

## Fluid focusing, mass transfer and origin of fracture-controlled greisens in the Western Krušné hory granite pluton, Central Europe

Fluidkonzentrierung, Stofftransport und bruchkontrollierte Greisenbildung im westerzgebirgischen Granitpluton, Mitteleuropa

Soustředěný tok fluid, látkový přenos a vznik trhlinových greisenů v západokrušnohorském granitovém plutonu, střední Evropa

MIROSLAV ŠTEMPROK & DAVID DOLEJŠ, Praha

**Key words:** granite, greisen, hydrothermal mineralization, alteration, tin deposit, Krušné hory, Erzgebirge

### Abstract

Greisen veins and fractures form vertical swarms (sheets) cutting late Variscan granites and dykes that form the Western Krušné hory/Erzgebirge pluton. These granites and dykes show a range of chemical composition and texture. The greisens are composed essentially of quartz and phengitic muscovite, together with variable amounts of topaz, tourmaline, hematite, fluorite, cassiterite, wolframite, loellingite or arsenopyrite, zircon and secondary phosphate minerals. The formation of greisen takes place by dissolution of the original feldspars in the granite and precipitation of quartz and muscovite that are the main new phases. This is a two-stage process involving proton-alkali exchange (hydrolysis) under conditions in which Al and Si are conserved, resulting in precipitation of quartz liberated during the breakdown of feldspars by reaction with the hydrothermal fluid. The process leads to increases in the quantities of quartz to 55–60 % and of muscovite to 15–40 %. In the second stage the modal content of quartz may reach 85 % and the concentrations of other mineral constituents are thereby diluted. First, the process of mass transfer causes loss of Na while changes in K are irregular and the total content of Fe increases steadily. The depletion of major and minor elements at less than 0.5 wt. % Na<sub>2</sub>O is large because of the pervasive silicification. The contents of high field strength elements show an irregular pattern that mostly reflects and amplifies the original abundances in the precursor granites. The contents of U and Th in the greisens are distinctly decoupled from the chondrite-normalized ratios in the host granites and greisens but point to local U and Th enrichment. Phosphorus contents show a bimodal distribution in the greisens (0.06–0.14 and 0.24–0.40 wt. % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectively). This appears to reflect the original pattern of phosphorus content in the granites. All the greisens belong to the low-Li type, but local fluctuations in Li content were caused where generations of Li-poor white mica were precipitated alternately with Li-rich dark mica. The greisens were formed when the flow of hydrothermal fluid was focused into systems of vertical fractures, the formation of which postdates the emplacement and cooling of the host pluton. The vertical extent of the swarms of greisen veins determined by underground exposures and exploration drilling reaches ca. 800 m, but the source from which the fluids were tapped has not yet been identified. It is significant that greisenization has affected composite felsic-mafic dykes, as well as granite porphyry, aplitic granite and sub-volcanic rhyolitic dykes that are ca. 25–35 Ma younger than the host granites. The greisens may therefore provide evidence of a late and independent hydrothermal system of large scale.

### Zusammenfassung

Greisengänge und -spaltenfüllungen bilden senkrechte Züge in den spätvariszischen Graniten und Ganggesteinen des westerzgebirgischen Plutons. Diese Granite und magmatischen Gänge haben variable chemische Zusammensetzungen und verschiedene Texturen. Die Greisen enthalten Quarz, phengitischen Muskovit und unterschiedliche Mengen von Topas, Turmalin, Hämatit, Fluorit, Kassiterit, Wolframit, Löllingit oder Arsenopyrit, sowie Zirkon und sekundäre Phosphate. Während der Greisenbildung wurden die Feldspäte zersetzt und gelöst, und Quarz und Muskovit kristallisierten. Dies ist ein zweiphasiger Prozess mit Proton-Alkali-Aus-

