

**МИНЕРАЛЫ БОРА - ИНДИКАТОРЫ УРОВНЯ МЕТАМОРФИЗМА БАЗИТОВ:
ДАТОЛИТ – ЦЕОЛИТОВАЯ ФАЦИЯ,
АКСИНИТ И ТИНЦЕНИТ – ПРЕНИТ-ПУМПЕЛЛИТОВАЯ ФАЦИЯ,
ТУРМАЛИН – ФАЦИЯ ЗЕЛЁНЫХ СЛАНЦЕВ И БОЛЕЕ ВЫСОКОГРАДНЫЕ**

Э.М. Спиридонов¹, Е.В. Путинцева², С.Н. Беляков³, О.Б. Лавров⁴, Е.В. Серeda⁵

1. *Московский гос. университет, Москва, Россия, ernstspiridon@gmail.com*
2. *С-Петербургский гос. университет, С-Петербург, Россия, lputinseva@mail.ru*
3. *Норильский горно-металлургический комбинат, Норильск, Россия*
4. *Институт геологии КНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*
5. *Норильскгеология, Талнах, Россия*

Магматические существенно кальциевые плагиоклазы – анортит, битовнит и лабрадор обогащены бором, содержит 50-250 г/т В (Лисицын, Хитров, 1962). Продукты замещения таких плагиоклазов – альбит, клиноцоизит, пумпеллит гораздо беднее бором – 3-15 г/т (Анастасенко, 1978; Спиридонов и др., 2000 и др.). По этой причине метабазиты постоянно сопровождается борная минерализация. При процессах метаморфизма большая часть бора в виде борной кислоты попадает в трещины гидроразрыва, по системе которых может мигрировать по крайней мере на десятки метров. Обычно бор фиксируется близ места мобилизации в виде боросиликатов Са - в датолите, аксините, тинцените, или в виде боросиликата Mg-Fe – в турмалине. Минералы бора чаще концентрируются в метаморфогенно-гидротермальных кварцевых жилах в ассоциации с альбитом и эпидотом. Поля устойчивости датолита, аксинита и турмалина перекрываются (Grew, 1996). Тем не менее, выявлена определённая эмпирическая картина их размещения в метабазитах.

Датолит $\text{CaB}[\text{OH}/\text{SiO}_4]$ – распространённый минерал жильной и гнездовой минерализации среди метабазитов высокотемпературной части цеолитовой фации в ассоциации с ломонитом, актинолитом, окенитом, апофиллитом, Fe-пренитом, ангидритом, медью (Попов, 1938; Анастасенко, 1963; Bungert, Frey, 1978; Liou et al., 1985; Спиридонов, 1989, 2014; Спиридонов, Гриценко, 2009). Ни в одном случае датолит не образует в низкоградных метабазитах сколько-нибудь существенных скоплений.

Минералы группы аксинита – широко распространённые минералы жильной и гнездовой минерализации в метабазитах пренит-пумпеллиитовой ППФ и пумпеллит-актинолитовой ПАФ фаций. Наиболее распространён ферроаксинит $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})\text{Al}_2\text{B}[\text{Si}_4\text{O}_{15}\text{OH}]$ (Lodochnikow, 1927; Steinwachs, 1929; Тимофеев, 1935; Барсанов, 1951; Simonen, 1952; Vrana, 1966; Сердюченко, Макаров, 1971; Zen E-an, 1974; Pringle, Kawachi, 1986; Юшкин и др., 1986; Яковлева, 1986; Спиридонов и др., 1997; Andreozzi et al., 2004). Магнезиоаксинит $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})\text{Al}_2\text{B}[\text{Si}_4\text{O}_{15}\text{OH}]$ – характерный минерал метабазитов, метаморфизованных совместно с породами, богатыми пиритом (Спиридонов и др., 2000). Аксинит – один из концентраторов марганца в метаморфических породах. Однако, манганаксинит развит только в скарнах со Pb-Zn оруденением. Существенно марганцевый минерал группы аксинита, в котором отдельная позиция Me^{2+} занята Mn и Mn частью замещает Са, - тинценит (севергинит) $(\text{Ca}, \text{Mn}^{2+})_2\text{Mn}^{2+}\text{Al}_2\text{B} [\text{Si}_4\text{O}_{15}\text{OH}]$ – характерный минерал метаманганолитов ППФ и ПАФ (Барсанов, 1951; Gramaccioli, 1978; Белоконова и др., 1997, 2001; Roth, 2003). В метабазитах, переходных от ПАФ к фации зелёных сланцев, развиты совместно ферроаксинит и турмалин (Спиридонов, Плетнёв, 2002).

Турмалин – дравит, шерл, увит, - развиты в метабазитах фации зелёных сланцев, амфиболитовой, гранулитовой, эклогитовой фаций (Taylor, Shlack, 1984; Henry, Guidotti, 1985; Grew, 1986). Турмалин гранулитовой фации обогащён титаном.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-05-00241).

