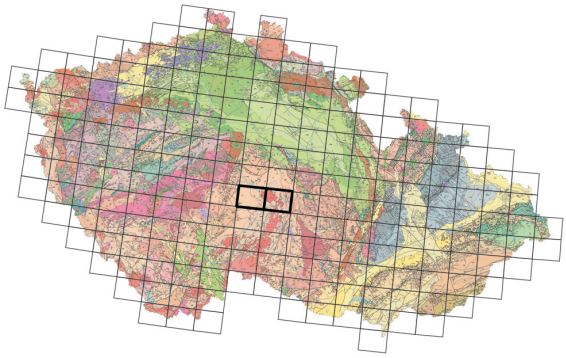
Kontaminace zvětralého melechovského granitu

Contamination of weathered Melechov granite

Václav Procházka [1] – Miroslav Žáček [2] – Dobroslav Matějka [3]

[1] Česká geologie, Pštrosova 16, 110 00 Praha 1; vprochaska@seznam.cz
[2] GEOMIN s.r.o., Znojemská 78, 586 01 Jihlava; zacek@geomin.cz
[3] Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Key words: *Melechov granite, weathering, transport, heavy minerals, gold*



(23-12 Ledeč nad Sázavou, 23-21 Havlíčkův Brod)

Abstract: It has been shown previously (Procházka et al. 2011) that strongly weathered Melechov granite (collected from the base of soil cap) is in comparison to the fresh rock significantly depleted in quartz, i.e. the most resistant major mineral. On the other hand it is not significantly depleted in Na or Ca. Thus the mineral and chemical composition of weathered rock is determined by solid-phase transport rather than water-rock chemical interaction. We show that the most probable mechanism explaining the relative depletion in quartz is transport of large amounts of slightly chemically weathered fine-grained material to lower soil horizons, which happened probably under absence of continuous organic horizon. The upper quartz-rich horizon was later eroded. Examples of vertical (but also horizontal) redistribution of fine-grained material are chemically determined contents of gold and silver, which firstly decrease but then increase with decreasing SiO_2 and increasing Al_2O_3. Neither Au (whose content is generally high, up to 2.5 ppm) nor Ag have any correlation with other chemical or mineralogical indices of hydrothermal mineralization (including the rather scarce occurrence of gold in heavy-mineral concentrates).

Significant contamination of heavy-mineral concentrates from weathered Melechov granite by allochthonous material (pyroxenes, amphiboles, garnets), which cannot be explained by anthropogenic effects only, is another evidence for lateral material transport.