tausch (Hydrolyse) bei konstantem Al und Si. In seinem Ergebnis erfolgt die Ausfällung von Quarz, der bei der Zerstörung von Feldspat durch Reaktion mit hydrothermalen Fluiden entsteht. Dabei werden Quarz auf etwa 55–70% und Muskovit auf etwa 15–40% angereichert. Im zweiten Stadium kann der Modalgehalt von Quarz 85% erreichen. Die Konzentrationen aller anderen Minerale werden dadurch verdünnt. Der Stofftransport entspricht zuerst einem Verlust an Na bei variablen Schwankungen von K und wachsendem Fe-Gehalt. Die Verarmung an Haupt- und Spurenelementen bei <0.5 Gew. % Na<sub>2</sub>O ist wegen der intensiven Silifizierung stark. Die Konzentrationen von Elementen mit hohem Ionenpotenzial (HFSE) sind unregelmäßig. Sie spiegeln meistens den Stoffhaushalt der Ausgangsgranite wieder. Die Uran- und Thorium-Gehalte der Greisen unterscheiden sich deutlich von den chondritnormierten Verhältnissen der Ausgangsgranite. Greisen zeigen lokale Anreicherungen an U und Th. Die Phosphor-Gehalte der Greisen sind bimodal verteilt (0.06–0.14 bzw. 0.24–0.40 Gew. % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Dies scheint die P-Gehalte der Ausgangsgranite zu reflektieren. Alle Greisen gehören zum Li-armen Typ. Lokale Schwankungen des Li-Gehaltes treten dort auf, wo Li-arme Hellglimmer im Wechsel mit Li-reichen Dunkelglimmern gebildet wurden. Die Greisen entstanden nach der Platznahme und Abkühlung der Wirtsgranite in vertikalen Spaltensystemen, in denen sich der Fluidfluss konzentrierte. Die vertikale Ausdehnung der Greisengangschwärme, die aus Untertageaufschlüssen und aus Bohrungen bestimmt wurde, beträgt bis 800 m, aber die Quelle der Fluide ist noch unbekannt. Es ist bedeutsam, dass die Vergreisung sowohl gemischte felsisch-mafische Gänge als auch Granitporphyr, aplitischen Granit und subvulkanische Rhyolitgänge erfasst hat, die ca. 25–35 Mio. Jahre jünger sind als die Wirtsgranite. Die Greisen können daher auf ein späteres, unabhängiges Hydrothermalsystem von grosser regionaler Verbreitung hinweisen.

## Abstrakt

Žíly s bočními greiseny a greisenizované trhliny tvoří vertikální pruhy (tahy), které přetínají pozdně variské granity a žilné vyvřelé horniny skládající západokrušnohorský pluton. Tyto granity a žilné horniny mají rozmanité chemické složení a textury. Greiseny jsou tvořeny v podstatném množství křemenem a fengitickým muskovitem a mají proměnlivé množství topazu, turmalínu, hematitu, fluoritu, kasiteritu, wolframitu, loellingitu nebo arsenopyritu, zirkonu a sekundárních fosfátů. Greiseny vznikly rozpouštěním původních živců granitu a ukládáním křemene a muskovitu jako hlavních nových fází. Greisenizace probíhá ve dvou stadiích, během nichž dochází k výměně protonů a alkálií (hydrolyze) za podmínek zachování Al a Si, a k ukládání křemene uvolněného při rozkladu živců reakcí s hydrotermálním fluidem. Tento pochod vede ke zvýšení množství křemene na 55–60 % a muskovitu na 15–40 %. Ve druhém stadiu může dosáhnout modální obsah křemene 85% a obsahy dalších minerálů se tak snižují. Pochod látkového přenosu způsobí nejprve ztrátu Na, zatímco obsahy K se mění nepravidelně a celkový obsah Fe postupně roste. Při obsazích Na<sub>2</sub>O menších než 0.5 hm. % je ochuzení hlavních a vedlejších prvků značné, jako důsledek pronikavého prokřemenění. Průběh křivky rozšíření obsahů prvků s velkým iontovým potenciálem je nepravidelný a většinou odráží a násobí jejich obsahy v původních granitech. Hodnoty Th a U jsou v granitech i greisenech odlišné od obsahů odpovídajících korovému poměru normalizovanému průměrným chondritem, a současně ukazují na místní obohacení uranem a thoriem. Obsahy fosforu v greisenech mají bimodální rozšíření (0.06–0.14 a 0.24–0.40 hm. % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a patrně odrážejí změny v obsazích fosforu v granitech. Všechny greiseny patří typu chudému lithiem, lokální zvýšení obsahů lithia mohl způsobit vznik tmavých slídků, bohatých lithiem na místo světlých, lithiem chudých. Greiseny se vytvořily soustředěním toku hydrotermálních fluid do soustavy strmých trhlín, jejichž vznik je mladší než vmístění a chladnutí okolního plutonu. Vertikální rozsah greisenových tahů určený v důlních dílech a průzkumných vrtech dosahuje 800 m, ale zdroj, z něhož fluida pocházejí, nebyl zatím určen. Je podstatné, že greisenizace ovlivnila složité mafické a felsitické žilné vyvřelé horniny, žulové porphyry, aplitické granity a subvulkanické rhyolity, které jsou o přibližně 25–35 mil. let mladší než okolní granity. Greiseny tak poskytují důkaz o pozdním, odděleném hydrotermálním systému velkého rozsahu.