h. Z obrázků je patrné, že obsahy Fe, Mg, K i stopových prvků Rb, Sr a Zr jsou v obou suitách i ve vzorcích z Derflice podobné. Obsah CaO kolem 2 hmot. % je použitelným diskriminačním kritériem mezi oběma suitami (obr. 3d), když vzorky z Derflice odpovídají tetčické suitě. Podle obsahu Na_2O (obr. 3e) lze v rámci tetčické suity odlišit amfibolicko-biotitické granodiority ($\text{Na}_2\text{O} < 3,5$ hmot. %) od biotitických granodioritů ($\text{Na}_2\text{O} > 4$ hmot. %); vzorky z Derflice opět vykazují dobrou shodu s biotitickými granodiority tetčické suity. Celkovým chemickým složením jsou tedy studované vzorky z Derflice dobře srovnatelné s typickými biotitickými granodiority suity Tetčice ze západní části brněnského

plutonu. Jedinými rozdíly jsou poněkud nižší obsahy Ca (oba vzorky) a Sr (vzorek DF-B), způsobené patrně vysokým stupněm alterace plagioklasu v Derflicích.

Výsledky U-Pb datování pomocí laserové ablace ICP-MS

Většina studovaných zirkonových zrn jsou čirá nebo světle hnědě zbarvená omezená prizmatická zrna, případně vzácněji krátká oválná zrna či jehličky v délkovém rozmezí cca 50–150 μm . Vnitřní struktura zirkonů byla studována pomocí katodové luminescence (CL), která ukázala na dominantní magmatickou oscilační zonalitu s různým stupněm rekrystalizace (resorpce) původní oscilační zonalit (obr. 4). Převažující oscilační zonalita je typická pro magmatické zirkony. Přítomnost starších zděděných jader nebyla zjištěna ani CL snímkováním, ani při samotném datování. Obsahy U v zirkonech obou studovaných vzorků (DF-B a DF-C) se pohybují v rozmezí cca 70–680 ppm, Th cca 20–470 ppm a průměrný Th/U poměr u obou vzorků je 0,6, což odpovídá typickým hodnotám pro zirkony krystalizující z granitoidních tavenin.

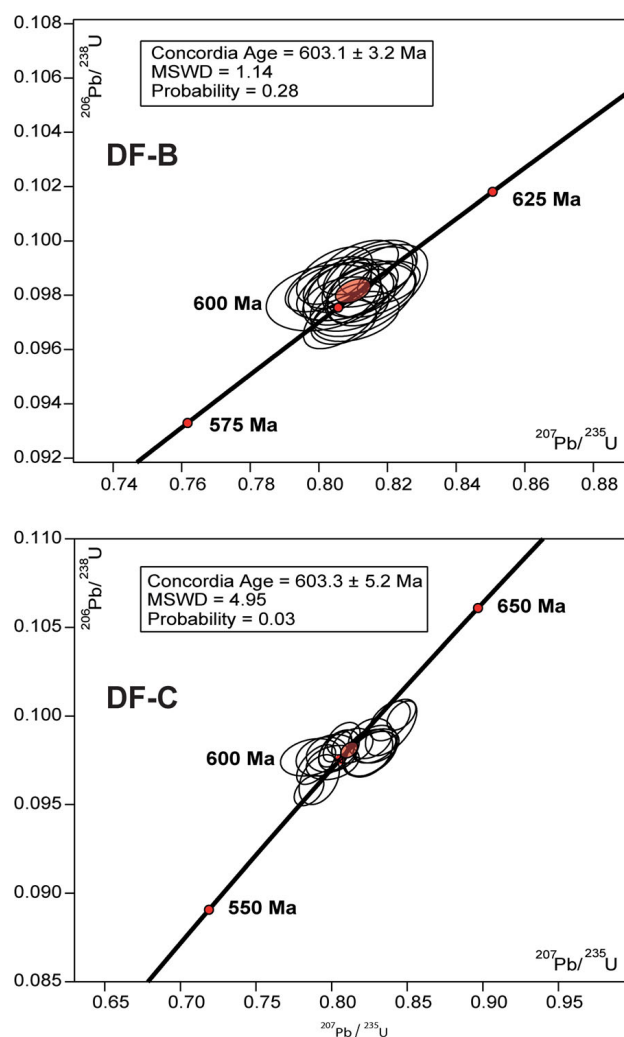
Datováním vzorku DF-B bylo zjištěno konkordantní stáří 603 ± 3 Ma (chyba 2σ , obr. 5) a s analyticky větší chybou u vzorku DF-C (20 zirkonů leží na konkordii v širším rozmezí cca 590–615 Ma) výsledné konkordantní stáří 603 ± 5 Ma (chyba 2σ , viz obr. 5). Obě stáří jsou s největší pravděpodobností i přes rozdílné chyby a rozptýl hodnot identická a jsou interpretována jako stáří krystalizace granodioritu z Derflic.

Závěr

Chemické složení obou studovaných vzorků granodioritů z Derflic (DF-B a DF-C) odpovídá typickým biotitickým granodioritům suity Tetčice brněnského plutonu (Leichmann – Höck 2008).