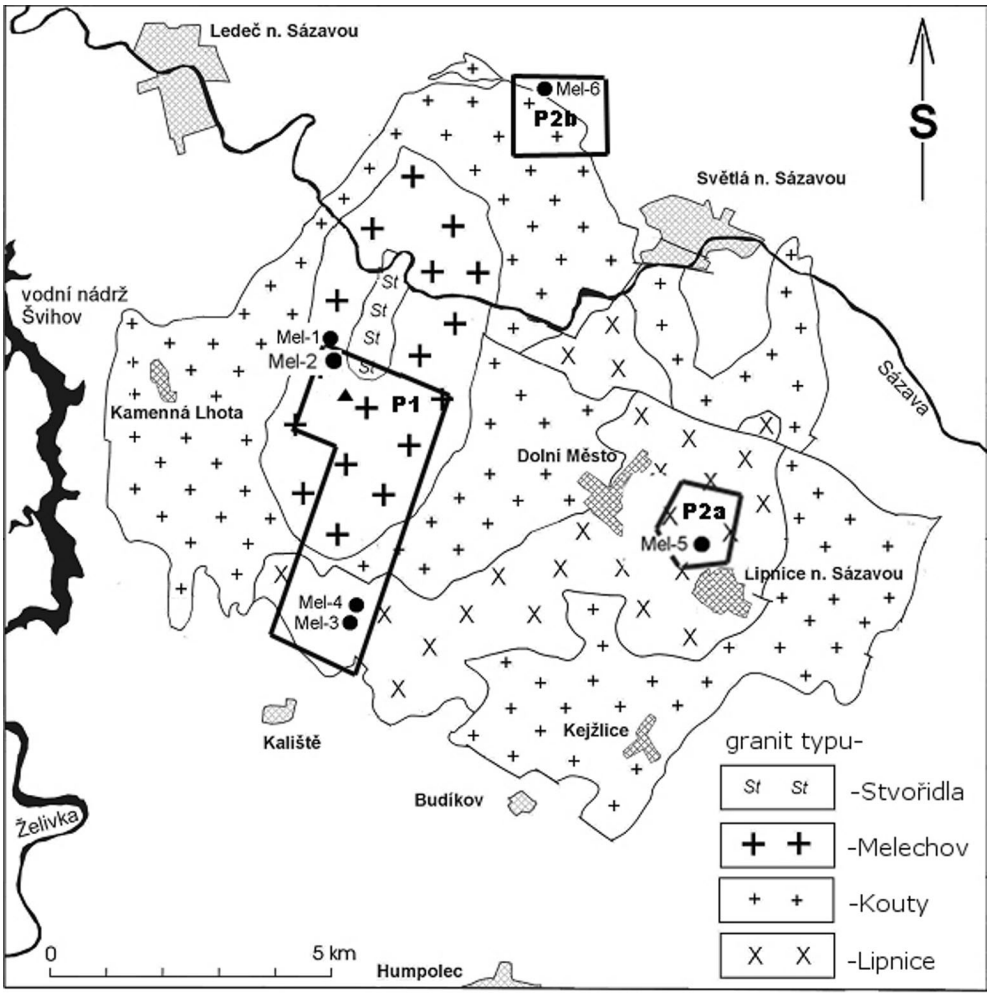
In relatively fine-grained Lipnice granite (from outer part of the Melechov Massif), these indices of material redistribution are less pronounced, and importance of chemical weathering processes is relatively higher.

Analýzy velkého počtu vzorků hornin, provedené zejména v rámci projektu testovací lokality SÚRAO (Breiter 2006 – cca 130 vzorků granitu z vrtů, Žáček a Páša 2006 – cca 170 vzorků granitu ze zvětralinového pláště), jsou dobrým základem pro hodnocení chemického zvětrávání peraluminických granitů melechovského masivu, zejména typu Lipnice a kyselejšího typu Melechov. Zvětralé granity se chemicky liší od čerstvých především nižším obsahem SiO_2, vyššími Al_2O_3 a H_2O, ze stopových prvků nižším U (viz Procházka et al. 2009, 2011). Úbytek SiO_2 a nárůst Al_2O_3 jsou výraznější v melechovském granitu, kde dokonce zvýšení hodnot Al_2O_3 a ztráty žíháním nastalo prakticky jen na úkor SiO_2 (úbytek oxidů Mg, Mn, Ti a Fe představuje celkem nejvýše první desetiny hmotnostního procenta a na rozdíl od lipnického typu zvětrání nevedlo k měřitelnému ochuzení o Na a Ca).

Jak ukázali již Procházka et al. (2011), chemické složení melechovského granitu ve skupině vzorků silně obohacených Al_2O_3 nelze ani v nejhrubších rysech vysvětlit jen úbytkem nestabilních hlavních minerálů (plagioklas, biotit, event. K-živec) a vznikem sekundárních fází (illit, smektit, vermikulit, hydroxidy Fe, kaolinit), problém by nevyřešila ani velmi nepravděpodobná tvorba AlO(OH); např. by musela být mnohem vyšší ztráta žíháním a nižší poměry alkálií k SiO_2 než ve skutečnosti. Složení zvětralin relativně velmi bohatých na Al_2O_3 však lze z mírně navětralé horniny (se zvýšenou ztrátou žíháním – hydratace, oxidace Fe) snadno odvodit, pokud vedle tvorby jílových minerálů (pravděpodobně včetně kaolinitu) došlo také k výraznému úbytku křemene, tedy fyzikálně i chemicky nejodolnějšího hlavního minerálu. Takový proces nemůže mít čistě chemické vysvětlení (jemuž neodpovídá ani chemismus vod – viz Procházka et al. 2011). Musela se tedy uplatnit i přirozená minerální separace. Procházka et al. (2011) považují za významný mechanismus transport sekundárních minerálů spolu s velmi drobnými úlomky živců (zvláště plagioklasu) a slíd, které byly dezintegrovány snadněji než křemen. Granulometricky jde převážně o prachovou frakci s neupřesněným podílem jemného písku. Význam těchto částic byl podložen i experimentálně (Procházka et al. 2013). Uvedeným možnostem nasvědčují i výsledky hodnocení kontaminace zvětralých žul, prezentované v tomto článku.

