

GRANITIC PEGMATITES: THE ČERNÝ – FOORD VOLUME

PREFACE

In late 1995, Alan Anderson used the Dalhousie University granite list server to announce an upcoming Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada symposium on granitic pegmatites in honor of Petr Černý and Eugene Foord. Within days, his e-mail box was crammed with messages from enthusiastic PIGs (*i.e.*, members of the Pegmatite Interest Group) interested in contributing to the session. It was clear from the immediate response that the symposium was going to be a large and special event. Nevertheless, the GAC–MAC organizers were momentarily stunned by the flood of over 70 abstracts submitted by “pegmatologists” from 15 different countries. In view of the great interest in the symposium, the originally scheduled half-day of talks was extended to two full days for the Černý symposium, and one morning session dedicated to pegmatite mineralogy in honor of Gene Foord. With the inclusion of two poster sessions, the pegmatite symposium at the Winnipeg GAC–MAC (May, 1996) became the largest in the history of these meetings, a deserving tribute to two scientists who have inspired so many and have contributed so much to our understanding of granitic pegmatites.

The papers in this issue of *The Canadian Mineralogist* are an outgrowth of the Černý and Foord symposia. Consistent with the interests of both Petr and Gene, the topics of the papers span a wide spectrum of pegmatite research, from regional field-based studies to detailed characterization of pegmatite minerals and fluids. However, the emphasis of the issue is clearly on the mineralogy of granitic pegmatites, which is also an accurate reflection of Petr’s and Gene’s principal scientific passion. The papers in the volume appear in a progression from regional-scale processes of derivation and migration of pegmatite-forming melts to internal evolution of an individual pegmatite, to detailed studies of mineralogy and fluid chemistry.

The mineralogical section of the issue begins with papers on phosphate minerals from pegmatite localities in central Africa, Canada, Sweden and Argentina. This is followed by studies on boron- and beryllium-bearing minerals, micas, rubidium feldspars and pollucite. Then, hydrothermal processes are represented by a paper on zinc speciation in fluid inclusions from a granitic pegmatite. The Černý–Foord issue appropriately concludes with eight papers on tantalum and niobium oxides, a subject very close to the hearts of Petr and Gene.

It has been a privilege to have been involved with the organization of the pegmatite symposium and in the editing of this thematic issue. Sadly, Gene Foord lost his battle with cancer while this issue was in preparation. He will be deeply missed by his friends and colleagues. We thank Scott Ercit for originally proposing the symposium honoring Petr Černý. Our sincere gratitude is also extended to editors Robert F. Martin and Wallace H. Maclean for expertly guiding this issue to completion. Finally, special thanks to the many reviewers who contributed their time and expertise to make this a better PIGFEST.

Alan J. Anderson
Department of Geology

St. Francis Xavier University
Antigonish, Nova Scotia B2G 1C0

Lee A. Groat
Department of Earth and Ocean Sciences
University of British Columbia
Vancouver, British Columbia V6T 1Z4

William B. (Skip) Simmons, Jr.
Department of Geology and Geophysics
University of New Orleans
New Orleans, Louisiana 70148, U.S.A.

EUGENE EDWARD FOORD, 1946–1998

PETER J. MODRESKI

U.S. Geological Survey, Mail Stop 915, Box 25046, Federal Center, Denver, Colorado 80225, U.S.A.

The death of Eugene Foord on January 8, 1998, at the age of 51, was a loss to the world's mineralogical community.

Gene was born in Berkeley, California, November 20, 1946, to Beth and Del Foord. Gene overcame a severe congenital hearing impairment, to graduate from Garden City High School, New York in 1964, followed by degrees from Franklin and Marshall College (A.B., geology, 1968); Rensselaer Polytechnic Institute (M.S., geology – petrology, 1969), and Stanford University (Ph.D., mineralogy, 1976).

At Stanford, Gene's doctoral thesis was a study of the Himalaya dike system, Mesa Grande district, San Diego County, California, and its gem tourmaline deposits. Thus began his career as a world-acclaimed expert on gem-bearing pegmatites, working for the U.S. Geological Survey first as a field and laboratory assistant (1970–1974), and then as a geologist – mineralogist from 1976 until his death in 1998. Gene's work on pegmatites included districts in California (Foord 1977, Foord & Mrose 1978, Foord *et al.* 1986, 1989, Stern *et al.* 1986, Taylor *et al.* 1979), Colorado (Foord & Martin 1979, Foord *et al.* 1984, 1995, Blasi *et al.* 1984, Kile & Foord 1998), Alabama (Foord & Cook 1989), Maine, New Hampshire, Brazil, Pakistan, Russia, and elsewhere. However, his geological and mineralogical work was by no means limited to pegmatites. Areas wherein he did notable field and laboratory work included: McDermitt, Nevada; the Golden Sunlight mine and the Stillwater complex, Montana; Round Mountain, Nevada (Shawe *et al.* 1984, Foord *et al.* 1988, Foord & Shawe 1989); Owyhee River, Nevada – Idaho (Foord *et al.* 1987); the Mescalero Apache Reservation, Hansonburg lead – zinc district, and Black Range, New Mexico (Moore *et al.* 1988, Taggart *et al.* 1988, 1989, Foord *et al.* 1985, 1991, Maxwell *et al.* 1986); the Wah Wah Mountains and Thomas Range, Utah (Shigley & Foord 1984, Foord *et al.* 1985); Alaska, U.S. Virgin Islands; Labrador; important studies of the mineralogy of the K–T boundary (Bohor *et al.* 1984, 1986, 1987); and the list goes on.

Gene was a superb, exquisitely careful, and tireless mineralogist. Throughout his career, he described or co-authored the first descriptions of some 25 new mineral species, a total which is expected to rise to approach thirty once studies now in press or in progress by his many professional colleagues are completed. His careful and thoughtful evaluation of minerals is evidenced by his precept about care in mineral identification, often voiced to colleagues and explained to interested amateurs: "never accept a tentative identification as certain until it has been confirmed by two or three independent methods of analysis". The extra time involved, which Gene was always willing to spend, helped prevent the pitfall all too commonly seen elsewhere, of assuming a mineral identity based on the apparent "best" match from only one analytical method; it was a rare, rare event (if ever) that Gene had to retract an announced identification. He was a particular believer in the value of optical

mineralogy; microscopy often reveals important, otherwise unlooked-for features that would be totally missed by a simple XRD or microprobe analysis.

The first new species Gene described was corderoite, $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$, from the Cordero mine, Nevada (Foord *et al.* 1974), soon followed by the niobium – tantalum oxide rynersonite from the San Diego mine (Foord & Mrose 1978). Other new species described by Gene include: hashemite (Hauff *et al.* 1983), minasgeraisite (Foord *et al.* 1986), planerite revalidated (1986), aheylite (1986), zimbabweite (Foord *et al.* 1986), chestermanite (Erd & Foord 1988), scrutinyite (Taggart *et al.* 1988), grandreefite (1989), pseudograndreefite (1989), laurelite (1989), aravaipaite (1989), boromuscovite (Foord *et al.* 1991a), maxwellite and squawcreekite (Foord *et al.* 1991b), ferrisurite (1992), parafransoleite (1992), kosnarite (Brownfield *et al.* 1993), hogtuvaite (1994), mccrillisite (Foord *et al.* 1994), selwynite (1995), artroeite (1995), calcio-aravaipaite (1995), and meurigite (1996). The localities for these minerals encompass some six states of the U.S plus eight other countries. In addition to new species, Gene's research included major contributions to understanding or redefining such important minerals as the turquoise group, silver-bearing galena and the lead – bismuth – silver sulfosalts (Foord *et al.* 1988, Foord & Shawe 1989), tantalum – niobium oxides and rare-earth minerals, micas and clay minerals, amazonitic microcline, topaz, red beryl, and emerald, as well as studies on crichtonite, sugilite, thortveitite, and many other mineral species.

Collaboration in his mineralogical work with many people, both professional and amateur, from all over the world was an important part of Gene's life. He was always willing to examine a new or unusual specimen, and Gene would not give up until he was positive that he had made an accurate and thorough identification of the material, no matter how long or complex the investigation became. Gene has remarked that of all the new minerals he described, only one (boromuscovite) did he first collect himself; all the others were referred to him for study by geologists from mining companies, professional colleagues, or (very often) amateur collectors. Gene's collaboration with mineralogists from around the world was legendary; his own international visits took him to Russia, China, and Pakistan. Russia always had a special place in Gene's heart; he spoke fluent Russian (self-taught), and his field visits there included the Kola Peninsula, the Transbaikalia region of Siberia, and the Primorye region (Russian Far East).

Foordite, $(\text{Sn}^{2+}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$, was named after Gene by Petr Černý and colleagues (Černý *et al.* 1988) in recognition of his many contributions to the study of granitic pegmatites and niobium – tantalum – tin minerals.

Gene contributed widely to scientific organizations. He was a long-time associate editor of *The Canadian Mineralogist* (Ed. note: five three-year terms of office, at his insistence, and still active until two months before his death), a Life Fellow of the Mineralogical Society of America, a Fellow of the Geological Society of America, and a member of the Mineralogical Association of Canada, Mineralogical Society of Great Britain, Microbeam Analysis Society, Society of Sigma Xi, Friends of Mineralogy (a past president of its Colorado Chapter), and Fluorescent Mineral Society. Gene was a Research Associate of the Denver Museum of Natural History, and shortly before his death, he was appointed a Consulting Editor to *Rocks and Minerals* magazine.

Gene's lifetime bibliography approaches 200 books, articles, abstracts, and maps; the

references cited in this memorial represent only a small selection of his significant works. Several of the major works he valued most were completed and published shortly before his death, and will stand as monuments to Gene's broad-encompassing knowledge of mineralogy: *Mineralogy of Maine* (King & Foord 1995), *Minerals of Colorado* (Eckel 1997) and *Dana's New Mineralogy*, 8th edition (Gaines *et al.* 1997). Gene wrote for both technical and amateur audiences, and he was known for the many papers and lectures he presented at amateur mineralogical meetings in Denver, Tucson, Rochester, and elsewhere, as well as at professional meetings internationally. Several papers completed by his colleagues and co-authors have already appeared since his death, including Fisher *et al.* (1998) and Kile & Foord (1998, this issue).

Those of us who knew Gene during his three-year battle against lymphoma were tremendously impressed by his perseverance and will to fight this disease. Throughout this period, which included a bone marrow transplant, Gene continued to work on mineralogy, completing two major books and numerous papers and new mineral descriptions. Gene would come in nearly every day to work at his office and the X-ray and SEM laboratories at the USGS, both when actively employed and when temporarily on medical disability retirement status, ignoring his own discomfort or pain. In his honor, the USGS in Denver has named its Mineral Resource Surveys Team X-ray diffraction laboratory the "Gene Foord Mineralogical Laboratory", and the Geologic Division lecture room has been designated the "Eugene Foord Lecture Hall". Gene is survived by his wife, Suzann, their children Laura and Robert, and his brother, Will; memorial trust funds for the Foords' children have been established at the Credit Union of Denver (telephone contact 303-236-3288). In accordance with Gene's wishes, in April 1998, his ashes were scattered on Gem Hill, San Diego County, California, near the San Diego Tourmaline Mine, the site of his first pegmatite studies.

Gene is sorely missed by his family and his many friends and professional colleagues throughout the world. We all recall fondly the stories of his exploits in pursuit of mineralogical and geological knowledge, whether we shared them personally or heard them recited by Gene with his never-failing eager and animated passion: searching through the mines, quarries, and hills of Colorado, California, New Mexico, Nevada, and New England ; swimming in Lake Baikal; trekking perilously about the Pakistan – Afghan border to visit gem pegmatites; arguing (in Russian) with uncooperative travel or customs officials, or with armed Chinese guards trying to deny him a planned mine visit; toughing it out for many days through near-starvation with a field party on the coast of Labrador while storms prevented an airplane pickup; exclaiming over the wondrous objects preserved in museums, or over some new insight into a mineral's chemistry or structure as revealed through his X-ray camera or microscope. The stories and memories go on. Gene's contributions to the science of mineralogy remain as much in the memories of his friends, as in the scientific literature.

REFERENCES

- BLASI, A., BRAJKOVIC, A., DE POL BLASI, C., FOORD, E.E., MARTIN, R.F. & ZANASSI, P.F. (1984): Structure refinement and genetic aspects of a microcline overgrowth on amazonite from Pikes Peak batholith, Colorado, U.S.A. *Bull. Minéral.* **107**, 411-422.
- BOHOR, B.F., FOORD, E.E. & GANAPATHY, R.A. (1986): Magnesioferrite from the Cretaceous – Tertiary boundary, Caravaca, Spain. *Earth Planet. Sci. Lett.* **81**, 57-66.

_____, FOORD, E.E., MODRESKI, P.J. & TRIPLEHORN, D.M. (1984): Positive mineralogic evidence for an impact event at the Cretaceous – Tertiary boundary. *Science* **224**, 867-869.

_____, MODRESKI, P.J. & FOORD, E.E. (1987): Shocked quartz from the Cretaceous – Tertiary boundary event. *Science* **236**, 705-709.

BROWNFIELD, M.E., FOORD, E.E., SUTLEY, S.J. & BOTINELLY, T. (1993): Kosnarite, $KZr_2(PO_4)_3$, a new mineral from Mount Mica and Black Mountain, Oxford County, Maine. *Am. Mineral.* **78**, 653-656.

ČERNÝ, P., FRANSOLET, A.-M., ERCIT, T.S. & CHAPMAN, R. (1988): Foordite, $SnNb_2O_6$, a new mineral species, and the foordite – thoreaulite series. *Can. Mineral.* **26**, 889-898.

ECKEL, E.B. (1997): *Minerals of Colorado, updated and revised by R.R. Cobban, D.S. Collins, E.E. Foord, D.E. Kile, P.J. Modreski, and J.A. Murphy*. Fulcrum Press, Golden, Colorado.

ERD, R.C. & FOORD, E.E. (1988): Chestermanite, a new member of the ludwigite – pinakiolite group from Fresno County, California. *Can. Mineral.* **26**, 911-916.

FISHER, J., FOORD, E.E. & BRICKER, G.A. (1998): The geology, mineralogy, and history of the Himalaya mine, Mesa Grande, San Diego County, California. *Rocks and Minerals* **73**, 156-180.

FOORD, E.E. (1977): Famous mineral localities: the Himalaya dike system, Mesa Grande district, San Diego County, California. *Mineral. Rec.* **8**, 461-474.

_____, BERENDSEN, P. & STOREY, L.O. (1974): Corderoite, first natural occurrence of $Hg_3S_2Cl_2$, Cordero mercury deposit, Humboldt County, Nevada. *Am. Mineral.* **59**, 652-655.

