

## A CSÓDI-HEGY VULKÁNI KŐZETÉNEK GEOKÉMIAJA ÉS PETROGENEZISE

### *Geochemistry and petrogenesis of the volcanic rocks from Csódi Hill (Dunabogdány, Visegrád Mts., Hungary)*

HARANGI Szabolcs

**Abstract:** The Middle Miocene subvolcanic rocks of Csódi Hill belong to the andesite-rhyodacite volcanic complex of the Visegrád Mts (Fig. 1). They were formed between 14 and 16 Ma as a part of widespread Middle Miocene to Quaternary calc-alkaline volcanism along the northern and eastern part of the Pannonian Basin. The calc-alkaline volcanism at the western segment of the Carpathian volcanic arc occurred in a retreating subduction zone, when the southward subduction of the European plate ceased and compressional tectonic field changed to extension. The present-day thickness of the crust and lithosphere beneath this area indicates that it belonged to the extended Pannonian Basin system. The origin of the calc-alkaline volcanic activity in the Western Carpathian Arc is a subject of debate, *i.e.* whether there is a direct relationship between subduction and volcanism or melt generation occurred due to thinning of lithosphere resulting in partial melting of metasomatised lithospheric mantle. Garnet-bearing volcanic rocks belong to the earliest products of the calc-alkaline volcanism. K/Ar radiometric dating implies that the volcanic rock from Csódi Hill was formed about 16 Ma.

Garnet-bearing volcanic rocks are rare world-wide and only limited data are available about them. Table I summarises the main information about garnet-bearing volcanic rocks from different localities. Rare occurrences of garnet-bearing volcanic rocks may be explained by the limited stability field of Ca-bearing and Mn-poor almandine garnets. Experimental studies pointed out that they can crystallise from H<sub>2</sub>O-rich silicic magma at high pressure (8–12 kbar). Preservation of euhedral garnet phenocrysts implies rapid ascent of the host magmas. Almandine garnets are usually hosted by peraluminous (S-type) SiO<sub>2</sub>-rich volcanic rocks, which are derived by anatexis of granulite facies metapelitic lower crustal rocks. On the other hand, there are many examples of diopside-normative (I-type) garnet-bearing volcanic rocks, which were formed from mantle-derived magmas.

The volcanic rock of Csódi Hill is classified as medium-K garnet-bearing biotite-dacite (Fig. 3). Garnets (Alm = 65–70%, Gro = 9–14%) are primary phenocrysts, *i.e.* they crystallised from the magma. They are coexisting with calcic plagioclase (An = 77–86%) and biotite (Fig. 2). Amphibole and orthopyroxene occur subordinately and they are usually strongly altered. The groundmass consists of intermediate plagioclase and subordinate Fe-Ti oxide, quartz, glass and secondary minerals. Major element composition of a garnet-bearing (VH-CSH) and a garnet-free (L-CSH) sample from Csódi Hill is presented in Table II. Slightly peraluminous composition is supported by the appearance of normative corundum ( $c = 1.48\text{--}1.88$ ) and the A/CNK > 1 ratio (A/CNK = 1.06–1.09). The N-MORB normalised trace element pattern of the dacite from Csódi Hill (Fig. 4) shows Nb and Ti trough and positive Pb anomaly, which are typical of subduction-related volcanics. Comparing of the Csódi dacite with the garnet-bearing rhyodacites from the southwestern part of the Visegrád Mts., the main differences are at the Ti–Lu range. The latter ones show strong depletion in Y and in heavy rare-earth elements, which is similar to the garnet-bearing rhyolites from the Pyrenees. Chondrite-normalised rare-earth element pattern of the Csódi dacite is smooth without any Eu-anomaly (Fig. 5). The (La/Yb)<sub>ch</sub> ratio is in the range of the garnet-free andesites of the Visegrád Mts. On the contrary, the garnet-bearing rhyodacites have a strong depletion in the heavy rare-earth elements and show a weak negative Eu anomaly. Radiogenic isotope ratios (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd) of the Csódi dacite are comparable with other garnet-bearing volcanic rocks in the area. They have high <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr (0.7092–0.7100) and low <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd isotope ratio (0.51230–0.51235), whereas garnet-free volcanics show more depleted isotope composition (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr = 0.7070–0.7092; <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.51233–0.51242).

Major element chemical variation of the volcanic rocks of the Visegrád Mts. shows a gap in the range of  $\text{SiO}_2$ , = 62–66 wt%. Garnet-bearing volcanic rocks have higher  $\text{SiO}_2$  and total alkali content than the garnet-free volcanics. Incompatible trace element ratios and radiogenic isotope ratios are not consistent with a simple fractional crystallisation or assimilation and fractional crystallisation (AFC) model to explain the genesis of the Middle Miocene volcanic series of the Visegrád Mountains. A two-component mixing model has been also proposed recently invoking a mafic mantle-derived magma and a crustal-derived rhyolitic magma end-member. However, distribution of data points in combined trace element and radiogenic isotope diagrams does not support this process, as well. Therefore, it appears that the Middle Miocene volcanic rocks of the Visegrád Mts. are not cogenetic, *i.e.* they were formed from different parental magmas, which could have been separated from each other.