Použitá data

Zvětralé horniny byly odebírány v síti profilů z největší hloubky dosažitelné půdním vrtákem, která činila průměrně

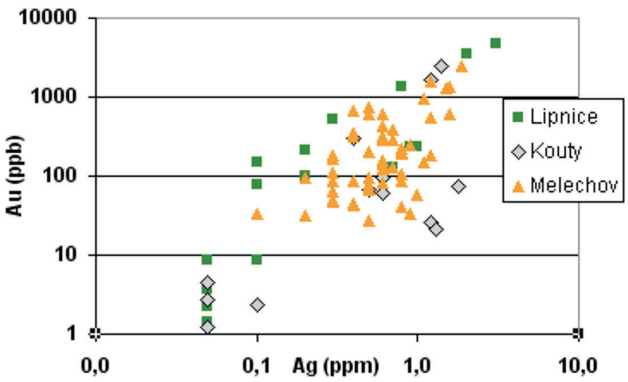


Obr. 1. Lokalizace polygonů P1, P2a, P2b (spolu s hlubšími vrty Mel-1 až Mel-6) ve zjednodušené geologické mapě melechovského masivu (podle Breitera 2006, upraveno).

1,35 m na melechovském granitu a zhruba 2 m na lipnickém (v případě příliš tvrdé horniny již u povrchu byl odběr proveden na vhodnějším místě co nejblíže). Reprezentují tedy půdní horizont C (podrobnosti viz Žáček – Páša 2006). V ploše P1 byl vzorkován převážně melechovský typ, v ploše P2a pouze lipnický (obr. 1). Lipnický granit je v ploše P1 zastoupen menším počtem vzorků a tvoří zde poměrně úzké území u kontaktu s metamorfity (tři vzorky označené jako přechodné mezi žulou a pararulou/migmatitem se však chemicky neodchylují). Granit typu Kouty, tvořící geologický podklad mezi lipnickým a melechovským typem, má většinu petrografických i chemických charakteristik přechodných mezi sousedními granity, překážkou pro hodnocení jeho zvětrávání je však malý počet vzorků (kromě plochy P2b, kde situaci komplikuje kontakt s pararulami).

Zlato a stříbro jako chemický indikátor kontaminace

Kontaminaci eluvií zejména melechovského typu drobnými částicemi nasvědčuje vysoký obsah Au ve zvětralé hornině (viz obr. 2). Těsnou korelaci s Au má Ag, i když nedosahuje výrazně anomálních koncentrací. Pouze v lipnickém a koutském typu jsou vysoké obsahy Au často



Obr. 2. Vztah Au a Ag v různých typech granitů v ploše P1 (data Žáček – Páša 2006).

doprovázeny také anomáliemi dalších prvků silně vázaných na sulfidy a žilné mineralizace (malé množství dat však nedovoluje objektivní statistické zhodnocení). V nezvětralé hornině ve vrtech nebylo Au (ani Ag) měřeno, podle dat Pouby et al. (1988) lze obecně očekávat v nealterovaném granitu průměrný obsah Au do 5 ppb. Minerály zlata ani stříbra nebyly v granitech zjištěny ani na mikrosondě. Lze proto očekávat, že jsou vázány na nehomogenity jako křemenné žíly a žilky (v typu Melechov bez dalších mineralizací, jak nasvědčuje absence korelace s dalšími prvky).