_____, BROWNFIELD, M.E. LICHT, F.E., DAVIS, A.M. & SUTLEY, S.J. (1994): Mccrillisite, $NaCs(Be,Li)Zr_2(PO_4)_4 \cdot 1-2H_2O$, a new mineral from Mount Mica, Oxford County, Maine and new data for gainesite. *Can. Mineral.* **32**, 839-842.

_____, ČERNÝ, P., JACKSON, L.L., SHERMAN, D.M. & EBY, R.K. (1995): Mineralogical and geochemical evolution of micas from miarolitic pegmatites of the anorogenic Pikes Peak batholith, Colorado. *Mineral. Petrol.* **55**, 1-26.

_____, COBBAN, R.R. & BROWNFIELD, I.K. (1985): Uranoan thorite in lithophysal rhyolite – Topaz Mountain, Utah, U.S.A. *Mineral. Mag.* **49**, 729-731.

_____ & COOK, R.B. (1989): Mineralogy and paragenesis of the McAllister Sn–Ta deposit, Coosa County, Alabama. *Can. Mineral.* **27**, 93-105.

_____, GAINES, R.V., CROCK, J.G., SIMMONS, W.B. & BARBOSA, C.P. (1986): Minasgeraisite, a new member of the gadolinite group from Minas Gerais, Brazil. *Am. Mineral.* **71**, 603-607.

_____, HLAVA, P.F., FITZPATRICK, J.J., ERD, R.C. & HINTON, R.W. (1991): Maxwellite and squawcreekite, two new minerals from the Black Range tin district, Catron County, New Mexico. *Neues Jahrb. Mineral., Monatsh.*, 363-384.

_____, LUESSEN, M.L., HOVORKA, D.S., PLESHA, J.A., BARTON, HARLAN, KING, H.S., CAPSTICK, D.O., BUEHLER, A.R., MAYERLE, R.T. & GABBY, P.N. (1987): Mineral resources of the Owyhee Canyon, and South Fork Owyhee River Wilderness Study Areas, Elko County, Nevada, and Owyhee County, Idaho. *U.S. Geol. Surv., Bull.* **1719-E**.

_____ & MARTIN, R.F. (1979): Amazonite from the Pikes Peak batholith. *Mineral. Rec.* **10**, 373-384.

_____, _____, FITZPATRICK, J.J., TAGGART, J.E. & CROCK, J.G. (1991): Boromuscovite, a new member of the mica group, from the Little Three pegmatite, Ramona district, San Diego County, California. *Am. Mineral.* **76**, 1998-2002.

_____ & MROSE, M.E. (1978): Rynersonite, a new calcium tantalum – niobium oxide from San Diego County, California. *Am. Mineral.* **63**, 709-714.

_____, OAKMAN, M.R. & MAXWELL, C.H. (1985): Durangite from the Black Range, New Mexico, and new data on durangite from Durango and Cornwall. *Can. Mineral.* **23**, 241-246.

_____, SHARP, W.N. & ADAMS, J.W. (1984). Zinc- and Y-group-bearing senaite from St. Peters Dome, and new data on senaite from Dattas, Minas Gerais, Brazil. *Mineral. Mag.* **48**, 97-106.

_____ & SHAW, D.R. (1989): The Pb–Bi–Ag–Cu(Hg) chemistry of galena and some associated sulfosalts: a review and some new data from Colorado, California, and Pennsylvania. *Can. Mineral.* **27**, 363-382.

_____, _____ & CONKLIN, N.M. (1988): Multiple galenas and sulfosalts – evidence for multiple episodes of mineralization in the Round Mountain and Manhattan gold districts. *Can. Mineral.* **26**, 355-376.

_____, SPAULDING, L.B. JR., MASON, R.A. & MARTIN, R.F. (1989): Mineralogy and paragenesis of the Little Three mine pegmatites, Ramona district, San Diego County, California. *Mineral. Rec.* **20**, 101-127.

_____, STARKEY, H.C. & TAGGART, J.E., JR. (1986): Mineralogy and paragenesis of “pocket clays” and associated minerals in complex granitic pegmatites, San Diego County, California. *Am. Mineral.* **71**, 428-439.

_____, TAGGART, J.E., JR., GAINES, R.V., GRUBB, P.L.C. & KRISTIANSEN, R. (1986): Zimbabweite, a new alkali – lead – arsenic tantalate from St. Anne mine, Karoi district, Zimbabwe. *Bull. Minéral.* **109**, 331-336.

GAINES, R.V., SKINNER, H.C.W., FOORD, E.E., MASON, B. & ROSENZWEIG, A. (1997): *Dana's New Mineralogy, 8th edition*. John Wiley & Sons, New York, N.Y.

HAUFF, P.L., FOORD, E.E., ROSENBLUM, S. & HAKKI, W. (1983): Hashemite, a new mineral from Jordan. *Am. Mineral.* **68**, 1223-1225.

KILE, D.E. & FOORD, E.E. (1998): Micas from the Pikes Peak batholith and its cogenetic granitic pegmatites, Colorado: optical properties, composition, and correlation with evolution. *Can. Mineral.* **36**,

KING, V.T. & FOORD, E.E. (1995): *Mineralogy of Maine. 1. Descriptive Mineralogy*. Maine Geol. Surv., Department of Conservation, Augusta, Maine.

MAXWELL, C.H., FOORD, E.E., OAKMAN, M.R. & HARVEY, D.B. (1986): Tin deposits in the Black Range tin district. *New Mexico Geol. Soc. Guidebook, 37th Field Conf. (Truth or Consequences region)*, 273-281.

MOORE, S.L., FOORD, E.E. & MEYER, G.A. (1988): Geologic map of a part of the Mescalero Apache Indian Reservation, Otero County, New Mexico. *U.S. Geol. Surv., Misc. Inv. Ser. Map I-1775*.

SHAW, D.E., FOORD, E.E. & CONKLIN, N.M. (1984): Huebnerite veins near Round Mountain, Nye County, Nevada. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.* **1287**.

SHIGLEY, J.E. & FOORD, E.E. (1984): Gem-quality red beryl from the Wah Wah Mountains, Utah. *Gems & Gemol.* **20**, 208-221.

STERN, L.A., BROWN, G.E., JR., BIRD, D.K., JAHNS, R.H., FOORD, E.E., SHIGLEY, J.E. & SPAULDING, L.B., JR. (1986): Mineralogy and geochemical evolution of the Little Three pegmatite – aplite layered intrusive, Ramona, California. *Am. Mineral.* **71**, 406-427.

TAGGART, J.E., JR., FOORD, E.E., ROSENZWEIG, A. & HANSON, T. (1988): Scrutinyite, natural occurrences of αPbO_2 from Bingham, New Mexico, U.S.A., and Mapimi, Mexico; a new mineral. *Can. Mineral.* **26**, 905-910.

_____, ROSENZWEIG, A. & FOORD, E.E. (1989): Mineralogy of the Hansonburg district, Bingham, New Mexico. *Mineral. Rec.* **20**, 31-46.

TAYLOR, B.E., FOORD, E.E. & FRIEDRICHSEN, H. (1979): Stable isotope and fluid-inclusion studies of gem-bearing granitic pegmatite – aplite dikes, San Diego County, California. *Contrib. Mineral. Petrol.* **68**, 187-205.

Received May 29, 1998.

Figure caption

Eugene E. Foord and Eugene B. Rynerson, mine owner (now deceased) at the portal of the San Diego Tourmaline mine, Mesa Grande district, San Diego County, California. Photo taken by J.E. Taggart during a field trip in 1986, on the occasion of the 14th General Meeting, International Mineralogical Association.

THE ESCAPE OF PEGMATITE DIKES FROM GRANITIC PLUTONS: CONSTRAINTS FROM NEW MODELS OF VISCOSITY AND DIKE PROPAGATION

DON R. BAKER¹

Department of Earth and Planetary Sciences, McGill University, 3450 University Street, Montreal, Quebec H3A 2A7

¹ *E-mail address: don_b@geosci.lan.mcgill.ca*

ABSTRACT

The generation of pegmatite dikes during the cooling and crystallization of granitic plutons has been calculated using new models for the prediction of granitic melt viscosities and the propagation of dikes. These new models suggest that early in the cooling history of a modeled $10 \times 10 \times 10$ km pluton, dikes cannot propagate, or will be short (on the order of 1 km), because the surrounding country-rocks have not yet been significantly heated. However, dikes formed tens to hundreds of thousands of years after intrusion can propagate up to approximately 10 km. Because the far-propagating dikes form late in the magmatic history of the pluton, they will be composed of chemically more evolved magmas than the bulk of the pluton and will crystallize as pegmatites. The model predicts that pegmatites should only rarely be found more than *ca.* 10 km from their host pluton, that more-evolved pegmatites should be found at greater distances from their host pluton than less-evolved ones, and that pegmatites should not be associated with small plutons. All of these model results are consistent with field observations, and support the petrogenetic relationship between granitic plutons and more or less evolved pegmatites surrounding them.

Keywords: granitic pegmatite, viscosity, silicate melt, thermal modeling, melt transport, dike propagation, granite pluton.

SOMMAIRE

La formation de filons de pegmatite granitique pendant le refroidissement et la cristallisation de plutons granitiques a fait l'objet de calculs fondés sur des modèles nouveaux permettant de prédire la viscosité d'un magma granitique et la propagation des filons. Ces modèles montrent qu'à un stade précoce du refroidissement d'un pluton typique mesurant $10 \times 10 \times 10$ km, il est quasiment impossible pour des filons de se propager; s'ils sont développés, ils seront très courts, de l'ordre du kilomètre, parce que les roches encaissantes n'ont pas encore été suffisamment réchauffées. En revanche, les filons formés des dizaines ou des centaines de milliers d'années après la mise en place du pluton peuvent se propager jusqu'à environ 10 km de distance. On peut s'attendre qu'à cause de leur formation tardive, ce sont des magmas dont la composition est géochimiquement évoluée qui formeront ces filons, pour cristalliser sous forme de pegmatite. Selon le modèle, on ne devrait trouver que très rarement des filons de pegmatites au delà d'environ 10 km du pluton. De plus, les pegmatites géochimiquement plus évoluées devraient être plus distales que les pegmatites plus primitives. Enfin, on ne devrait pas trouver de tels filons

autour d'un petit pluton. Toutes ces prédictions du modèle concordent avec les observations de terrain, et étayent la relation pétrologique entre plutons granitiques et le cortège de pegmatites plus ou moins évoluées qui les entoure.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: pegmatite granitique, viscosité, magma granitique, modèle thermique, transfert magmatique, propagation de filon, pluton granitique.

THE RICHEMONT RHYOLITE DYKE, MASSIF CENTRAL, FRANCE: A SUBVOLCANIC EQUIVALENT OF RARE-METAL GRANITES*

LOUIS RAIMBAULT¹

Centre d'Informatique Géologique, Ecole des Mines, 35, rue St Honoré, F-77305 Fontainebleau Cedex, France et Groupe des Sciences de la Terre, Laboratoire Pierre Süe, C.E.N. Saclay, B.P. 2, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

LUCIEN BURNOL†

62, rue A. Joly, F-78000 Versailles, France

¹ *E-mail address:* raimbault@cig.ensmp.fr

† Lucien Burnol died on January 1st, 1995.

* GéoFrance-3d contribution number 24.

ABSTRACT

A rhyolitic dyke at Richemont, Haute-Vienne, France, is shown to be the subvolcanic counterpart of rare-metal-bearing granites and pegmatites. Textural relationships provide evidence for a quenched silicate melt with less than 5% phenocrysts, consisting of albite (50%), quartz (20%), K-feldspar (20%), and muscovite (10%). The affinity with pegmatites arises from the ore mineralogy, with “uran-euxenite” and “wolfram-ixiolite” as the main rare-metal carriers. An affinity with rare-metal granites arises from the geochemistry. The composition of the rhyolite is quite similar to that of the Beauvoir Ta–Li-bearing granite, corresponding to the high-phosphorus, high-fluorine class of strongly peraluminous leucogranites, enriched in Ta, Nb, Sn, Li, and Be. The melt belongs to the family that typically crystallizes as LCT granitic pegmatites. Analyses of muscovite phenocrysts provide estimates of muscovite – melt partition coefficients, allowing an explanation of some geochemical characteristics of this type of magmatism, *e.g.*, Li, Cs, Ta and Sn increase during differentiation, and patterns of fractionation involve the ore elements W, Nb and Ta. Isolated aggregates of phosphate with inclusions of sulfosalts and of Nb, W, and Sn oxides are interpreted as signaling the onset of silicate – phosphate melt unmixing processes. Microcrystalline facies of the rhyolite are tentatively identified as the result of complete fluid unmixing, allowing a qualitative assessment of element extraction by fluids escaping from high-F melts. Although Sn, Ti, Th, Nb, and Ta are not depleted relative to the melt, other elements are removed, mildly in the case of Rb, Mn, S, Be, and Zn, strongly in the case of U, Li, B, As, F, and Ba, and very strongly in the case of W, Sb, Sr, P, and Ca.

Keywords: rhyolite, rare-metal melt, pegmatite melt, magmatic differentiation, Nb–Ta oxide, muscovite, partition coefficient, Richemont, Haute-Vienne, France.

SOMMAIRE

Le dyke rhyolitique de Richemont (Haute-Vienne, France) est un équivalent subvolcanique

des granites et pegmatites à métaux rares. Les relations texturales montrent qu'il s'agit d'un liquide silicaté trempé comportant moins de 5% de phénocristaux, formés d'albite (50%), de quartz (20%), de feldspath potassique (20%) et de muscovite (10%). L'affinité avec les pegmatites relève de la minéralogie, les principaux minéraux porteurs de métaux rares étant les espèces “uran-euxénite” et “wolfram-ixiolite”. L'affinité avec les granites relève de la géochimie, la composition de la rhyolite étant tout à fait similaire à celle du granite de Beauvoir minéralisé en Ta–Li, et correspond à la classe des leucogranites très peralumineux riches en phosphore et fluor et enrichis en Ta, Nb, Sn, Li et Be. Le liquide appartient au groupe qui cristallise normalement sous forme de pegmatites granitiques de type LCT. La détermination des coefficients de partage muscovite – liquide permet d'expliquer certaines caractéristiques géochimiques de ce type de magmatisme, par exemple l'augmentation de Li, Cs, Ta et Sn au cours de la différenciation, ou le fractionnement impliquant les éléments W, Nb et Ta. Des agrégats de phosphates isolés, avec des inclusions de sulfosels et d'oxydes de Nb, W et Sn, représenteraient le début de processus de démixion. Les faciès cristallisés de la rhyolite résulteraient du départ complet de la phase fluide, ce qui permet une évaluation qualitative de l'extraction des éléments par les fluides s'échappant des magmas riches en fluor. Alors que Sn, Ti, Th, Nb et Ta ne sont pas appauvris par rapport au liquide, Rb, Mn, S, Be et Zn sont légèrement emportés, U, Li, B, As, F et Ba sont fortement appauvris, et W, Sb, Sr, P et Ca sont très fortement appauvris.