Литература

- Анастасенко Г.Ф.* Датолит, апофиллит, пренит из бассейна р. Курейки // Тр. НИИГА. 1963. Т. 133. С. 210-216.
- Анастасенко Г.Ф.* Бороносность траппов северо-запада Сибирской платформы. Л.: изд. ЛГУ. 1978. 136 с.
- Барсанов Г.П.* О изоморфном ряде аксинита и новом минеральном виде - севергините // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1951. Вып. 3. С. 10-18.
- Белоконова Е.Л., Горюнова А.Н., Плетнёв П.А., Спиридонов Э.М.* Кристаллическая структура высокомарганцевого тинценита месторождения Фалотта, Швейцария //

- Кристаллография. 2001. Т. 46. № 1. С. 37-39.
- Белоконева Е.Л., Плетнёв П.А., Спиридонов Э.М.* О кристаллической структуре низкоМп тинценита (севергинита) // Кристаллография 1997. Т. 42. № 6. С. 1-4.
- Попов С.П.* Минералогия Крыма. М.: изд. АН СССР. 1938. 352 с.
- Сердюченко Д.П., Макаров В.Н.* Новые данные о Mg-Fe аксините из Печенги и о химическом составе аксинитов // Докл. АН СССР. 1971. Т. 197. С. 128-130.
- Спиридонов Э.М.* Метаморфические и метасоматические образования Горного Крыма. В кн.: Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. М.: изд. МГУ. 1989. Т. II. С. 136-152.
- Спиридонов Э.М.* Генетическая минералогия. Часть 5. Минералогенез при низкоградном метаморфизме – 1, -2. 2014. Электронная версия сайта кафедры минералогии геолог. ф-та МГУ. [http://www.geol.msu.ru/deps/mineral/index%20\(35\).htm](http://www.geol.msu.ru/deps/mineral/index%20(35).htm)
- Спиридонов Э.М., Барсукова Н.С., Гекимянц В.М., Плетнёв П.А.* Метаморфиты пумпеллиит-актинолитовой, пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций Южного и Среднего Урала. В кн.: Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала. Ч. 1. Екатеринбург. 1997. С. 219-221.
- Спиридонов Э.М., Гриценко Ю.Д.* Эпигенетический низкоградный метаморфизм и Co-Ni-Sb-As минерализация в Норильском рудном поле. М.: Научный мир. 2009. 218 с.
- Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Кулагов Э.А., Степанов В.К. и др.* Метавулканиты пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: изд. МГУ. 2000. 212 с.
- Спиридонов Э.М., Плетнёв П.А.* Месторождение медистого золота Золотая Гора (о "золотородингитовой формации"). М.: Научный Мир. 2002. 220 с.
- Тимофеев В.М.* Петрография Карелии // Петрография СССР. Серия 1. Региональная петрография. Вып. 5. М.-Л.: изд. АН СССР. 1935. 256 с.
- Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А.* Введение в топоминералогию Урала. М.: Наука. 1986. 294 с.
- Яковлева А.К.* Борная минерализация Печенгского и Аллареченского никеленосных районов // Новые данные по минералогии магматических. и метаморфических. комплексов Кольского п-ова. Апатиты. 1986. С. 31-37.
- Andreozzi G.B., Lucchetti S., Graziani G.* Site distribution of Fe²⁺ and Fe³⁺ in the axinite mineral group: New crystal-chemical formula // Amer. Mineral. 2004. Vol. 89. P. 1763-1771.
- Bungert R., Frey W.* Der steinbruch Kreimbach in der Pfalz // Lapis. 2010. Bd. 35. № 3. S. 13-23.
- Gramaccioli C.M.* Die Mineralien der Alpen. Stuttgart: Kosmos. 1978. 503 s.
- Grew E.S.* Borosilicates (exclusive of tourmaline) and boron in rock-forming minerals in metamorphic environments // Review in Mineralogy. Vol. 33. 1996. P. 387-502.
- Henry D.J., Guidotti C.V.* Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Main // Amer. Mineral. 1985. Vol. 70. P. 1-15.
- Liou J.G., Maruyama S., Cho M.* Phase equilibria and mineral paragenesis of metabasalts in low-grade metamorphism // Mineral. Mag. 1985. Vol. 49. P. 321-333.
- Lodochnikow W.W.* Ein zwilling und eine neue axinitfläche im albitophyr des Tarbagatai // Zeitschr. Kristallogr. 1927. Bd. 65. S. 122-133.
- Philpotts A.R., Ague J.J.* Principles of igneous and metamorphic petrology. Cambridge University Press. 2009. 667 p.
- Pringle I.S., Kawachi Y.* Axinite mineral group in low-grade regionally metamorphosed rocks in Southern New Zealand // Amer. Mineral. 1980. Vol. 65. P. 1119-1129.
- Roth F.* Minerals first discovered in Switzerland and minerals named after Swiss individuals. Achberg: Kristallografik Verlag. 2008. 239 p.
- Simonen A., Wiik H.B.* The axinites from Jokioinen and Petsamo // Bull. Comm. Geol. Finland. 1952. N 157. S. 1-6.
- Steinwachs E.* Vorkommen von axinite und prehnit in dem diabas von Silbach in Westfalen // Centralbt. für Mineral. 1929. Abt. A. S. 107-111.
- Taylor B.E., Slack J.F.* Turmalines from Appalachian – Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical, and isotopic relationships // Econ. Geol. 1984. Vol. 79. P. 1703-1726.
- Vrana S.* The vein with axinite and pumpellyite in the Male Karpaty Mountain, Slovakia // Casop. Mineral. Geol. Prague. 1966. Vol. 11. P. 415-421.
- Zen E-an* Prehnite and pumpellyite bearing mineral assemblages, west side of Appalachian metamorphic belt, Pennsylvania // J. Petrol. 1974. Vol. 15. P. 197-242.