Tabulka 1a. Obsah hlavních těžkých minerálů v eluviích melechovského a lipnického typu v lese (% vzorků v jednotlivých třídách)

hornina, plocha	Melechov P1, uvnitř lesa; n = 33						Lipnice P1, uvnitř lesa; n = 8						Lipnice P2a, les; n = 53						
třída obsahu	0	1.	2.	3.	4.	5.	0	1.	2.	3.	4.	5.	0	1.	2.	3.	4.	5.	6.
ilmenit		75,8	24,2						12,5	50	25	12,5				5,7	30,2	58,5	5,7
rutil	72,7	27,3					12,5	25	50	12,5				9,4	60,4	24,5	3,8	1,9	
anatas		18,2	78,8	3,0				25	75				1,9	26,4	50,9	15,1	5,7		
limonit		9,1	27,3	63,6				37,5	62,5					1,9	37,7	39,6	18,9	1,9	
monazit	42,4	57,6						75	25					88,7	11,3				
apatit			42,4	45,5	9,1	3,0		25	37,5	37,5					20,8	41,5	28,3	9,4	
granáty	15,2	75,8	3,0	6,1				50	50				11,3	71,7	17,0				
zirkon	36,4	60,6	3,0				12,5	75	12,5				3,8	75,5	18,9	1,9			
sillimanit	57,6	42,4						12,5	62,5	25			18,9	54,7	26,4				
turmalíny		36,4	54,5	9,1				12,5	62,5	12,5	12,5		30,2	67,9	1,9				
pyroxeny	6,1	60,6	24,2	9,1			25	62,5	12,5				75,5	24,5					
amfiboly	87,9	12,1					87,5	12,5					100						
biotit	3,0	69,7	24,2	3,0			10,0	37,5	25	12,5	25		100						
chlorit	36,4	24,2	39,4				100						100						
sférule	93,9	6,1					100						94,3	5,7					
zlatinky (počet)	87,9	12,1					62,5	37,5					100						

1 – stopové množství, 2 – do 1 g/m^3, 3 – do 5 g/m^3, 4 – do 50 g/m^3, 5 – do 100 g/m^3, 6 – do 500 g/m^3

Tabulka 1b. Těžké minerály ve vzorcích eluvií č. 73 (lipnický typ) a 80 (melechovský typ) z plochy P1 (oba odebrány pod zemědělskou půdou)

č. vzorku	73	80	č. vzorku	73	80	č. vzorku	73	80	č. vzorku	73	80	č. vzorku	73	80	č. vzorku	73	80
ilmenit	5	3	biotit	1	2	monazit	1	1	pyrit	0	2	sillimanit	1	2	fluorit	0	2
rutil	2	1	chlorit	0	0	apatit	4	3	hematit	0	2	turmalíny	2	2	staurolit	0	2
anatas	2	2	sférule	1	2	granáty	1	5	magnetit	1	2	pyroxeny	0	5	andalusit	0	1
limonit	2	2	zlatinky (počet)	0	0	zirkon	1	1	arsenopyrit	0	2	amfiboly	0	2	epidot	0	3

obsahové třídy jako v tab. 1a; uvedeno též několik minerálů, které jsou v jiných vzorcích spíše ojedinělé. Podle dat Žáčka a Páši (2006)

Oba prvky se vyskytují s největší pravděpodobností převážně v ryzí podobě nebo jako slitiny, v každém případě v minerálech s vysokou hustotou. Ta však sama o sobě koncentraci Au ve zvětralinách nevysvětluje, protože prvky soustředěné v chemicky odolných těžkých akcesoriích (Zr, Ce, Th apod.) obohaceny nejsou. Nízký nebo maximálně průměrný výskyt zlatinek ve vzorcích šlichů z eluvií (tab. 1) i podle běžné šlichové prospekce (Abraham et al. 2002) ukazuje spíše na malé rozměry částic s Au (< 0,15 mm) ve zvětralém melechovském typu. V úvahu tedy přichází spíše obohacení většiny vzorků eluvií redistribucí jemnozrnného zlata, ať už ze zdrojů v ploše P1 nebo odjinud. Méně výrazná byla tato redistribuce v jemnozrnnějším lipnickém typu, což se projevuje také podstatně větším rozsahem koncentrací Au (obr. 2).