Mots-clés: rhyolite, magma enrichi en métaux rares, magma formateur de pegmatite, différenciation magmatique, oxyde de Nb–Ta, muscovite, coefficient de partage, Richemont, Haute-Vienne, France.

THE YITT-B PEGMATITE SWARM AT BERNIC LAKE, SOUTHEASTERN MANITOBA: A GEOCHEMICAL AND PARAGENETIC ANOMALY

SCOTT D. ANDERSON¹, PETR ČERNÝ², NORMAN M. HALDEN, RON CHAPMAN
AND PAVEL UHER³

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ Present address: Campbell Resources, Inc., 1910-120 Adelaide Street, W., Toronto, Ontario M5H 1T1.

² *E-mail address:* cernyp@ms.umanitoba.ca

³ Permanent address: Geological Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, SK-842 26 Bratislava, Slovak Republic

ABSTRACT

The YITT-B granitic pegmatite swarm, located in the Bird River Greenstone Belt of the Bird River Subprovince, western Superior Province of the Canadian Shield, consists of steeply dipping to subhorizontal dykes hosted by cordierite-bearing metaturbidites. Internal structure of the pegmatites is highly variable and, most significantly, is marked by mutual textural transitions and virtual paragenetic identity of zones that would normally be distinguished as layered albite-rich aplite and saccharoidal albite. The pegmatites are best classified as peraluminous, LCT-family, beryl – columbite – phosphate subtype of the rare-element class, but they are unique in many respects. Beryl and tourmaline are extremely rare, whereas Nb,Ta-oxide minerals and cassiterite are abundant. Primary phosphates and the Nb,Ta,Sn-oxide minerals are very fine-grained and dispersed in the albite-rich zones. With the exception of the phosphates, no other minerals show secondary alteration. Geochemically, the pegmatites are enriched in (Ta > Nb) and Sn, but are very poor in Li, Be, B, and F. The level of Fe–Mn fractionation is moderate, but that of Nb–Ta is very advanced. The YITT-B pegmatites have only a limited number of approximate analogs on a global scale, and they are unique within the Cat Lake – Winnipeg River pegmatite field. The diversity of pegmatite categories in this field, accentuated by the exotic features of the examined pegmatite swarm, reflects localized generation of granitic magmas from a broad spectrum of protoliths. Separate paths of ascent and internal differentiation of the parent granites compounded the effect of the heterogeneous source lithologies on the end-product pegmatites.

Keywords: granitic pegmatite, derivation, fractionation, tantalite, ferrotapiolite, ixiolite, phosphates, YITT-B pegmatite, Manitoba.

SOMMAIRE

L'essai de venues de pegmatites granitiques de YITT-B, située dans la ceinture de roches vertes de Bird River, dans la sous-province de Bird River de la Province du Supérieur du Bouclier Canadien, comprend des filons à fort pendage ou bien subhorizontaux mis en place

dans des métaturbidites à cordierite. La structure interne des pegmatites est très variable et, faits encore plus marquants, les transitions texturales sont mutuelles et la paragenèse, identique entre les aplites litées riches en albite et les zones à albite saccharoïdale. Les pegmatites sont peralumineuses, de la famille dite LCT, du sous-type à béryl – columbite – phosphate de la catégorie à éléments rares, mais elles s'en détachent à plusieurs niveaux. Le béryl et la tourmaline sont excessivement rares, tandis que les oxydes à Nb, Ta et la cassitérite sont abondants. Les phosphates primaires et les oxydes de Nb, Ta et Sn ont cristallisé en grains très fins dispersés dans les zones riches en albite. A l'exception des phosphates, les minéraux ne montrent aucun signe d'altération secondaire. Parmi les aspects géochimiques, les pegmatites sont enrichies en Ta, Nb ($Ta > Nb$) et Sn, mais sont très appauvries en Li, Be, B, et F. Le niveau de fractionnement impliquant le Fe et le Mn est moyen, mais le degré d'évolution en termes de Nb et de Ta est très avancé. Les pegmatites du cortège YITT-B n'ont que très peu d'analogues à l'échelle mondiale, et semblent uniques dans l'essaim de pegmatites du lac Cat et de la rivière Winnipeg. La grande diversité des catégories de pegmatites dans cette région, accentuée par les caractéristiques des pegmatites examinées ici, résulte de la génération localisés de volumes de magma granitique à partir d'un spectre assez large de compositions du protolithe. La grande variabilité des pegmatites dépendrait donc des effets composites des tracés individuels de l'ascension de ces volumes de magma et de leur différenciation interne, ajoutés à la variabilité de la composition de la source.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: pegmatite granitique, dérivation, fractionnement, tantalite, ferrotapiolite, ixiolite, phosphates, pegmatite YITT-B, Manitoba.

THE FORCAREI SUR RARE-ELEMENT GRANITIC PEGMATITE FIELD AND ASSOCIATED MINERALIZATION, GALICIA, SPAIN

MERCEDES FUERTES-FUENTE¹ AND AGUSTIN MARTIN-IZARD¹

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, Arias de Velasco s/n, E-33005 Oviedo, Spain

¹ *E-mail addresses:* mercedf@asturias.geol.uniovi.es, amizard@asturias.geol.uniovi.es

ABSTRACT

The Forcarei Sur granitic pegmatite field, in the northwestern part of the Iberian Peninsula, is an example of a zoned field whose bodies of pegmatite and pegmatite – aplite belong to different subtypes of rare-element class. It occurs in the Galicia – Tras Os Montes zone, which consists of two domains: (1) schistose rocks and (2) granitic rocks, including two-mica peraluminous synkinematic granitic rocks. The pegmatites studied are located in the Schistose Domain, and their host rocks are the metasedimentary rocks of the Paraño Group, Silurian to Devonian in age. The metasedimentary rocks were affected by three main phases of deformation of Hercynian age, accompanied by low- to medium-pressure metamorphism, in the greenschist to amphibolite facies. The pegmatites are located in the southern area of the western flank of the Forcarei synform. The two-mica peraluminous synkinematic granites were emplaced during the third tectonic phase and formed the Western Granitic Complex (WGC), which is the western limit of this pegmatitic field. Emplacement of the pegmatites also was synchronous with the third tectonic phase. The geochemical and mineralogical characteristics of these pegmatites, their internal structure and conditions of emplacement allow us to classify them as rare-element pegmatites. From lesser to a greater degree of fractionation, we distinguish: a) barren, b) beryl type, c) beryl – columbite – phosphate subtype, d) albite – spodumene type, and e) albite type. The more evolved groups are located farthest from the WGC, which we considered as the parental granite owing to its geochemical characteristics and close spatial association. These evolved pegmatites are enriched in Be, Li, Nb, Ta, Sn and P, which are concentrated as beryl, columbite – tantalite, tantaliferous cassiterite, apatite and montebrasite. All these minerals appear in albitic units or in the albite-rich bands from the layered bodies. Beyond these albite-rich zones, lithium can form spodumene, depending on phosphorus activity. Most of the phosphates found are metasomatic (montebrasite, apatite, eosphorite) and formed during the sodic metasomatism or in a late hydrothermal stage that altered the phosphorus-rich feldspar; other phosphates are secondary (hydroxyl-herderite and apatite). Based on fluid-inclusion data, the pegmatitic field formed at a minimum of 3 kbars and at 550°C. A drop in pressure, from the lithostatic to hydrostatic conditions, may have occurred as a result of fluid circulation along the fractures generated by a shear zone developed at the end of the third tectonic phase.

Keywords: granitic pegmatite, rare elements, zoned pegmatitic field, fluid inclusions, phosphorus, Galicia, Spain.

SOMMAIRE

Le champ de pegmatites granitiques de Forcarei Sur, dans le secteur nord-ouest de la péninsule ibérique, offre un exemple d'un cortège zoné dans lequel massifs de pegmatite et de pegmatite – aplite sont des sous-types de la classe de pegmatites à éléments rares. Ces roches ont été mises en place dans la zone de Galice – Tras Os Montes, répartie en deux domaines, un de schistes et l'autre de roches granitiques, dont certaines sont à deux micas, hyperalumineuses et syn-cinématiques. Les pegmatites étudiées sont situées dans le domaine de schistes, les roches hôtes métasédimentaires faisant partie du Groupe de Paraño, d'âge silurien à dévonien. Ces roches ont été déformées en trois phases lors de l'orogénèse hercynienne, cause d'un métamorphisme dans le faciès schistes verts à amphibolite. Les pegmatites sont situées dans le secteur sud du flanc ouest de la synforme de Forcarei. Les granites à deux micas, hyperalumineux et syn-cinématiques ont été mis en place lors du troisième épisode et constituent le complexe granitique de l'Ouest, qui détermine la limite occidentale de ce champ de pegmatites. La mise en place des pegmatites a aussi accompagné la troisième phase tectonique. D'après les caractéristiques géochimiques et minéralogiques de ces pegmatites, leur structure interne et les conditions de leur mise en place, il s'agirait de pegmatites à éléments rares. En allant de venues moins évoluées à celles qui le sont davantage, nous distinguons: a) faciès stérile, b) type à béryl, c) sous-type à béryl – columbite – phosphate, d) type à albite – spodumène, et e) type à albite. Les groupes les plus évolués sont situés le plus loin du complexe granitique de l'Ouest, considéré comme parent à cause de ses traits géochimiques et sa proximité. Ces pegmatites évoluées sont enrichies en Be, Li, Nb, Ta, Sn et P, qui se manifestent sous forme de béryl, columbite – tantalite, cassitérite tantalifère, apatite et montébrasite. Tous ces minéraux sont développés dans les unités albitiques ou dans les couches enrichies en albite des massifs lités. Au delà de ces zones riches en albite, le lithium peut se manifester sous forme de spodumène, selon l'activité du phosphor. La plupart des phosphates seraient d'origine metasomatique (montébrasite, apatite, éosphorite), formés au cours de la metasomatose sodique ou bien lors d'un stade hydrothermal tardif qui a altéré le feldspath rich en phosphor. Les autres phosphates (hydroxyl-herdérinite et apatite) sont secondaires. Selon les inclusions fluides, le champ de pegmatites s'est formé à un minimum de 3 kbar et à 550°C. La circulation d'une phase fluide le long de fissures témoignerait d'une chute de la pression, des conditions lithostatiques à hydrostatiques, causée par un cisaillement vers la fin de la troisième phase tectonique.

Mots-clés: pegmatite granitique, éléments rares, champ zoné de pegmatites, inclusions fluides, phosphor, Galice, Espagne.

Sm–Nd ISOTOPE SYSTEMATICS AND THE DERIVATION OF GRANITIC PEGMATITES IN SOUTHWESTERN MAINE

PAUL B. TOMASCAK¹, EIRIK J. KROGSTAD² AND RICHARD J. WALKER

Isotope Geochemistry Laboratory, Department of Geology, University of Maryland, College Park, Maryland 20742, U.S.A.

¹ Present address: Department of Terrestrial Magnetism, Carnegie Institution of Washington, 5241 Broad Branch Road N.W., Washington, D.C. 20015, U.S.A. *E-mail address:* tomascak@dtm.ciw.edu

² Present address: Dansk Lithosfærcenter, Øster Voldgade 10, 1350 København K, Denmark.

ABSTRACT

The Nd isotopic compositions of monazite and apatite are used to assess the initial isotope systematics of approximately 270 Ma granitic pegmatites in the Topsham area of southwestern Maine. The isotopic compositions are compared to values of spatially associated granites and country-rock migmatites to constrain potential sources of the pegmatites. The pegmatites form two groups: (1) the Northern series, which comprise the majority of the pegmatites exposed in the area, lack abundant rare-earth-element-enriched minerals, and have $\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ in the range -2.2 to -1.4 ; (2) the Standpipe Hill series, distinguished by an enrichment in rare-earth-element minerals, displays a $\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ in the range -3.4 and -3.3 . Data for each group are internally consistent and suggest that the different pegmatite series were not derived from a single isotopically uniform source. The source of the Standpipe Hill series resembles adjacent biotite leucogranite [$\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ between -3.9 and -3.7]. The Northern series pegmatites have Nd isotopic characteristics similar to both migmatites that they intrude [$\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ between -2.9 and $+0.8$], and fine-grained biotite granites located *ca.* 15 km east of the pegmatites [$\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ between -2.5 and -1.7]. The isotopic data demonstrate that spatially and temporally related pegmatites need not be derived from identical sources.

Keywords: apatite, monazite, neodymium isotopes, granitic pegmatites, Topsham, Maine.

SOMMAIRE

La composition isotopique du Nd de la monazite et de l'apatite sert à évaluer les caractéristiques initiales des pegmatites granitiques mises en place il y a environ 270 Ma dans la région de Topsham, dans le sud-ouest du Maine. On compare leur composition isotopique à celle des granites associés dans la région, et des roches encaissantes migmatitiques, afin d'en définir la source. Les pegmatites se répartissent en deux groupes: (1) les pegmatites de la série du Nord, qui comprend la majorité des pegmatites affleurant dans la région, ne possèdent pas une abondance de minéraux de terres rares, et ont une valeur $\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ comprise entre -2.2 et -1.4 ; (2) les pegmatites de la série de Standpipe Hill, enrichies en minéraux des terres rares, possèdent une valeur $\epsilon_{\text{Nd}}(270 \text{ Ma})$ de -3.4 à -3.3 . Les données pour chaque groupe montrent une concordance

interne, et semblent indiquer que les deux séries ne pourraient pas avoir la même source isotopiquement uniforme. La source des venues de la série de Standpipe Hill ressemble à celle des massifs de leucogranite à biotite adjacents [$\epsilon_{Nd}(270 \text{ Ma})$ entre -3.9 et -3.7]. Les pegmatites de la série du Nord possèdent des caractéristiques isotopiques semblables à celles des migmatites qu'elles recoupent [$\epsilon_{Nd}(270 \text{ Ma})$ entre -2.9 et $+0.8$] et des granites à biotite à grains fins, situés environ 15 km à l'est des pegmatites [$\epsilon_{Nd}(270 \text{ Ma})$ entre -2.5 et -1.7]. Les données isotopiques démontrent qu'un cortège de pegmatites granitiques associées dans l'espace et dans le temps ne sont pas nécessairement dérivées de sources identiques.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: apatite, monazite, isotopes de néodyme, pegmatites granitiques, Topsham, Maine.