Primary magma of the Csódi dacite could have been generated in a metasomatised ( $\text{H}_2\text{O}$ -rich) lithospheric mantle source by relatively high degree of melting probably resulting in a silicic (andesitic) melt. The melt generation was initiated by thinning of lithosphere during the syn-rift period of the Pannonian Basin. Metasomatism was caused by subduction-related aqueous fluids before the Miocene magmatism. Major element chemistry and oxygen isotope data of the garnets from Csódi Hill indicate that they were crystallised at a pressure above 5–6 kbar (rather at about 8–10 kbar) corresponding to the crust-mantle boundary zone. We assume that crustal slivers might be incorporated into the primary andesitic magma, resulting in an increase of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content. This allowed the high pressure crystallisation of garnet along with calcic plagioclase. Since the euhedral garnet phenocrysts are well preserved and the host rock does not show negative Eu-anomaly, the Csódi dacite could have been formed from only a slightly differentiated melt ascended relatively fast to the surface. High pressure garnet and plagioclase fractionation could result in a more differentiated magma from which the garnet-bearing rhyodacites were generated.

**Összefoglalás:** A Csódi-hegy gránáttartalmú szubvulkáni kőzete a Visegrádi-hegység középső miocén korú vulkánosságának első szakaszában képződött mintegy 16 millió éve. Ugyanekkor alakultak ki a Visegrádi-hegység délnyugati részén a gránátos riodácit lávadómok is. E vulkanizmus része a neogén korú kárpáti mészkáli vulkáni ív nyugati szegmensén lezajlott vulkáni tevékenységnek. E területen kezdetben szinte mindenhol gránátos magmák törtek a felszínre, amit az extenziós tektonikai környezet segíthetett elő. Gránáttartalmú vulkáni kőzetek világszerte ritkák és általában különleges geodinamikai környezetben jöttek létre.

A Csódi-hegy vulkáni kőzete közepes kálijellegű gránátos biotitdácit és átmeneti típusnak tekinthető az S- és I-típusú gránátos vulkáni kőzetek között. A benne található gránát elsődleges keletkezésű, azaz szilikátolvadékból kristályosodott ki a köpeny és a kéreg határzónájában. A dácitos magma gyengén peraluminios összetételű volt. A nyomelem-összetételében jelentkező negatív Nb- és Ti-, valamint pozitív Pb-anomália szubdukció (lemezalábukás) hatását jelzi. A Visegrádi-hegység többi gránátos vulkáni kőzetével ellentétben a Csódi-hegyi dácit nem szegényedett el erősen nehéz ritkaföldfémekben, továbbá nem mutat negatív Eu-anomáliát sem. Mindez arra utal, hogy a dácitmagma kevésbé differenciált olvadék volt. A radiogén izotóparányok azt jelzik, hogy a Csódi-hegyi vulkanit elsődleges magmája jelentős mennyiségű és/vagy idős kontinentális kéreganyagot asszimilált.

A geokémiai adatok alapján a Visegrádi-hegység középső miocén vulkáni kőzetei nem kogenetikusak egymással, azaz nem ugyanazon elsődleges magma fejlődéséből (akár frakcionációs kristályosodás, akár együttes asszimiláció és frakcionációs kristályosodás folyamatával) származnak. A geokémiai változékonyság nem vezethető le egyszerű kétkomponensű magmakeveredési folyamattal sem. Valószínűleg különböző összetételű magmák képződhettek egymástól elkülönülve, eltérő (köpeny, illetve kéreg) jellegű forráskőzet részleges olvadásával. A Csódi-hegyi dácit elsődleges magmája metasomatizált ( $\text{H}_2\text{O}$ -gazdag) litoszféra köpenyanyag viszonylag nagy mértékű olvadásával keletkezhetett a Pannon-medence bádeni korú szinrift szakaszához kapcsolható litoszféra-elvékonyodás következtében. A metasomatizációt szubdukcióhoz kapcsolható vízgazdag oldatok okozhatták. Az elvékonyodó alsókéregből leválló és köpenybe jutó kéregdarabok asszimilálódtak az elsődleges magmába, ami Al-dús szilikátolvadékokat hozott létre. Ez elősegítette a gránát korai, nagy nyomású, a köpeny-kéreg határzónában végbemenő kristályosodását. A gránátos illódús magma viszonylag gyorsan felszínközelségre jutott, ennek köszönhető a mélybeli események tanúinak, a gránátoknak a megmaradása.