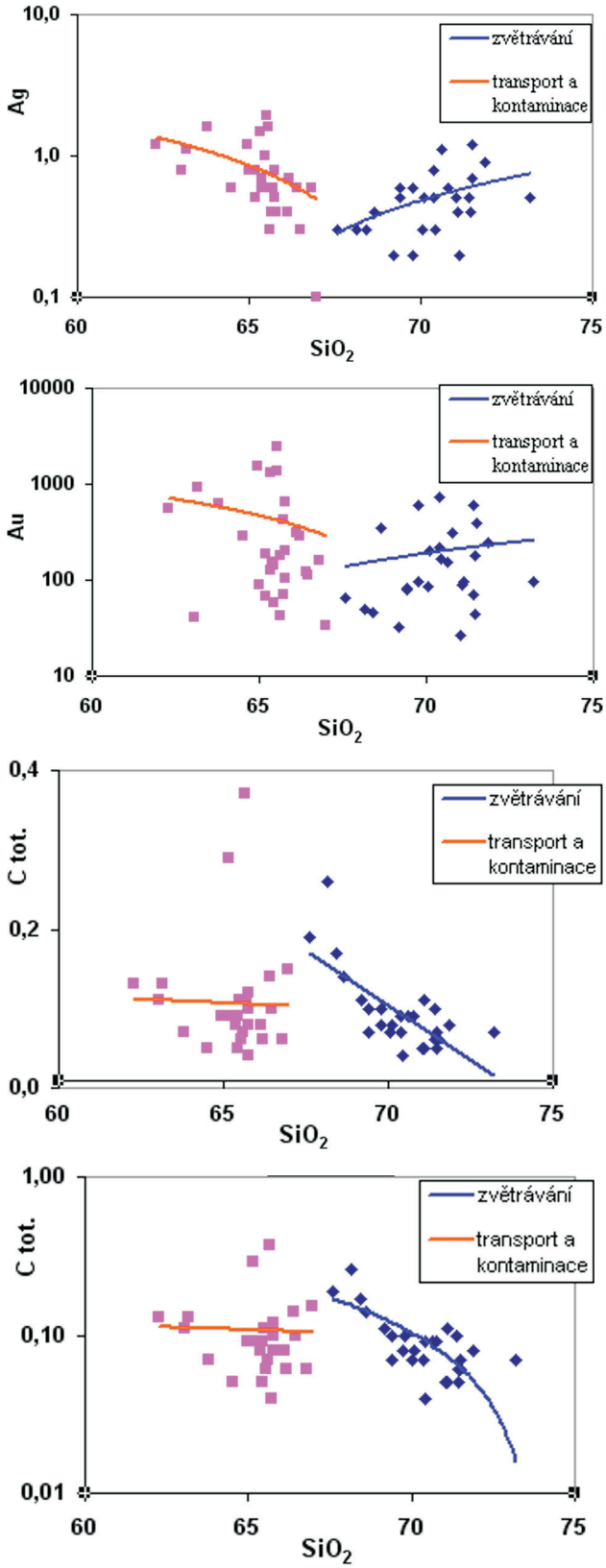
Obsah Au a zvláště Ag je ve zvětralém melechovském granitu nejnižší při obsahu SiO_2 cca 67 % (obr. 3), což je zároveň hranice mezi dvěma skupinami vzorků výrazně oddělenými podle obsahu Al_2O_3 (16,4–17,5 % a 19,8–23,1 % podle dat Žáčka a Páši 2006). To lze vysvětlit tak, že zvětrávající granit je nejprve ochuzován o oba kovy, které se oddělují z křemenných žilek. Další pokles SiO_2 je však již způsoben „zředěním“ zvětralého skeletu jemnozrnnými částicemi (převážně v prachové frakci) různého původu, což vede k opětovnému nárůstu Au a Ag.

Z dalších prvků je zajímavý vztah SiO_2 k celkovému uhlíku: s postupujícím zvětráváním obsah C v melechovském granitu samozřejmě stoupá, ale už ne při dalším obohacování o jemné (prachové) částice. To podporuje hypotézu, že obohacení nižších částí půdního profilu o většinu minerálů kromě křemene a K-živce proběhlo převážně v chladném období, kdy neexistovala dobře vyvinutá půda s organickým horizontem.