RARE-ELEMENT MINERALOGY AND INTERNAL EVOLUTION OF THE RUTHERFORD #2 PEGMATITE, AMELIA COUNTY, VIRGINIA: A CLASSIC LOCALITY REVISITED

GREGORY R. LUMPKIN¹

Materials Division, Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Private Mail Bag 1, Menai, New South Wales 2234, Australia

¹ *E-mail address: grl@nucleus.ansto.gov.au*

ABSTRACT

The Rutherford #2 granitic pegmatite is a steeply dipping, symmetrically zoned body emplaced within Late Precambrian to early Paleozoic gneisses in the Amelia district of central Virginia. An important suite of rare-element accessory minerals is present and provides evidence relating to internal fractionation of the pegmatite melt–fluid during crystallization. *Allanite* crystallized primarily in the wall zone and outer intermediate zone (perthite hood), and contains up to 5.0 wt.% ThO₂. *Fergusonite* also crystallized in the wall zone and in the second intermediate zone. With increasing fractionation, the Ta/(Ta + Nb) ratio increases from 0.08 to 0.22, accompanied by an increase in Th and a decrease in the amounts of Ti, U and Ca. *Monazite* mainly occurs in the second intermediate zone and contains up to 29 wt.% ThO₂, 6.0 wt.% SiO₂, and 1.4 wt.% CaO. *Columbite – tantalite* compositions vary systematically from ferrocolumbite with a Mn/(Mn + Fe) value of 0.22 and a Ta/(Ta + Nb) value of 0.17 in the second intermediate zone to manganotantalite with Mn/(Mn + Fe) = 0.86 and Ta/(Ta + Nb) = 0.53 toward the quartz core, accompanied by a general decrease in minor element contents. X-ray-diffraction work indicates that columbite is well ordered (*f* in the range 0.73–1.00, *Q* in the range 0.79–0.98). *Microlite* exhibits significant changes in composition from the second intermediate zone toward the quartz core, characterized by an increase in Ta/(Ta + Nb) value from 0.72 to 0.89, decreasing amounts of Ti and U, and increasing amounts of Ca, Na, and F. Additional minor accessory phases present in the second to inner intermediate zones are *cassiterite*, *fermsmite*, *thorite*, *wodginite*, *xenotime*, and *zircon*. The data indicate that extensive fractionation of Mn, Fe, and rare elements occurred during crystallization of the Rutherford #2 pegmatite. From wall zone to quartz core, the pegmatite melt–fluid evolved from a system enriched in REE, Fe, Nb, Ti, Th, and U to one enriched in Mn, Ta, Sn, Zr, and Hf. These observations are discussed in relation to the major mineral assemblages and the behavior of H₂O, Li, B, F, and P in the pegmatite system.

Keywords: granitic pegmatite, fractionation, allanite, fergusonite, zircon, monazite, columbite – tantalite, microlite, fermite, wodginite, cassiterite, Amelia, Virginia.

SOMMAIRE

La pegmatite granitique de Rutherford #2, formant une lentille à pendage aigu zonée symétriquement, a été mise en place dans une séquence de gneiss d'âge tardi-précambrien ou bien

paléozoïque précoce dans le district d'Amelia, en Virginie centrale. Elle contient une importante association de minéraux accessoires enrichis en éléments rares; ceux-ci servent de moniteurs du degré de fractionnement interne du système pegmatite melt + fluide au cours de sa cristallisation. L'*allanite* a cristallisé surtout dans la zone de la paroi externe et dans la zone intermédiaire externe (chapeau de perthite); elle contient jusqu'à 5.0% de ThO₂ (en poids). La *fergusonite* a aussi cristallisé dans les mêmes zones; avec le fractionnement du système, le rapport Ta/(Ta + Nb) augmente de 0.08 à 0.22, la teneur en Th augmente, et les teneurs en Ti, U et Ca diminuent. On trouve la *monazite* surtout dans la deuxième zone intermédiaire; elle contient jusqu'à 29% de ThO₂, 6.0% de SiO₂, et 1.4% de CaO (proportions pondérales). Les compositions de *columbite* – *tantalite* varient de façon systématique de ferrocolumbite ayant une valeur de Mn/(Mn + Fe) de 0.22 et de Ta/(Ta + Nb) de 0.17 dans la deuxième zone intermédiaire à manganotantalite avec Mn/(Mn + Fe) = 0.86 et Ta/(Ta + Nb) = 0.53 vers le noyau de quartz; cette zonation est accompagnée d'une diminution générale en teneur des éléments mineurs. Une caractérisation par diffraction X montre que la columbite est bien ordonnée (*f* compris entre 0.73 et 1.00, *Q* entre 0.79 et 0.98). Le *microlite* fait preuve de changements importants de composition dans la transition de deuxième zone intermédiaire vers le noyau de quartz, dont une augmentation en Ta/(Ta + Nb) de 0.72 à 0.89, une diminution du niveau de Ti et de U, et une augmentation dans la teneur de Ca, Na, et F. Parmi les autres accessoires dans les zones intermédiaires figurent *cassitérite*, *fermite*, *thorite*, *wodginite*, *xénotime*, et *zircon*. Les données témoignent d'un fractionnement marqué de Mn, Fe, et des éléments rares au cours de la cristallisation de la pegmatite de Rutherford #2. De la paroi vers le noyau de quartz, le système magma + fluide a évolué; d'abord enrichi en terres rares, Fe, Nb, Ti, Th, et U, il est devenu enrichi en Mn, Ta, Sn, Zr, et Hf. Ces comportements découlent des assemblages de minéraux dominants dans le système et de la distribution de H₂O, Li, B, F, et P.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: pegmatite granitique, fractionnement, allanite, fergusonite, zircon, monazite, columbite – tantalite, microlite, fersmite, wodginite, cassitérite, Amelia, Virginie.

LA SERIE JOHNSOMERVILLEITE – FILLOWITE DANS LES ASSOCIATIONS DE PHOSPHATES DE PEGMATITES GRANITIQUES DE L'AFRIQUE CENTRALE*

ANDRÉ-MATHIEU FRANSOLET¹

Laboratoire de Minéralogie, Bâtiment B18, Université de Liège, B-4000 Liège, Belgique

FRANÇOIS FONTAN

Laboratoire de Cristallographie et de Minéralogie (U.M.R. 5563), Université Paul-Sabatier, 39, Allées Jules-Guesde, F-31000 Toulouse, France

PAUL KELLER

Institut für Mineralogie und Kristallchemie, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 55, D-70569 Stuttgart, Deutschland

DIANO ANTENUCCI

Laboratoire de Minéralogie, Bâtiment B18, Université de Liège, B-4000 Liège, Belgique

* The series johnsomervilleite – fillowite in phosphate associations of granitic pegmatites of central Africa.

¹ *E-mail address:* amfransolet@ulg.ac.be

SOMMAIRE

De nouvelles analyses chimiques par voie humide et à la microsonde électronique sont fournies pour la johnsomervilleïte de la pegmatite de Kiluli, Rwanda, et pour la fillowite des gisements pegmatitiques de Buranga et Rusororo, Rwanda, et de Kabira, Ouganda, ainsi que pour l'alluaudite intimement associée à la fillowite de ces trois pegmatites. Les résultats, considérés avec les données de la littérature, sont discutés sur la base d'une formule cristallographique $\text{Na}_5(\text{Ca}_2\text{Na})_{\Sigma 3}\text{X}_{22}(\text{PO}_4)_{18}$. L'accent est mis sur le rôle cristallographique de Ca, dont le nombre d'atomes peut facilement atteindre 1 parmi les 22 cations X de cette formule. Ca peut également occuper tous les sites de coordinence 8 qu'il partage habituellement avec Na; cela impose alors que des sites réservés à Na deviennent vacants. De plus, les paramètres cristallographiques des membres de la série johnsomervilleïte – fillowite, dans une orientation hexagonale de la maille, montrent un accroissement notable avec l'augmentation de la teneur en Mn. D'après les relations pétrographiques observées, la johnsomervilleïte de Kiluli se présente comme une phase primaire, intimement associée à un terme oxydé de la série $\text{Li}(\text{Fe},\text{Mn})\text{PO}_4$ et au sarcopside. La fillowite et l'alluaudite forment, à Buranga, Rusororo et Kabira, une paragenèse, ce qui constitue un argument supplémentaire en faveur du caractère non métasomatique de l'alluaudite dans certaines associations de phosphates.

Mots-clés: fillowite, johnsomervilleïte, alluaudite, paragenèses de phosphates, pegmatite granitique, Afrique centrale.

ABSTRACT

New results of wet-chemical and electron-microprobe analyses are given for an occurrence of johnsomervilleite from the Kiluli pegmatite, Rwanda, and for samples of fillowite from the granitic pegmatite bodies of Buranga and Rusororo, Rwanda, and of Kabira, Uganda, as well as for the closely associated alluaudite. These results and the data collected in the literature are reconsidered on the basis of a crystallochemical formula $\text{Na}_5(\text{Ca}_2\text{Na})_{\Sigma 3}\text{X}_{22}(\text{PO}_4)_{18}$. The crystallochemical role of Ca is emphasized. The number of Ca atoms can easily attain 1 among the 22 X cations in this formula. Ca may also occupy all the 8-fold coordinated sites that it normally shares with Na; in such cases, lattice vacancies must occur on the large sites populated by Na. Moreover, the crystallographic parameters of members of the johnsomervilleite – fillowite series, in the hexagonal orientation of the unit cell, clearly increase with the increase in Mn contents. In view of the observed petrographic relationships, johnsomervilleite from Kiluli occurs as a primary phase, associated with an oxidized member of the $\text{Li}(\text{Fe},\text{Mn})\text{PO}_4$ series, and sarcopside. In Buranga, Rusororo, and Kabira, fillowite and alluaudite form an actual assemblage; new arguments are provided for an assessment of the non-metasomatic origin of alluaudite occurring in some phosphate associations.

Keywords: fillowite, johnsomervilleite, alluaudite, phosphate mineral parageneses, granitic pegmatite, Central Africa.

GRAFTONITE – BEUSITE IN GRANITIC PEGMATITES OF THE SUPERIOR PROVINCE:
A STUDY IN CONTRASTS

PETR ČERNÝ¹ AND JULIE B. SELWAY

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

T. SCOTT ERCIT

Mineral Sciences Section, Canadian Museum of Nature, Ottawa, Ontario K1P 6P4

FRED W. BREAKS

Ontario Geological Survey, Mines and Minerals Research Centre, Sudbury, Ontario P3E 6B5

ALAN J. ANDERSON

*Department of Geology, St. Francis Xavier University, P.O. Box 5000, Antigonish, Nova Scotia
B2G 2W5*

SCOTT D. ANDERSON²

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ *E-mail address:* cernyp@ms.umanitoba.ca

² *Present address:* Campbell Resources Inc., 1910-120 Adelaide Street West, Toronto, Ontario
M5H 1T1.

ABSTRACT

Graftonite – beusite occur in only three localities of granitic pegmatites in the Superior Province of the Canadian Shield. The three occurrences illustrate the broad crystal-chemical, geochemical and genetic flexibility of this phosphate series. (i) In the granulite-facies terrane at Conifer Road in northwestern Ontario, a geochemically primitive, barren pegmatite of the Treelined Lake granitic batholith carries graftonite with inclusions of Sc-bearing, Mg-rich johnsomervilleite and exsolved sarcopside lamellae; all three phases rank with the most Fe- and Mg-rich compositions analyzed to date in terrestrial samples. (ii) In the YITT–B pegmatites, atypical members of the beryl – columbite – phosphate subtype at Bernic Lake, southeastern Manitoba, homogeneous Ca-rich beusite is Mn-dominant and associated with manganoan fluorapatite and traces of triplite and triphylite. (iii) In the #22 pegmatite, of the beryl – columbite – phosphate subtype, at Cross Lake in north-central Manitoba, homogeneous Ca-poor beusite shows the most manganoan composition known to date, and is associated with similarly Mn-rich fillowite, fluorapatite and triplidite, plus two unidentified phosphates. Low activities of Na, Li and F, combined with concentrations of Ca, Fe, Mn (and locally Mg), are required to stabilize graftonite – beusite. These conditions cannot be expected to be widespread in the rare-element pegmatites of the Superior Province, as most of them show early enrichment in Li and F in their

regional fractionation trends. Consequently, graffonite – beusite is not stable, as triphylite – lithiophilite tends to be a relatively early phase, and fluorapatite consumes all phosphate-bound Ca.

Keywords: graffonite, beusite, sarcopside, johnsomervilleite, phosphates, crystal chemistry, granitic pegmatites, fractionation, Superior Province.

SOMMAIRE

Une membre de la série graffonite – béusite a été signalé à seulement trois endroits parmi les pegmatites granitiques de la Province du Supérieur du Bouclier canadien. Ces trois exemples témoignent de la flexibilité cristallochimique, géochimique et génétique de cette série de phosphates. (i) Dans le socle granulitique de Conifer Road, dans le nord-ouest de l'Ontario, une pegmatite géochimiquement primitive et stérile du batholithe granitique de Treelined Lake contient de la graffonite avec inclusions de johnsomervilleite riche en Mg et scandifère, et des lamelles d'exsolution de sarcopside; chacune des trois phases se classe parmi les exemples terrestres les plus riches en Fe et Mg qui soient connus. (ii) Dans les pegmatites de l'essai YITT-B, des membres atypiques du sous-type à béryl – columbite – phosphate au lac Bernic, au sud-est du Manitoba, contiennent de la béusite relativement calcique homogène à dominance de Mn, associée à la fluorapatite manganifère et à des traces de triplite et triphylite. (iii) Dans la pegmatite #22, du sous-type à béryl – columbite – phosphate, au lac Cross, dans le centre-nord du Manitoba, la béusite homogène et à faible teneur en Ca possède la composition la plus riche en Mn qui soit connue; elle est associée à la fillowite, fluorapatite et triploïdite aussi enrichies en Mn, en plus de deux phosphates méconnus. De faibles activités de Na, Li et F, et des concentrations de Ca, Fe, Mn (et, sur le plan local, Mg), seraient nécessaires pour stabiliser la série graffonite – béusite. On ne s'attend pas que ces conditions soient répandues dans les pegmatites enrichies en éléments rares de la province du Supérieur. Dans la plupart des cas, ces pegmatites montrent un enrichissement précoce en Li et F dans leur tracé d'évolution régionale. Par conséquent, la graffonite – béusite n'est pas stable, parce que la série triphylite – lithiophilite tend à cristalliser tôt, et la fluorapatite accommode tout le calcium destiné à la fraction phosphatée.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: graffonite, béusite, sarcopside, johnsomervilleite, phosphates, chimie cristalline, pegmatite granitique, fractionnement, Province du Supérieur.