Ze dvou vzorků odebraných z dyjského masivu pro datování pomocí laserové ablace ICP-MS bylo získáno ediakarské konkordantní krystalizační stáří odpovídající 603 ± 3 Ma a 603 ± 5 Ma (s chybou 2σ , obr. 5). Katodoluminiscenčním snímkováním zirkonů (obr. 4) bylo ověřeno, že získané stáří je krystalizační stáří granodioritu z taveniny. Datování potvrdilo obecně akceptované interpretace, že dyjský masiv představuje vyvrážděnější partie kadomské kůry vzniklé na aktivním kontinentálním okraji Gondwany. Nové datování a geochemická charakteristika také potvrzuje předpoklad, že intruzivní tělesa západní části granodioritů brněnského masivu a granodioritů z dyjského masivu tvoří pravděpodobně identický autochtonní krustální blok.

Poděkování. Výzkum byl financován projektem Grantové agentury ČR 13-15390S a institucionálním financováním RVO 679858831. Děkujeme Patricii Halodové za provedení CL snímků. Rovněž děkujeme V. Štědré za její editorskou práci a recenzentům P. Závadovi a J. Leichmannovi za jejich čas a cenné recenzní připomínky.



Obr. 5. U-Pb konkordie pro zirkony z Derflic (DF-B 21 analýz, DF-C 20 analýz). Všechna data jsou znázorněna s chybou 2σ .

Fig. 5. U-Pb concordia diagram for zircons from Derflice (DF-B 21 analyses, DF-C 20 analyses). All data are plotted with 2σ uncertainties.

Literatura

- FINGER, F. – FRASL, G. – HÖCK, V. – STEYER, H.P. (1989) The granitoids of the Moravian Zone of northeast Austria: product of a Cadomian active continental margin? – *Precamb. Res.* 45, 235–245.
- FINGER, F. – GERDES, A. – JANOUŠEK, V. – RENÉ, M. – RIEGLER, G. (2007): Resolving the Variscan evolution of Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and the Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. – *J. Geosci.* 52, 9–28.
- FINGER, F. – TICHOMIROVA, M. – PIN, C. – HANŽL, P. (2000): Relicts of early-Panafrican metabasite–metarhyolite formation in the Brno Massif, Moravia, Czech Republic. – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rdsch.)* 89, 328–335.
- FRIEDL, G. – FINGER, F. – PAQUETTE, J. L. – VON QUADT, A. – MCNAUGHTON, N. J. – FLETCHER, I. R. (2004): Pre-Variscan geological events in the Austrian part of the Bohemian Massif deduced from U/Pb zircon ages. – *Int. J. Earth Sci.* 93, 802–823.
- FRITZ, H. – DALLMEYER, R.D. – NEUBAUER, F. (1996): Thick-skinned versus thin-skinned thrusting: rheology controlled thrust propagation in the Variscan collisional belt (the southeastern Bohemian Massif, Czech Republic–Austria). – *Tectonics* 15, 1389–1413.
- HORSTWOOD, M. S. A. – KOŠLER, J. – GEHRELS, G. – JACKSON, S. E. – MCLEAN, N. M. – PATON, C. – PEARSON, N. J. – SIRCOMBE, K. – SYLVESTER, P. – VERMEESCH, P. – BOWRING, J. F. – CONDON, D. J. – SCHOENE, B. (2016): Community-Derived Standards for LA-ICP-MS

- U-Th-Pb Geochronology – Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting. – *Geostand. Geoanalytic. Res.*, DOI 10.1111/j.1751-908X.2016.00379.x
- HÖNIG, S. – ČOPIJKOVÁ, R. – ŠKODA, R. – NOVÁK, M. – DOLEJŠ, D. – LEICHMANN, J. – GALIOVÁ-VAŠINOVÁ, M. (2014): Garnet as a major carrier of the Y and REE in the granitic rocks: An example from the layered anorogenic granite in the Brno Batholith, Czech Republic. – *Amer. Mineralogist* 99, 1922–1941.
- KALVODA, J. – BÁBEK, O. – FATKA, O. – LEICHMANN, J. – MELICHAR, R. – NEHYBA, S. – ŠPAČEK, P. (2008): Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. – *Int. J. Earth Sci.* 97, 497–518.
- LE MAITRE, R. W., ed. (2002): *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks.* – Cambridge Univ. Press.
- LEICHMANN, J. – HÖCK, V. (2008): The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit, eastern margin of the Bohemian Massif. – *J. Geosci.* 53, 281–305.
- MERLET, C. (1994): An Accurate Computer Correction Program for Quantitative Electron Probe Microanalysis. – *Microchim. Acta* 114/115, 363–376.
- PATON, C. – HELLSTROM, J. – PAUL, B. – WOODHEAD, J. – HERGT, J. (2011): Iolite: freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. – *J. Anal. Atom. Spec.* 26, 2508–2518.
- SCHARBERT, S. – BATÍK, P. (1980): The age of the Thaya (Dyje) Pluton. – *Verh. Geol., B-A*, 325–331.
- SOEJONO, I. – JANOUŠEK, V. – ŽÁČKOVÁ, E. – SLÁMA, J. – KONOPÁSEK, J. – MACHEK, M. – HANŽL, P. (2016, v tisku): Long-lasting Cadomian magmatic activity along an active northern Gondwana margin: U-Pb zircon and Sr-Nd isotopic evidence from the Brunovistulian Domain, eastern Bohemian Massif. – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rdsch.)* DOI 10.1007/s00531-016-1416-y
- VAN BREEMEN, O. – AFTALION, M. – BOWES, D. R. – DUDEK, A. – MÍSAŘ, Z. – POVONDRA, P. – VRÁNA, S. (1982): Geochronological studies of the Bohemian Massif, Czechoslovakia, and their significance in the evolution of Central Europe. – *Trans. Roy. Soc. Edinb., Earth Sci.* 73, 89–108.