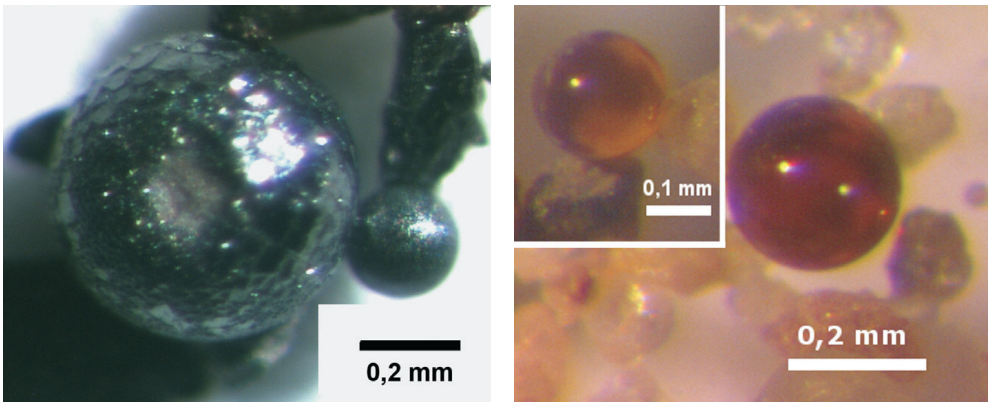
Kontaminace šlichů z eluvií

Koncentráty těžkých minerálů v plochách P1 a P2 byly získány ze stejných vzorků hornin, jaké byly podrobeny chemické analýze. Minerály ve frakci 0,15–2 mm byly standardně určovány opticky po částečné fyzikální separaci (Žáček – Páša 2006). Pozoruhodná je hlavně distribuce pyroxenů, granátů a amfibolů. Jako nepravidelnou příměs lze tyto minerály očekávat spíše v typu Lipnice, kde jsou na rozdíl od melechovského typu hojné xenolity a také byly v koncentrátu z nezvětralé horniny skutečně nalezeny amfiboly a almandin (Procházka – Matějka 2006), méně v typu Kouty. Přitom se však v eluviích melechovského granitu vyskytují zhruba stejně hojně jako v lipnickém typu v ploše P1 a více než v lipnickém typu v ploše P2a.

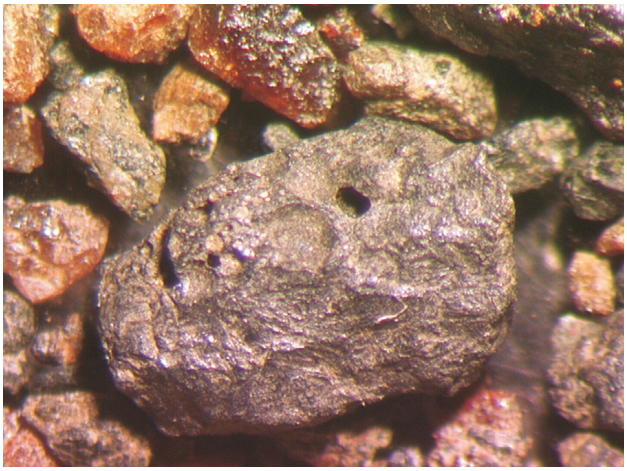
Pro odlišení antropogenní kontaminace byly z plochy P1 odděleně zpracovány vzorky odebrané uvnitř lesa a ne těsně u hlavních cest (v ploše P2a, kde pocházejí všechny vzorky ze zalesněného území, toto rozdělení nebylo provedeno). Téměř jednoznačnou antropogenní kontaminací jsou sférule, ve vzorku nejbohatším na sférule byla též nalezena pravděpodobně struska (viz obr. 4). Tyto kontaminace jsou sice často spojeny také se zvýšeným obsahem pyroxenů, granátů aj., ale vyskytují se spíše na intenzivněji



Obr. 3. Vztahy Ag, Au a C k SiO_2 ve zvětralém melechovském granitu v ploše P1. Rozděleno na skupinu relativně chudší na Al_2O_3 (více SiO_2; složení určeno hlavně zvětráváním) a skupinu bohatší na Al (méně SiO_2; složení výrazně ovlivněno přínosem pevných částic) s lineární regresí pro obě skupiny. SiO_2 a C v hmot. %, Ag v ppm, Au v ppb. Průměrný obsah SiO_2 v nezvětralém granitu z vrtů je podle dat Breitera (2006) 73,0 %.