GRAFTONITE – BEUSITE IN SWEDEN: PRIMARY PHASES, PRODUCTS OF EXSOLUTION, AND DISTRIBUTION IN ZONED POPULATIONS OF GRANITIC PEGMATITES

STEN-ANDERS SMEDS¹

Institute of Earth Sciences, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden

PAVEL UHER² AND PETR ČERNÝ³

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

MICHAEL A. WISE

Department of Mineral Sciences, Smithsonian Institution, Washington, D.C. 20560, U.S.A.

LARS GUSTAFSSON

Glidflyktsgatan 2, SE-128 33 Skarpnäck, Sweden

PAUL PENNER⁴

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ *E-mail address:* smeds@uppsala.mail.telia.com

² Permanent address: Geological Institute of the Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, SK-842 26 Bratislava, Slovak Republic. *E-mail address:* geoluher@savba.savba.sk

³ *E-mail address:* cernyp@ms.umanitoba.ca

⁴ Present address: c/o 235 Knowles Avenue, Winnipeg, Manitoba R2G 1C8.

ABSTRACT

Graftonite – beusite is relatively widespread in the LCT family of granitic pegmatites of the Bothnian basin and of the Utö – Mysingen field in Sweden. It commonly constitutes the matrix containing either coarse lamellae of sarcopside, which in turn hosts fine lamellae of triphylite, or abundant lamellae of triphylite with bimodal size-distribution. Deformed and recrystallized granular aggregates of graftonite with triphylite, wolfeite and sarcopside are rare. Graftonite – beusite is systematically Ca,Mn-rich and Mg-poor relative to sarcopside, which in turn is slightly Mn-rich and distinctly Mg-poor relative to the Li-concentrating triphylite. Bulk compositions of the lamellar aggregates, crystal-chemical and textural relationships among the individual phosphates, and cation distribution – coefficients indicate two patterns of exsolution that generated the lamellar intergrowths from disordered homogeneous precursors: Ca,Li-poor graftonite exsolved lithian sarcopside, which in turn broke down to sarcopside with triphylite lamellae, and Ca,Li(Mn)-rich graftonite – beusite exsolved triphylite directly. In regional zoning of pegmatite groups, Ca-bearing graftonite – beusite is either the first Fe,Mn(Li)-phosphate encountered in the beryl – columbite pegmatites, or it is found within the zone of beryl – columbite – triphylite pegmatites. Appreciable concentrations of Ca, Fe, Mn (and in part Mg), but

low levels of F and Na are required to stabilize grafftonite – beusite. Good correlation of the Mn/(Mn + Fe) values of the phosphates with those of garnet suggests that the homogeneous grafftonite – beusite precursor could have been generated by phosphorus-induced destabilization of garnet.

Keywords: grafftonite, beusite, triphylite, sarcopside, phosphates, exsolution, granitic pegmatite, regional zoning, Sweden.

SOMMAIRE

La solution solide grafftonite – béusite est relativement répandue parmi les pegmatites granitiques de type LCT dans le bassin de Bothnie et dans le champ de Utö – Mysingen, en Suède. Un de ces minéraux forme l'hôte de lamelles substantielles de sarcopside, qui à son tour contient de fines lamelles de triphylite, ou bien des lamelles abondantes de triphylite dont la taille montre une distribution bimodale. Les agrégats déformés, recristallisés et granulaires de grafftonite avec triphylite, wolféite et sarcopside sont rares. La série grafftonite – béusite s'avère systématiquement enrichie en Ca et Mn, et appauvrie en Mg par rapport au sarcopside qui, à son tour, est légèrement enrichie en Mn et fortement appauvrie en Mg par rapport à la triphylite, qui concentre le Li. D'après les compositions globales des agrégats lamellaires et les considérations cristallographiques et texturales parmi ces phosphates, et les coefficients de distribution des cations, deux schémas d'exsolution semblent expliquer les intercroissances lamellaires à partir d'un précurseur homogène et désordonné: grafftonite à faible teneur en Ca et Li exsolve le sarcopside lithique, qui à son tour se déstabilise en sarcopside avec lamelles de triphylite; en revanche, la grafftonite ou la béusite riche en Ca et Li(Mn) produit des lamelles de triphylite directement. Dans une suite de venues pegmatitiques montrant une zonation régionale, grafftonite – béusite relativement calcique est le premier phosphate de Fe et Mn(Li) à cristalliser dans la zone à béryl – columbite, ou dans la zone à béryl – columbite – triphylite. Des concentrations importantes de Ca, Fe, Mn (et, en partie, Mg) et des faibles concentrations de F et de Na seraient nécessaires pour stabiliser la série grafftonite – béusite. La bonne corrélation des valeurs Mn/(Mn + Fe) des phosphates et du grenat fait penser que le précurseur grafftonite – béusite homogène pourrait résulter de la déstabilisation du grenat dans la magma progressivement enrichi en phosphore.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: grafftonite, béusite, triphylite, sarcopside, phosphates, exsolution, pegmatite granitique, zonation régionale, Suède.

MITRIDATITE FROM THE SAN LUIS GRANITIC PEGMATITE, LA FLORIDA,
ARGENTINA

MIGUEL A. GALLISKI¹ AND M. FLORENCIA MÁRQUEZ ZAVALÍA
*IANIGLA-CONICET, CC 330 (5500) Mendoza, Argentina, and Department of Geology,
University of San Luis, Ejército de Los Andes 950, (5700) San Luis, Argentina*

IRENE LOMNICZI de UPTON
Department of Chemistry, University of Salta, Buenos Aires 177, (4400) Salta, Argentina

JULIO C. OYARZÁBAL
*Department of Geology, University of San Luis, Ejército de Los Andes 950, (5700) San Luis,
Argentina*

¹ *E-mail address:* mag@lanet.losandes.com.ar

ABSTRACT

An unusual coarse-grained sample of mitridatite from a granitic pegmatite is described. The mineral was found in three pieces of a fragmented nodule ~10–20 cm, in the dumps of the San Luis mine, La Florida, Argentina. Similar nodules of primary triphylite–lithiophilite altered to ferrisicklerite and dufrénite are included in quartz from the core-margin association of the rare-element-enriched, spodumene-bearing granitic pegmatite. Mitridatite is very dark green, almost black, has a dull pale green streak and deep ruby red internal reflections. It has very good {100} cleavage, vitreous luster, a density of 3.221 g/cm³ and a Mohs hardness of 5 to 5.5. The three strongest X-ray powder-diffraction lines [*d* in Å(I)(*hkl*)] are: 8.70(100)(200), 2.901(80)(600), and 2.176(60)(800). The refined unit-cell parameters are: *a* 17.505(1), *b* 19.327(3), *c* 11.261(6) Å, β 96.05(1)°, *V* 3788(1) Å³. Optically, mitridatite is transparent, with *X* pale green, almost colorless, *Y* = *Z* dark reddish brown, biaxial (–), 2*V* ~10°, α 1.775(5), β 1.843(5), γ 1.844(5), and very strong dispersion. The chemical composition gives: CaO 17.16, Mn₂O₃ 1.34, Fe₂O₃ 35.26, P₂O₅ 32.26, H₂O⁺ 8.41, H₂O[–] 0.56, Rem. 4.51, which gives Ca_{6.01}(H₂O)₆[Fe³⁺_{8.67}Mn_{0.33}O_{6.15}(PO₄)_{8.92}]**•**3.17 H₂O. The mitridatite is considered to have formed by hydrothermal replacement of primary triphylite.

Keywords: mitridatite, nodule, granitic pegmatite, San Luis, Argentina.

SOMMAIRE

Nous avons découvert un nodule éclaté en trois morceaux, de diamètre ~10–20 cm, contenant la mitridatite en en gros grains, ce qui est assez rare dans une pegmatite. Ce nodule se trouvait dans une pegmatite granitique à la mine de San Luis, à La Florida, en Argentine. Des nodules semblables de triphylite–lithiophilite primaires altérés à ferrisicklerite et dufrénitesont inclus dans le quartz en bordure du coeur de la pegmatite granitique, enrichie en éléments rares et

cristallisant le spodumène. La mitridatite est vert très foncé, presque noire, et possède une rayure vert pâle morne et des reflets internes rouge rubis foncé. Le clivage {100} est très bon, l'éclat est vitreux, la densité, 3.221, et la dureté de Mohs, entre 5 et 5.5. Les trois raies les plus intenses du spectre de diffraction X (méthode des poudres) [d en Å(I)(hkl)] sont: 8.70(100)(200), 2.901(80)(600) et 2.176(60)(800). Nous avons affiné les paramètres réticulaires: : a 17.505(1), b 19.327(3), c 11.261(6) Å, β 96.05(1)°, V 3788(1) Å³. La mitridatite est transparente, avec with X vert pâle, presque incolore, $Y = Z$ brun rougeâtre foncé, biaxe négatif, $2V \sim 10^\circ$, α 1.775(5), β 1.843(5), γ 1.844(5), et une très forte dispersion. Une analyse chimique a donné CaO 17.16, Mn₂O₃ 1.34, Fe₂O₃ 35.26, P₂O₅ 32.26, H₂O⁺ 8.41, H₂O⁻ 0.56, Rem. 4.51, ce qui mène à la formule empirique Ca_{6.01}(H₂O)₆[Fe³⁺_{8.67}Mn_{0.33}O_{6.15}(PO₄)_{8.92}] \cdot 3.17 H₂O. La mitridatite se serait formée par remplacement hydrothermal de la triphylite, primaire.

Mots-clés: mitridatite, nodule, pegmatite granitique, San Luis, Argentine.

WERDINGITE, A BOROSILICATE NEW TO GRANITIC PEGMATITES

EDWARD S. GREW¹ AND MARTIN G. YATES

Department of Geological Sciences, University of Maine, Orono, Maine 04469, U.S.A.

JOEP P. P. HUIJSMANS

Netherlands Energy Research Foundation, PO Box 1, NL 1755 ZG Petten, The Netherlands

JAMES J. MCGEE

Department of Geological Sciences, University of South Carolina, Columbia, South Carolina 29208, U.S.A.

CHARLES K. SHEARER

Institute of Meteoritics, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico 87131, U.S.A.

MICHAEL WIEDENBECK

Advanced Materials Laboratory, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico 87106, U.S.A.

ROLAND C. ROUSE

Department of Geological Sciences, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109, U.S.A.

¹ *E-mail address:* grew@maine.maine.edu

ABSTRACT

Werdingite, $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_{12}(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_4\text{B}_2(\text{B,Al})_2\text{O}_{37}$, occurs in granitic pegmatites cutting granulite-facies metapelitic rocks at Cap Andrahomana, near Fort Dauphin, southeastern Madagascar (type locality of grandidierite), and at Almgjotheii, in the aureole of the Rogaland anorthosite complex, southwestern Norway. Pegmatitic werdingite is beryllian (0.19–0.55 wt% BeO by ion microprobe). It varies in Al and Si contents; a more general formula could be $(\text{Mg,Fe,Al})_2\text{Al}_{12}(\text{Al,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{B}_2(\text{B,Al,Be,Si})_2\text{O}_{37}$. The proportion of Fe exceeds that of Mg in one sample from Andrahomana and in all samples from Almgjotheii; thus these samples are the Fe-dominant analogues of werdingite. At Cap Andrahomana, the maximum-phase assemblage can be given as quartz + K-feldspar + grandidierite + garnet + sillimanite + werdingite, although werdingite replaces sillimanite. Niobian ilmenite, hercynite, late biotite and late andalusite also are present. At Almgjotheii, the characteristic maximum-phase assemblage prior to extensive development of tourmaline appears to have been quartz + K-feldspar + garnet + sillimanite (andalusite) + grandidierite + Ti-rich dumortierite; werdingite is limited to assemblages with a new borosilicate ($\text{Al}_{16}\text{B}_6\text{Si}_2\text{O}_{37}$), grandidierite and Ti-poor dumortierite, and formed later than

grandidierite. Conditions of werdingite formation at both localities are estimated to be $T \approx 600\text{--}700^\circ\text{C}$, $P \approx 3\text{--}4$ kbar, $P(\text{H}_2\text{O}) < P_{\text{total}}$, that is, at lower temperature than at the peak of metamorphism that affected the country rocks. The appearance of borosilicates in pegmatites cutting granulite-facies pelitic rocks, which are generally depleted in B, can be explained by a scenario involving remobilization of B present in the pelitic precursors, incorporation of the remobilized boron in partial melts, and crystallization of the melts as pegmatite veins with borosilicates. In terms of the model system $\text{FeO}\text{--}\text{MgO}\text{--}\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{B}_2\text{O}_3\text{--}\text{SiO}_2$ open to H_2O and with quartz in excess, werdingite is restricted to assemblages richer in B_2O_3 than the tie-plane grandidierite – sillimanite and the plane grandidierite – sillimanite – garnet, which are stable instead of the join werdingite – cordierite, an assemblage not yet reported in nature or experiments. At Almgjotheii, werdingite is further restricted by the tie-plane grandidierite – dumortierite, and thus is rare in rocks with garnet and sillimanite.

Keywords: werdingite, grandidierite, boron, pegmatite, ion probe analyses, southwestern Norway, southeastern Madagascar.

SOMMAIRE

Nous documentons la présence de werdingite, $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_{12}(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_4\text{B}_2(\text{B,Al})_2\text{O}_{37}$, dans des pegmatites granitiques recoupant des roches métapélitiques ré-équilibrées au faciès granulite au cap Andrahomana, près de Fort Dauphin, dans le sud-est du Madagascar (la localité-type de la grandidierite), et à Almgjotheii, dans l'aurole métamorphique du massif anorthositique de Rogaland, dans le sud-ouest de la Norvège. Il s'agit de werdingite contenant du béryllium (0.19–0.55% BeO en poids, données de microsonde ionique). La teneur en Al et Si est variable; une formule plus générale serait $(\text{Mg,Fe,Al})_2\text{Al}_{12}(\text{Al,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{B}_2(\text{B,Al,Be,Si})_2\text{O}_{37}$. La proportion en Fe surpasse celle en Mg dans un échantillon de Andrahomana et dans tous ceux de Almgjotheii; ces échantillons sont donc des analogues ferrifères de la werdingite. Au cap Andrahomana, l'assemblage au nombre de phases maximum serait quartz + feldspath potassique + grandidierite + grenat + sillimanite + werdingite, quoique la werdingite remplace la sillimanite. Ilménite niobifère, hercynite, biotite et andalusite, ces deux dernières tardives, sont aussi présentes. A Almgjotheii, l'assemblage au nombre de phases maximum, stable avant le développement répandu de tourmaline, correspond à quartz + feldspath potassique + grenat + sillimanite (andalusite) + grandidierite + dumortierite riche en Ti; la werdingite se limite aux assemblages contenant un nouveau borosilicate ($\text{Al}_{16}\text{B}_6\text{Si}_2\text{O}_{37}$), grandidierite et dumortierite à faible teneur en Ti, et semble stabilisée tardivement par rapport à la grandidierite. Aux deux endroits, les conditions de formation de la werdingite seraient: $T \approx 600\text{--}700^\circ\text{C}$, $P \approx 3\text{--}4$ kbar, $P(\text{H}_2\text{O}) < P_{\text{total}}$, c'est-à-dire, une température plus faible que celle du paroxysme métamorphique dans l'encaissant. La présence de borosilicates dans les pegmatites recoupant les métapélites dans le faciès granulite, qui sont en général appauvries en B, pourrait s'expliquer selon une mobilisation du bore dans les précurseurs pélitiques, incorporation du bore mobilisé le liquide formé par fusion partielle, et cristallisation de ces liquides sous forme de veines d'aspect pegmatitique avec borosilicates. En termes du système modèle $\text{FeO}\text{--}\text{MgO}\text{--}\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{B}_2\text{O}_3\text{--}\text{SiO}_2$ ouvert à H_2O et avec un excédant de quartz, la werdingite se limite aux assemblages plus riches en B_2O_3 que les compositions au delà des assemblages grandidierite – sillimanite et grandidierite – sillimanite – grenat, qui sont stabilisés au lieu de l'assemblage werdingite – cordierite, qui n'a pas encore été

signalé dans la nature ou dans les expériences de laboratoire. A Almgjotheii, la werdingite est de plus limitée aux compositions au delà du plan grandidiérite – dumortiérite, et est donc rare dans les roches à grenat et sillimanite.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: werdingite, grandidiérite, bore, pegmatite, analyses à la microsonde ionique, sud-ouest de la Norvège, sud-est du Madagascar.

COMPOSITIONAL VARIATION OF TOURMALINE IN THE GRANITIC PEGMATITE DYKES OF THE CRUZEIRO MINE, MINAS GERAIS, BRAZIL

MARCELLA FEDERICO, GIOVANNI B. ANDREOZZI, SERGIO LUCCHESI¹ AND
GIORGIO GRAZIANI

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma “La Sapienza”, P.le A. Moro, 5, I-00185 Roma, Italia

JÚLIO CÉSAR-MENDES

DEGEO, Escola de Minas, UFOP, Campus do Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

¹ *E-mail address: graziani@axrma.uniroma1.it*

² *E-mail address: julio@degeo.ufop.br*

ABSTRACT

Schorl – dravite and schorl – elbaite from different zones of the rare-element-enriched complex granitic pegmatite dykes of the Cruzeiro mine, in Minas Gerais, Brazil, were analyzed by electron and ion (H, Li, B) microprobes. *General* mechanisms of substitution (common to schorl and to elbaite independently of their position in the pegmatites) drive compositions to “proton-deficient schorl”, “alkali-free schorl”, and “alkali-free elbaite” end-members, each involving Al enrichment. Among the *specific* mechanisms (*i.e.*, those characterizing tourmaline within each separate zone), “octahedral-defect” and “alkali-free proton-rich” types are particularly important in OH-rich, pocket elbaite. The substitution ${}^X\text{G} + \text{OH}^- \leftrightarrow {}^X\text{Na}^+ + \text{O}^{2-}$, driving compositions to an “alkali-free proton-rich elbaite”, is proposed to explain both the lack of Na and the excess of (OH + F). Bond-valence calculations based on results of unpublished structure-refinement data allow the OH excess to be assigned to the O(2) site. The composition of the tourmaline in the Cruzeiro suite (high Al content; Mg, Fe, Zn, Mn, and Li covariation; antithetic behavior of OH and F) records the evolution of the pegmatite-forming melt.

Keywords: tourmaline, crystal chemistry, mechanisms of substitution, hydroxyl excess, alkali-free proton-rich elbaite, granitic pegmatite, Cruzeiro mine, Minas Gerais, Brazil.

SOMMAIRE

Nous avons analysé, au moyen de microndes électronique et ionique (H, Li, B) la tourmaline des séries schorl – dravite et schorl – elbaïte provenant des diverses zones des pegmatites granitiques à éléments rares exploitées pour la tourmaline à la mine Cruzeiro, au Minas Gerais, Brésil. Les mécanismes de substitution *généraux* (ceux qui sont communs au schorl et à l’elbaïte indépendamment de leur position dans les pegmatites) conduisent aux pôles “schorl déficitaire en protons”, “schorl dépourvu d’alcalins”, et “elbaïte dépourvue d’alcalins”, chacun de ceux-ci contribuant à un enrichissement en Al. Parmi les mécanismes *spécifiques*, ceux qui

caractérisent la variation de la tourmaline au sein d'une seule zone, les schémas impliquant les lacunes dans les sites octaédriques et les déficits en alcalins à la faveur d'un enrichissement en protons sont particulièrement importants dans l'elbaïte provenant des cavités miarolitiques, milieux riches en OH. La substitution ${}^X\text{G} + \text{OH}^- \leftrightarrow {}^X\text{Na}^+ + \text{O}^{2-}$, qui mène à l'elbaïte sans alcalins et riche en protons serait à l'origine à la fois du manque en Na et de l'excès en (OH + F). Les valeurs des valences de liaison, calculées à partir des résultats non publiés d'analyses de la structure cristalline de ces échantillons, nous permettent d'attribuer l'excédent en OH au site O(2). La composition de la tourmaline dans la suite de Cruzeiro (teneur élevée en Al; covariation en Mg, Fe, Zn, Mn, et Li, variation antithétique des proportions de OH et de F) témoignent de l'évolution du magma qui a cristallisé sous forme de pegmatites granitiques.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: tourmaline, chimie cristalline, mécanisme de substitution, excédent en hydroxyle, elbaïte riche en protons et sans alcalins, pegmatite granitique, mine de Cruzeiro, Minas Gerais, Brésil.

FERUVITE FROM LEPIDOLITE PEGMATITES AT RED CROSS LAKE, MANITOBA

JULIE B. SELWAY¹, PETR ČERNÝ AND FRANK C. HAWTHORNE

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ *E-mail address: umselway@cc.umanitoba.ca*

ABSTRACT

Feruvite occurs in the Ca-rich exocontacts of lepidolite-subtype granitic pegmatites in the Red Cross Lake pegmatite field, northeastern Manitoba. The pegmatites intrude meta-andesitic to metabasaltic host-rocks. In addition to tourmaline, exocontacts contain Cs- and Rb-rich biotite, Fe-rich muscovite, epidote, apatite, Ca-rich garnet, titanite, calcite, quartz and arsenopyrite. The tourmaline is commonly zoned, with a core of feruvite surrounded by schorl or dravite, and rimmed by uvite. The most extreme composition of feruvite analyzed is $(\text{Ca}_{0.56}\text{Na}_{0.39})_{\Sigma 0.95}(\text{Fe}^{2+}_{1.96}\text{Mg}_{0.81}\text{Li}_{0.18}\text{Ti}_{0.04}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Al}_{5.31}\text{Mg}_{0.69})_{\Sigma 6.00}(\text{BO}_3)_3\text{Si}_{6.07}\text{O}_{18}[(\text{OH}_{3.51}\text{F}_{0.49})_{\Sigma 4.00}]$; the X, Y, and Z sites are dominated by Ca, Fe and Al, respectively. Magnesium is a significant component at the Y and Z sites. In plane-polarized light, uvite and dravite are mainly pale blue or blue, and feruvite and schorl are mainly dark blue. Brown schorl and feruvite tend to be rich in Ti. The meta-andesitic and metabasaltic wallrocks provided the Fe and Ca for contact metasomatic reactions between the wallrocks and the intruding pegmatite to produce feruvite.

Keywords: feruvite, tourmaline, granitic pegmatite, exocontact, Red Cross Lake, Manitoba.

SOMMAIRE

Nous avons découvert la feruvite dans l'exocontact calcique de pegmatites granitiques de type lépidolite dans le champ de pegmatites du lac Red Cross Lake, dans le nord-est du Manitoba. Ces pegmatites ont été mises en place dans une séquence de roches encaissantes méta-andésitiques et metabasaltiques. En plus de la tourmaline, ces zones d'exocontact contiennent une biotite riche en Cs et en Rb, une muscovite ferrifère, épidote, apatite, un grenat calcique, titanite, calcite, quartz et arsénopyrite. Les cristaux de tourmaline sont généralement zonés, avec un noyau de feruvite entouré d'une zone de schorl ou de dravite, et une bordure d'uvite. La composition la plus extrême de feruvite est $(\text{Ca}_{0.56}\text{Na}_{0.39})_{\Sigma 0.95}(\text{Fe}^{2+}_{1.96}\text{Mg}_{0.81}\text{Li}_{0.18}\text{Ti}_{0.04}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 3.00}(\text{Al}_{5.31}\text{Mg}_{0.69})_{\Sigma 6.00}(\text{BO}_3)_3\text{Si}_{6.07}\text{O}_{18}[(\text{OH}_{3.51}\text{F}_{0.49})_{\Sigma 4.00}]$; les sites X, Y, et Z sont occupés surtout par Ca, Fe et Al, respectivement. Le Mg est un occupant important des sites Y et Z. En lumière polarisée en plan, l'uvite et la dravite sont généralement bleu pâle ou bleu, tandis que le schorl et la feruvite sont surtout bleu foncé. Le schorl et la feruvite bruns ont tendance à être enrichis en Ti. Les méta-andésites et les metabasaltes des parois ont fourni le Fe et le Ca nécessaires aux réactions métasomatiques dans l'exocontact entre les roches encaissantes et les pegmatites pour produire la feruvite.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: feruvite, tourmaline, pegmatite granitique, exocontact, lac Red Cross, Manitoba.

FLUORINE VARIATION IN HAMBERGITE FROM GRANITIC PEGMATITES

MILAN NOVÁK¹

Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, 659 37 Brno, Czech Republic

PETER C. BURNS

Department of Civil Engineering and Geological Sciences, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana 46556-0767, U.S.A.

GEORGE B. MORGAN VI

School of Geology and Geophysics, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma 73019, U.S.A.

¹ *E-mail address:* mineral@mzm.anet.cz

ABSTRACT

Considerable F-for-OH substitution can occur in the structure of hambergite, $\text{Be}_2(\text{BO}_3)(\text{OH},\text{F})$. The substitution results in a linear reduction of the indices of refraction. This relation can be used to estimate the F content of hambergite, subject to the constraint that samples may be compositionally heterogeneous. Previous X-ray-diffraction studies of five crystals of hambergite showed that increasing amounts of F for OH lead to a decrease in the *a* dimension and an expansion of the *b* dimension. The F content of hambergite may be readily estimated if the unit-cell dimensions are known. Although originally described from an alkaline syenitic pegmatite, the majority of hambergite occurrences are in complex Li-rich granitic pegmatites of the elbaite or transitional elbaite–lepidolite subtypes. Hambergite occurs as a comparatively early phase in massive pegmatites from several localities in the Czech Republic. More commonly, hambergite is a late-crystallizing phase produced in miarolitic pockets as the highly evolved magma approaches its solidus. The F content of hambergite from pegmatites appears to reflect the F activities of the medium (melt or fluid) from which it crystallizes. Hambergite found in miarolitic pockets is typically more homogeneous in composition and commonly has a lower F content than that found in a massive pegmatite, although F-rich examples from pegmatitic pockets also are observed. It is unclear whether the lower F content of hambergite from miarolitic pockets is strictly a result of crystallization in lower-F systems, or involves precipitation in equilibrium with exsolved aqueous fluids.

Keywords: hambergite, fluorine, electron microprobe, X-ray diffraction, indices of refraction, paragenesis, granitic pegmatites.

SOMMAIRE

La structure de la hambergite, $\text{Be}_2(\text{BO}_3)(\text{OH},\text{F})$, fait preuve d'une étendue considérable de substitution de F pour OH. Cette substitution mène à une réduction linéaire des indices de réfraction. On peut se servir de cette relation pour prédire la teneur en F d'échantillons, toujours

sous réserve que ceux-ci doivent être homogènes. Les résultats d'études de cinq échantillons par diffraction X ont déjà montré qu'une augmentation de la proportion de F mène à une diminution du paramètre a et une augmentation du paramètre b . On peut facilement donc déterminer la teneur en F en connaissant les paramètres réticulaires. Quoique découvert dans une syénitique alcaline pegmatitique, la majorité des exemples connus se trouvent dans des venues de pegmatite granitique complexe montrant un enrichissement en Li, faisant partie des sous-types à elbaïte ou transitionnels à elbaïte-lépidolite. La hambergite y consitue une phase relativement précoce dans des pegmatites massives à plusieurs endroits dans la république Tchèque. Le plus souvent, la hambergite cristallise tardivement, dans des miaroles, lors de l'approche finale du solidus des magmas fortement évolués. La teneur en F de la hambergite des pegmatites semble être en relation de l'activité du fluor dans le milieu de croissance (bain fondu ou phase fluide). La hambergite de miaroles est typiquement plus homogène et plus pauvre en fluor que celle qui cristallise précocement dans les pegmatites massives, quoique la hambergite riche en fluor se rencontre aussi dans les miaroles. Il n'est pas clair si les teneurs plus faibles en F de la hambergite des miaroles résulte uniquement d'une cristallisation dans un système magmatique à teneur plus faible en fluor, ou bien témoigne d'une précipitation en équilibre avec une phase fluide exsolvée.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: hambergite, fluor, microsonde électronique, diffraction X, indices de réfraction, paragenèse, pegmatites granitiques.

THE BERYLLIAN CORDIERITE + BERYL + SPESSARTINE ASSEMBLAGE, AND
SECONDARY BERYL IN ALTERED CORDIERITE, GREER LAKE GRANITIC
PEGMATITE, SOUTHEASTERN MANITOBA

SCOTT JOBIN-BEVANS¹ AND PETR ČERNÝ²

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ Present address: Department of Earth Sciences, University of Western Ontario, London, Ontario N6A 5B7.