Obr. 4. a – sférule z eluvií: vlevo magnetické ze vzorku P1/73, vpravo nemagnetické ze vzorku P1/80.



Obr. 4. b – struska ve vzorku P1/80, magnetická frakce z dělení elektromagnetem; délka objektu cca 2,5 mm.

obhospodařovaných plochách a jistě nelze předpokládat významný antropogenní vliv na těžké minerály v celé zalesněné ploše na svazích Melechova. Většinou tedy přichází v úvahu spíše přirozený transport – větrem, svahovými pohyby apod.

V ploše P1 došlo zjevně k ovlivnění eluvií různých horninových typů navzájem, možný je i vliv dnes již erodovaného nadloží. Přesto jsou i zde jasné rozdíly, např. více ilmenitu a rutilu a absence chloritu v lipnickém typu (tab. 1a).

Výskyt zlatinek ani obsah Au v eluviích v ploše P1 nemají žádný vztah k pravděpodobnosti antropogenní kontaminace (vzhledem k lokalizaci vzorku, přítomnosti sférulí apod.). V ploše P2a zlatinky vůbec nebyly nalezeny a Au nebylo měřeno ani chemicky.

Shrnutí

Zjištěné kontaminace těžkými minerály umožňují spolu s již dříve zpracovanými chemickými daty (Procházka et al. 2009, 2011, 2013) rekonstruovat základní scénář zvětrávání melechovského granitu:

1. Dezintegrace spojená s mírnou chemickou alterací (hydratace, oxidace Fe) postihuje hlavně biotit, méně albit, samotná dezintegrace i muskovit. K-živec, ačkoli chemicky méně odolný než muskovit, je díky mechanické odolnosti zvětráním ovlivněn méně. Na povrchu vzniká horizont, v němž mají křemen a K-živec výrazně větší velikost částic než všechny ostatní minerály a tvoří půdní skelet. Přitom aspoň v počáteční fázi neexistoval souvislý půdní organický horizont.

2. Volné prostory vzniklé např. tepelnou dilatací jsou vyplňovány částicemi s větším podílem albitu, akcesorií a muskovitu. V puklinách se však drobné částice mohly dostat i mnohem hlouběji. Tento gravitační pohyb způsobuje další narušení horniny vlivem západkového mechanismu, popsaného např. v recentních nebo zachovalých periglaciálních půdách (Croll – Jones 2006; Kalenda – Neumann et al. 2011). Ve zvětralinách bez souvislého (nebo dostatečně pevného) pokryvu probíhá snadněji nejen vertikální, ale i laterální transport pevných částic, což vysvětluje také kontaminaci cizorodým materiálem – pyroxeny, amfiboly, granáty, zlatem nebo slitinami Au a Ag. Zvláště zlato díky vysoké hustotě a malým rozměrům částic snadno proniká hlouběji.

3. Svrchní část takto diferencovaného profilu, bohatší křemenem, je odstraněna erozí, což vede k celkovému ochuzení o křemen. Možné je i několikeré opakování těchto procesů.

4. Po vytvoření relativně stabilní souvislé půdy dominuje zvětrávání chemické a eroze je výrazně zpomalena. Zejména na obdělávané půdě však proniká antropogenní kontaminace (sférule, zčásti pyroxeny apod.) až do spodní části půdního profilu.

Možný je i podstatně složitější vývoj než toto základní schéma.

V lipnickém granitu se podobné procesy přirozené separace minerálů také uplatnily, ale v menší míře. Důvodem je rozdílná struktura horniny: plagioklas je i přes časté alterace poměrně kompaktní, zatímco v typu Melechov většinou alterovaný způsobem, který vede k rozpadu na velmi malé úlomky; obtížnější dělitelnost lipnické žuly na zrna jednotlivých minerálů při srovnatelném působení vnějších faktorů díky jemnější zrnitosti a výskytu domén s poikilitickým K-živcem. Tyto předpoklady jsou konzistentní i s mnohem vyšší propustností melechovského granitu oproti lipnickému (L. Rukavičková, osobní sdělení).