² *E-mail address:* pcerny@ms.umanitoba.ca

ABSTRACT

Pseudomorphs after beryllian cordierite (possibly beryllian sekaninaite) occur along core margins of Archean peraluminous granitic pegmatites of the beryl – columbite subtype at Greer Lake, southeastern Manitoba, and in analogous position in pegmatitic pods of the parent leucogranite. The pseudomorphs are locally intergrown with primary columnar beryl I, and studded by spessartine that contains subparallel inclusions of beryl II. The muscovite > biotite > berthierine assemblage of the pseudomorphs after cordierite contains anhedral fine-grained beryl III, locally attaining ~20 vol.% of the breakdown products. This complex mineral association is interpreted as a product of two processes. (i) Magmatic crystallization from a Be-rich and Mn-enriched melt yielded cordierite and beryl I at ~550°C and ≤2.8 kbar. Increased activity of Mn triggered intermittent stabilization of spessartine + beryl II during the crystallization of cordierite; this assemblage probably represents a Be-rich substitute for spessartine + aluminosilicate + quartz, the low-pressure equivalent of “manganocordierite”, which is unstable above 1 kbar P(H₂O). (ii) Subsolvus metasomatic alteration of cordierite by alkali- and F-bearing residual aqueous fluids at about 500–450°C, ~2.7–2.6 kbar generated biotite > muscovite >> beryl III along the basal parting planes, followed by several textural varieties of muscovite > biotite >> beryl III, which replaced the bulk of the cordierite crystals. Low-temperature alteration of biotite yielded berthierine. The proportion of beryl III (up to ~20%) in the micaceous matrix of the pseudomorphs indicates up to ~2.6 wt.% BeO in the cordierite precursor, which closely corresponds to the experimentally established maximum value at the given P,T conditions of magmatic crystallization.

Keywords: cordierite, sekaninaite, alteration, beryl, spessartine, granitic pegmatite, Greer Lake, Manitoba.

SOMMAIRE

Des pseudomorphes de cordiérite (ou peut-être sékaninaïte) béryllienne sont parsemés le long du coeur de massifs archéens de pegmatite granitique hyperalumineuse de type beryl – columbite au lac Greer, dans le sud-est du Manitoba, et en position analogue dans des lentilles pegmatitiques du pluton leucogranitique parent. Les pseudomorphes montrent ici et là une

intercroissance avec le béryl I, en prismes trappus, et sont tapissés de spessartine qui contiennent des inclusions subparallèles de béryl II. L'assemblage développé dans les pseudomorphes, muscovite > biotite > berthiérine, contient en plus des grains xénomorphes fins de béryl III, qui atteignent localement jusqu'à environ 20% du volume des produits de déstabilisation. Cet assemblage complexe de minéraux résulterait d'une combinaison de deux processus. D'abord, il y a eu cristallisation magmatique de cordiérite + béryl à partir d'un magma enrichi en Be et Mn, à environ 550°C et ≤ 2.8 kbar. Une activité accrue du Mn a enclenché de façon interrompue la formation de spessartine + béryl II au cours de la cristallisation de la cordiérite; cet assemblage prendrait la place de l'assemblage spessartine + aluminosilicate + quartz dans un milieu riche en Be, et serait l'équivalent à faible pression de la "manganocordiérite", instable au delà d'une pression $P(\text{H}_2\text{O})$ égale à 1 kbar. (ii) Une métasomatose de la cordiérite au-dessous du solidus suite à son interaction avec une phase fluide résiduelle enrichie en alcalins et en F à environ 500–450°C, ~ 2.7 – 2.6 kbar, a produit l'association biotite > muscovite >> beryl III le long des plans de fissures, et par la suite une séquence et une variété de développements texturaux de muscovite > biotite >> beryl III, en remplacement de la majeure partie des cristaux de cordiérite. Une altération à faible température de la biotite est responsable de la berthiérine. La proportion de béryl III (jusqu'à environ 20%) dans la matrice micacée des pseudomorphes indique jusqu'à environ 2.6% par poids de BeO dans la cordiérite primaire, ce qui correspond étroitement avec les teneurs maximales attendues aux conditions de pression et de température de cristallisation magmatique, d'après les expériences au laboratoire.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: cordiérite, sékaninaïte, altération, béryl, spessartine, pegmatite granitique, lac Greer, Manitoba.

MICAS FROM THE PIKES PEAK BATHOLITH AND ITS COGENETIC GRANITIC PEGMATITES, COLORADO: OPTICAL PROPERTIES, COMPOSITION, AND CORRELATION WITH PEGMATITE EVOLUTION

DANIEL E. KILE¹

MS 408, U.S. Geological Survey, Denver Federal Center, Box 25046, Denver, Colorado 80225, U.S.A.

EUGENE E. FOORD[†]

MS 905, U.S. Geological Survey, Denver Federal Center, Box 25046, Denver, Colorado 80225, U.S.A.

E-mail address: dekile@usgs.gov

[†] deceased 8 January 1998.

ABSTRACT

Optical properties are presented for 66 samples of mica covering the range from annite → biotite → zinnwaldite → ferroan lepidolite and ferroan muscovite from occurrences of granitic pegmatite (NYF type) throughout the Pikes Peak batholith (PPB), in Colorado. Chemical composition was determined for 34 of these samples. The optical data are correlated with composition, mode of occurrence, and relation to pegmatite paragenesis. Optical properties of the trioctahedral micas show a consistent trend of decreasing n_{β} index of refraction, from an average of 1.693 in annite of the host granite, to 1.577 in zinnwaldite and ferroan lepidolite of the miarolitic cavities, which correlates with a progressively decreasing content of Fe. A comparison of optical and compositional data for micas from localities throughout the PPB indicates a variation in geochemical evolution among pegmatites of different districts, and between the Pikes Peak Granite and its late satellite plutons. Analyses of mica samples taken from cross-sections through individual pegmatites reveal a decrease in index of refraction and total iron that unambiguously document a progressive geochemical evolution within a given pegmatite. Such data, in addition to field evidence, indicate that micas enclosed within massive quartz are paragenetically older than those within miarolitic cavities; minerals within miarolitic cavities represent the final stages of primary crystallization. A general model of pegmatite paragenesis is proposed that hypothesizes formation of miarolitic cavities as a consequence of pegmatite configuration and inclination, as well as early crystallization of massive quartz that confines the silicate melt and volatile phase, resulting in closed-system crystallization with a concomitant increase in pressure, consequent episodic cavity-rupture events, and corresponding changes in mica composition.

Keywords: annite, biotite, iron content, paragenesis, pegmatite, index of refraction, zinnwaldite, Pikes Peak batholith, Colorado.

SOMMAIRE

Nous présentons les propriétés optiques de 66 échantillons de mica représentant l'intervalle annite → biotite → zinnwaldite → lépidolite et muscovite ferrifères, prélevés de pegmatites granitiques de type NYF dans le batholithe de Pikes Peak, au Colorado. Nous présentons aussi des données sur la composition de 34 de ceux-ci. Les données optiques dépendent de la composition, du type de gisement, et de la relation avec les associations paragenétiques. Les échantillons de mica trioctaédriques montrent une diminution progressive de l'indice de réfraction n_{β} , d'une moyenne de 1.693 dans l'annite du granite encaissant à 1.577 dans la zinnwaldite et la lépidolite ferrifère des cavités miarolitiques, diminution qui est en corrélation avec la diminution de la teneur en Fe. Une comparaison des données optiques et compositionnelles indique une variation du degré d'évolution géochimique parmi les pegmatites des différents districts, et entre le batholithe de Pikes Peak et les plutons tardifs satellites. Pour le cas d'échantillons prélevés le long de coupes à travers des massifs individuels de pegmatite, nous documentons une diminution de l'indice n_{β} et de la teneur en Fe total qui illustre de façon non ambiguë la direction de l'évolution. De telles données, évaluées en considérant les relations de terrain, montrent que le mica piégé dans le noyau de quartz massif est antérieur au mica des cavités miarolitiques. Les minéraux de ces cavités représenteraient le stade final de cristallisation primaire. Nous décrivons ces tendances au moyen d'un modèle général de cristallisation. La formation de cavités dépend de l'attitude et l'inclinaison de la pegmatite, et la cristallisation précoce de quartz massif, qui restreint le magma silicaté et la phase volatile. Il en résulte une cristallisation en système fermé, avec comme conséquences une augmentation de la pression, des ruptures épisodiques des cavités, et des changements correspondants dans la composition du mica.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: annite, biotite, teneur en Fe, paragenèse, pegmatite, indice de réfraction, zinnwaldite, batholithe de Pikes Peak, Colorado.

RUBIDIUM FELDSPARS IN GRANITIC PEGMATITES

DAVID K. TEERTSTRA, PETR ČERNÝ¹ AND FRANK C. HAWTHORNE¹

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ *E-mail addresses:* pcerny@ms.umanitoba.ca, frank_hawthorne@umanitoba.ca

ABSTRACT

Rubidium feldspars form under low-temperature conditions in the interior zones of many pollucite-bearing rare-element granitic pegmatites. The (K–Rb)-feldspars lie close to the KAlSi_3O_8 – $\text{RbAlSi}_3\text{O}_8$ join and have up to 26.2 wt.% Rb_2O (91 mol.% Rbf) and 1.5 wt.% Cs_2O (3 mol.% Csf). Three subsolidus processes generate rubidium feldspars at a microscopic scale: exsolution from a primary (K,Na,Rb)-feldspar, solution – reprecipitation from the same precursor, and metasomatic coprecipitation with K-feldspar in pollucite. (i) Near-complete exsolution and phase separation of albite and (Rb,K)-feldspar are typical of a (K,Na,Rb)-feldspar precursor with up to 5 mol.% GSi_4O_8 , whereas (K,Rb)-feldspar with integral stoichiometry exsolves a Rb-enriched phase only rarely. Exsolution of the (Rb,K)-feldspar postdates that of albite because the rate of diffusion of Na is greater than that of Rb; however, migration of *M*-site vacancies apparently enhances rates of Rb diffusion. Rubidium feldspar coherent with microcline is ordered and triclinic. (ii) Aggregates of microporous adularian K-feldspar + (Rb,K)-feldspar are formed by solution – reprecipitation from a Rb-bearing precursor under low-temperature deuteric conditions. (iii) Adularian (Rb,K)-feldspar also coprecipitates with end-member K-feldspar (\pm cookeite), in metasomatic reactions of hydrothermal fluid with early Rb-bearing feldspar and pollucite at ~ 300 to 150°C . Such adularian feldspar typically is untwinned, monoclinic and disordered. A broad solvus must extend between K-feldspar (Or_{100}) and Rb-feldspar (Rbf_{80}), cresting below 400°C . Feldspars with a heterogeneous distribution of K and Rb in the range Rbf_{50} to Rbf_{70} are common, but are probably metastable because of a slow rate of diffusion of Rb at low temperature. Compositional heterogeneity of the secondary (K–Rb)-feldspars on a microscopic scale also implies disequilibrium and arrested reactions.

Keywords: rubidium feldspar, potassium feldspar, microcline, sanidine, rubicline, granitic pegmatite, rubidium.

SOMMAIRE

Le feldspath rubidique se forme à faible température, dans les zones internes de plusieurs massifs de pegmatite granitique à éléments rares et à pollucite. Ces compositions de feldspath-(K–Rb) se situent près de la série KAlSi_3O_8 – $\text{RbAlSi}_3\text{O}_8$, et peuvent contenir jusqu'à 26.2% de Rb_2O et 1.5% de Cs_2O (en poids), soit 91% Rbf et 3% Csf (base molaire). Trois processus subsolidus sont responsables de la formation de feldspath rubidique à l'échelle microscopique: exsolution à partir d'un feldspath primaire à (K,Na,Rb), solution et reprecipitation à partir d'un même précurseur, et coprecipitation au cours de la métasomatose du feldspath potassique inclus

dans la pollucite. (i) Une exsolution quasi-complète et une séparation en albite et feldspath-(Rb,K) sont typiquement atteintes aux dépens du précurseur, le feldspath-(K,Na,Rb), contenant jusqu'à 5% du pôle GSi_4O_8 (base molaire), tandis que le feldspath-(K,Rb) ayant une stoechiométrie intégrale ne montre que très rarement une exsolution d'un feldspar enrichi en Rb. L'exsolution du feldspath-(Rb,K) est postérieure à l'exsolution de l'albite vu le taux de diffusion plus rapide du Na que du Rb; toutefois, la migration des lacunes du site *M* favoriserait le taux de diffusion du Rb. Le feldspath rubidique en continuité cohérente avec le microcline est ordonné et triclinique. (ii) Des agrégats de feldspath potassique microporeux à morphologie d'adulaire + feldspath-(Rb,K) se sont formés par solution et précipitation à partir d'un précurseur rubidique à faible température au cours de réactions deutériques. (iii) Un feldspath-(Rb,K) à morphologie d'adulaire est aussi coprecipité avec le feldspath potassique pur (\pm cookeite) dans des réactions métasomatiques impliquant le fluide hydrothermal et le feldspath rubidique précoce et pollucite entre environ 300 et 150°C. Ce type de feldspath est typiquement non maclé, monoclinique et désordonné. Un solvus étendu doit séparer le feldspath potassique ($\text{Or}_{\sim 100}$) et le feldspath rubidique ($\text{Rbf}_{\sim 80}$), avec un sommet inférieur à 400°C. Les grains de feldspaths qui font preuve d'hétérogénéités dans la distribution du K et du Rb dans l'intervalle $\text{Rbf}_{50} - \text{Rbf}_{70}$ sont répandus, et probablement métastables vu le taux très faible de diffusion du Rb à basse température. L'hétérogénéité dans la composition du feldspath-(K-Rb) secondaire sur une échelle microscopique impliquerait un écart à l'équilibre et des réactions non complétées.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: feldspath rubidique, feldspath potassique, microcline, sanidine, rubicline, pegmatite granitique, rubidium.

STABILITY AND SOLUBILITY OF POLLUCITE IN THE GRANITE SYSTEM AT 200 MPa H₂O

DAVID LONDON¹, GEORGE B. MORGAN VI AND JONATHAN ICENHOWER²
*School of Geology and Geophysics, University of Oklahoma, 100 East Boyd Street, 810 SEC,
Norman, Oklahoma 73019, U.S.A.*

¹ *E-mail address:* dlondon@ou.edu

² *Current address:* Department of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, U.S.A.