Diskuse

Obohacení svrchního minerálního horizontu o křemen je v půdách běžné (Pelíšek 1957). Předpokládaná eroze

svrchní části někdejšího půdního nebo zvětrávacího profilu však nastoluje zajímavou otázku, kdy a v jakém prostředí k ní došlo. Podobný vývoj zatím nebyl pro recentní české půdy popsán. To platí i pro kyselé hnědé půdy na melechovském granitu (Tomášek 2007). Vzhledem k tomu, že dominance mechanického zvětrávání a eroze je typická pro chladná období, a s ohledem na analogie v periglaciálních půdách (Croll – Jones 2006) lze uvažovat o záznamu pleistocenních procesů. Podle některých místních geologů (J. Páša, osobní sdělení) byly na svazích Melechova v pleistocénu významné pohyby krátkodobě existujícího ledu nebo aspoň firnu, což mohl být jeden z činitelů předpokládané eroze.

K objasnění těchto otázek může přispět mineralogický, geochemický a strukturní výzkum úplnějších půdních profilů.

Literatura

ABRAHAM, M. – VELEBA, B. – ŠVESTKA, J. – LUNA, J. – HŮLKA, L. – ŽÁČEK, M. (2002): Regional heavy mineral prospecting in the territory of the Czech Republic. – 41 str. GEOMIN s.r.o., Jihlava.

BREITER, K. (2006): Geologická dokumentace a vyhodnocení vrtných prací. Dílčí zpráva úkolu SÚRAO Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa. – Čes. geol. služba, Praha. (Použito se svolením SÚRAO.)

CROLL, J. G. A. – JONES, E. W. J. (2006): Thermal ratchetting in periglacial environments. – Asian Conf. Permafrost, Lanzhou, China.

KALENDA, P. – NEUMANN, L., ed. (2011): Náklony, globální tektonika a predikce zemětřesení. – 245 str. Čes. geologie, Praha.

PELÍŠEK, J. (1957): Lesnické půdoznalství. – 435 str. St. zeměd. nakl., Praha.

POUBA, Z. – MORÁVEK, P. – BURIÁNKOVÁ, D. – FATKOVÁ, J. – FIALA, J. – JELÍNEK, E. – KNOTEK, M. – PUDILOVÁ, M. – RENÉ, M. (1989): Český masiv – ověřování prognóz Au. Dílčí úkol: Au-traverz. – MS Geoindustria, Praha.

PROCHÁZKA, V. – KAŠPAREC, I. – KNÉSL, I. – MATĚJKA, D. (2013): Drobné pevné částice a chemické zvětrávání melechovského granitu. – Sbor. Jihočes. Muz. (Č. Budějovice), přír. Vědy 53, 19–32.

PROCHÁZKA, V. – MATĚJKA, D. (2006): Rock-forming accessory minerals in the granites of Melechov massif. – Acta Univ. Carol., Geol. 48, 71–79.

PROCHÁZKA, V. – ŽÁČEK, M. – FOTTOVÁ, D. – MATĚJKA, D. – ŠTĚPÁNOVÁ, M., 2011: Některé vztahy mezi chemickým zvětráváním melechovského granitu a látkovou bilancí malého povodí Loukov. – Sbor. Jihočes. Muz. (Č. Budějovice), přír. Vědy 51, 5–20.

PROCHÁZKA, V. – ŽÁČEK, M. – VLČEK, V. – LANGROVÁ, A. (2009): Chování některých prvku při zvětrávání granitoidů melechovského masivu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2008, 189–195.

TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. – 68 str. Čes. geol. služba, Praha.

ŽÁČEK, M. – PÁŠA, J. (2006): Detailní geochemický výzkum. Dílčí zpráva projektu SÚRAO Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa. – MS GEOMIN s.r.o., Jihlava. (Použito se svolením SÚRAO.)