ABSTRACT

The chemistry and stability of pollucite (Pol, CsAlSi₂O₆) – leucite (Lct, KAlSi₂O₆) – analcime (Anl, NaAlSi₂O₆•H₂O) solid-solutions and the effects of added pollucite on phase relations in the haplogranite system were studied experimentally between 450° and 850° C at 200 MPa H₂O. Addition of Cs *via* dissolution of pollucite lowers the haplogranite solidus by ~40° C (to ~640° C) and displaces the minimum melt composition slightly toward the Qtz apex. The Cs content of melt saturated in pollucite solid-solution near the minimum is ~5 wt.% Cs₂O. There is substantial miscibility among Pol and Lct components at magmatic temperatures, but the Lct content of pollucite decreases linearly with decreasing temperature to zero Lct component at ~385° C. The Lct and Anl components vary inversely in pollucite solid-solutions as a function of temperature, such that the Anl and maximum Pol components of the pollucite solid-solution increase with decreasing temperature. Natural and synthetic pollucite equilibrates readily with melt or with hydrothermal solutions (and coexisting alkali feldspars) down to temperatures below ~400° C. The experiments do not unequivocally resolve a standing question of a miscibility gap in the Pol–Anl system at low temperature. The compositions of synthetic pollucite diverge by >15 mol.% in terms of Pol and Anl components at 450° C, but as in nature, the bulk of the synthetic pollucite is intermediate in composition between the extremes.

Keywords: cesium, pollucite, leucite, analcime, granite, pegmatite, radioactive waste disposal, experimental petrology.

SOMMAIRE

La composition et le champ de stabilité des solutions solides pollucite (Pol, CsAlSi₂O₆), leucite (Lct, KAlSi₂O₆), et analcime (Anl, NaAlSi₂O₆•H₂O), ainsi que les effets d'un supplément de pollucite sur les relations parmi les phases dans le système haplogranitique, ont fait l'objet d'études entre 450° et 850° C à 200 MPa H₂O. L'addition de Cs par dissolution de la pollucite abaisse le solidus d'environ 40° C (jusqu'à environ 640° C) et déplace la composition du minimum dans ce système vers le pôle Qtz. La teneur en Cs du liquide silicaté saturé en pollucite près du minimum est d'environ 5% Cs₂O en poids. L'étendue de la zone de miscibilité entre Pol et Lct aux températures magmatiques est appréciable, mais la teneur en Lct de la pollucite diminue de façon

linéaire à mesure que diminue la température, et elle tombe à zéro à environ 385°C. La proportion des composants Lct et Anl dans la pollucite varie inversement en fonction de la température, de sorte que Anl et la teneur maximum de Pol augmentent à mesure que diminue la température. La pollucite naturelle et l'analogue synthétique atteignent l'équilibre facilement avec le bain fondu ou avec la solution hydrothermale (et avec les feldspaths coexistants), même en dessous de 400°C. Les expériences ne résolvent pas la question de l'existence d'une lacune de miscibilité dans le système Pol–Anl à ces faibles températures. Les compositions de pollucite synthétique s'écartent de plus de 15% en termes molaires des composants Pol et Anl à 450°C, mais de même que dans la nature, dans la plupart des cas, la pollucite synthétique est intermédiaire entre les compositions extrêmes.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: césium, pollucite, leucite, analcime, granite, pegmatite, enfouissement des déchets radioactifs, pétrologie expérimentale.

A MICROBEAM XAFS STUDY OF AQUEOUS CHLOROZINC COMPLEXING TO 430°C
IN FLUID INCLUSIONS FROM THE KNAUMÜHLE GRANITIC PEGMATITE,
SAXONIAN GRANULITE MASSIF, GERMANY

ALAN J. ANDERSON¹

*Department of Geology, St. Francis Xavier University, P.O. Box 5000, Antigonish, Nova Scotia
B2G 2W5*

ROBERT A. MAYANOVIC

*Department of Physics and Astronomy, Southwest Missouri State University, Springfield,
Missouri
65804, U.S.A.*

SAŠA BAJT²

*Center for Advanced Radiation Sources, The University of Chicago, Chicago, Illinois 60637,
U.S.A.*

¹ *E-mail address:* aanderso@sfx.ca

² *Present address:* Lawrence Livermore National Laboratory, P.O. Box 808, L-395, Livermore,
California 94550, U.S.A.

ABSTRACT

The synchrotron X-ray microprobe (X26A) at the National Synchrotron Light Source (NSLS), Brookhaven National Laboratory was used to collect zinc *K*-edge absorption spectra from saline (*ca.* 36 wt% NaCl equiv.) fluid inclusions in quartz from the Knaumühle granitic pegmatite, in the Saxonian Granulite Massif, Germany, at temperatures ranging between 30° and 430°C. XAFS spectra were also obtained from one fluid inclusion that was experimentally re-equilibrated at a high pressure of hydrogen. The temperature of the fluid inclusions was controlled during analysis with a programmable heating stage. Analysis of the XAFS data shows that ZnCl_4^{2-} is the dominant aqueous zinc species in the fluid inclusions up to the average trapping temperature (430°C). Furthermore, the mean Zn–Cl bond length decreases uniformly from $2.31 \pm 0.01 \text{ \AA}$ at room temperature to $2.26 \pm 0.02 \text{ \AA}$ at 430°C. The predominance of the tetrahedral chlorocomplex, rather than ZnCl_2^0 , at high temperatures is most probably due to the high chloride concentrations of the inclusion brine.

Keywords: fluid inclusion, X-ray absorption fine structure, metalliferous brine, chlorozinc complex, granitic pegmatite, synchrotron X-ray microprobe, synchrotron X-ray fluorescence, hydrothermal fluid.

SOMMAIRE

La microsonde X (X26A) à rayonnement synchrotron située au National Synchrotron Light Source (NSLS), Brookhaven National Laboratory a été utilisée pour obtenir des spectres absorption X au seuil *K* du zinc dans les inclusions fluides salines (environ 36% NaCl équivalents, en poids) dans le quartz provenant de la pegmatite granitique de Knaumühle, dans le massif granulitique de Saxe, en Allemagne, à des températures allant de 30° à 430°C. Des spectres XAFS ont aussi été obtenus dans le cas d'une inclusion fluide que nous avons ré-équilibré à pression élevée d'hydrogène. La température des inclusions fluides a été maintenue pendant l'analyse grâce à une platine chauffante programmable. Une analyse des données XAFS montre que le complexe $ZnCl_4^{2-}$ est dominant comme espèce aqueuse de zinc dans les inclusions fluides jusqu'à la température moyenne de piégeage, 430°C. De plus, la longueur moyenne de liaison Zn-Cl diminue de façon uniforme, de 2.31 ± 0.01 Å à température ambiante jusqu'à 2.26 ± 0.02 Å à 430°C. La prédominance du complexe tétraédrique chloré, plutôt que $ZnCl_2^0$, à température élevée, serait probablement due aux teneurs élevées de chlore dans la saumure piégée dans ces inclusions.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: inclusion fluide, structure fine de l'absorption X, saumure métallifère, complexe à chlorozinc, pegmatite granitique, microsonde X à rayonnement synchrotron, fluorescence X à rayonnement synchrotron, fluide hydrothermal.

EVOLUTION OF Nb,Ta-OXIDE MINERALS IN THE PRAŠIVÁ GRANITIC PEGMATITES, SLOVAKIA. I. PRIMARY Fe,Ti-RICH ASSEMBLAGE

PAVEL UHER¹, PETR ČERNÝ AND RON CHAPMAN

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

JOZEF HATÁR

Geological Survey of Slovak Republic, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, Slovak Republic

OTO MIKO

Slovak National Museum, Vajanského nábrežie 2, 811 02 Bratislava, Slovak Republic

¹ Permanent address: Geological Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 842 26 Bratislava, Slovak Republic. *E-mail address:* geoluh@savba.savba.sk

ABSTRACT

Accessory Nb,Ta-oxide minerals occur in two narrow veins of relatively poorly fractionated granitic pegmatite that crosscut the parent Hercynian pluton, the Prašivá biotite granodiorite-granite, in central Slovakia. High Ti contents are typical of all members of this magmatic suite, and of their relevant minerals. In the pegmatites, niobian to tantalum rutile (≤ 24 wt.% Nb₂O₅, ≤ 30 wt.% Ta₂O₅) and ferrocolumbite are most widespread. Ferrocolumbite (to manganocolumbite) contains 2.5 to 5 wt.% TiO₂, and titanian ixiolite has 11 to 21 wt.% TiO₂. Tiny lamellae of niobian–tantalum armalcolite to pseudobrookite (6 to 10 wt.% Nb₂O₅, 0.5 to 5.5 wt.% Ta₂O₅) exsolved from the rutile matrix; complex exsolution-induced domains of niobian ilmenite rimming intergrowths of ilmenite and titanian hematite are rare. Exsolution of armalcolite – pseudobrookite probably took place at magmatic temperatures, and its subsolidus survival is possibly metastable.

Keywords: ferrocolumbite, titanian ixiolite, rutile, armalcolite, pseudobrookite, ilmenite, hematite, exsolution, granitic pegmatite, Prašivá, Slovakia.

SOMMAIRE

Des oxydes de Nb,Ta forment les minéraux accessoires dans deux veines étroites de pegmatite granitique peu évoluée qui recoupent le pluton parental de Prašivá, en Slovaquie centrale, d'âge hercynien, contenant granite à biotite et granodiorite. Des teneurs élevées en Ti sont typiques de tous les membres de cette suite magmatique et les minéraux constituants. Dans les pegmatites, le rutile enrichi en Nb et Ta ($\leq 24\%$ Nb₂O₅, $\leq 30\%$ Ta₂O₅, par poids) et la ferrocolumbite sont les plus répandus. La ferrocolumbite (zonée vers la manganocolumbite) contient de 2.5 à 5% TiO₂ en poids, et l'ixiolite titanifère peut en contenir de 11 à 21%. D'infimes lamelles d'exsolution d'armalcolite en solution solide vers la pseudobrookite, riche en Nb et Ta (6 to 10% Nb₂O₅, 0.5 to 5.5% Ta₂O₅, en poids) se trouvent dans une matrice de rutile. De rares

lamelles complexes d'ilménite niobifère recouvrent une intercroissance d'ilménite et de hématite titanifère. L'exsolution dans l'armalcolite – pseudobrookite a probablement eu lieu à un stade magmatique; le fait que cet assemblage ait survécu au stade subsolidus témoignerait d'une métastabilité.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: ferrocolumbite, ixiolite titanifère, rutile, armalcolite, pseudobrookite, ilménite, hématite, exsolution, pegmatite granitique, Prašivá, Slovaquie.

EVOLUTION OF Nb,Ta-OXIDE MINERALS IN THE PRAŠIVÁ GRANITIC PEGMATITES, SLOVAKIA. II. EXTERNAL HYDROTHERMAL Pb,Sb OVERPRINT

PAVEL UHER¹, PETR ČERNÝ AND RON CHAPMAN

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

JOZEF HATÁR

Geological Survey of Slovak Republic, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, Slovak Republic

OTO MIKO

Slovak National Museum, Vajanského nábřežie 2, 811 02 Bratislava, Slovak Republic

¹ Permanent address: Geological Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 842 26 Bratislava, Slovakia. *E-mail address:* geoluh@savba.savba.sk

ABSTRACT

Titanite, fersmite, pyrochlore-group minerals and roméite in two small dikes of relatively poorly fractionated pegmatite, located in the parent Hercynian Prašivá biotite granodiorite–granite, in central Slovakia, were generated by hydrothermal alteration of primary columbite, titanian ixiolite and niobian–tantalian rutile. The early titanite has elevated contents of Nb, Ta, Al and Fe, and the fersmite is very *REE*-poor. Pyrochlore, microlite, betafite, uranpyrochlore, uranmicrolite, stibiomicrolite, stibiobetafite, plumbomicrolite and several transitional compositions were identified in the next generation, most of them Si-bearing. The late roméite is considerably enriched in Nb, Ta, U and Si. The hydrothermal fluids mobilized Nb, Ta, Ti, U, Fe, Si, and probably also Ca and Na from the primary minerals of the pegmatite, but Sb and Pb must have been imported from an external source. The hydrothermal overprint is attributed to the same metamorphic – magmatic solutions that caused the nearby Sb ± Au and Pb–Zn–Sb sulfide deposits.

Keywords: titanite, fersmite, pyrochlore, microlite, betafite, uranpyrochlore, uranmicrolite, stibiomicrolite, stibiobetafite, plumbomicrolite, roméite, granitic pegmatite, Prašivá, Slovakia.

SOMMAIRE

L'assemblage de titanite, fersmite, minéraux du groupe du pyrochlore et roméite dans deux petits filons de pegmatite granitique peu évoluée, liés au pluton granitique et granodioritique hercynien de Prašivá, en Slovaquie centrale, résulte de l'altération hydrothermale de la columbite, l'ixiolite titanifère et le rutile niobifère et tantalifère primaires. La titanite précoce possède des teneurs élevées en Nb, Ta, Al et Fe, et la fersmite contient très peu de terres rares. Nous avons identifié pyrochlore, microlite, bétafite, uranpyrochlore, uranmicrolite, stibiomicrolite, stibiobétafite, plumbomicrolite, et plusieurs compositions transitionnelles dans la seconde génération de minéraux, dans la plupart des cas avec une teneur mesurable de Si. La roméite

tardive est considérablement enrichie en Nb, Ta, U et Si. La phase fluide hydrothermale responsable de ces transformations a mobilisé le Nb, Ta, Ti, U, Fe, Si, et probablement aussi le Ca et Na à partir des minéraux primaires de la pegmatite, mais dans le cas de Sb et Pb, la source a dû être externe à la pegmatite. La modification hydrothermale aurait été effectuée par les mêmes infiltrations de fluide métamorphique et magmatique que celles qui sont à l'origine des gisements avoisinants de sulfures de Sb ± Au et Pb–Zn–Sb.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: titanite, fersmite, pyrochlore, microlite, bétafite, uranpyrochlore, uranmicrolite, stibiomicrolite, stibiobéafite, plumbomicrolite, roméite, pegmatite granitique, Prašivá, Slovaquie.

COMPOSITIONAL, STRUCTURAL AND PHASE RELATIONSHIPS IN TITANIAN IXIOLITE AND TITANIAN COLUMBITE – TANTALITE

PETR ČERNÝ¹

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

T. SCOTT ERCIT

Research Division, Canadian Museum of Nature, Ottawa, Ontario K1P 6P4

MICHAEL A. WISE

Department of Mineral Sciences, Smithsonian Institution, Washington, D.C. 20560, U.S.A.

RON CHAPMAN AND HARVEY M. BUCK

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ *E-mail address: cernyp@ms.umanitoba.ca*

ABSTRACT

Titanium-enriched members of the columbite family (orthorhombic) commonly contain exsolved niobian–tantalum rutile, or are aggregated with a coprecipitated rutile phase. This assemblage is the Fe,Mn,Nb,Ta-rich counterpart of the Ti-dominant niobian rutile + exsolved titanian columbite pair. The rutile phase is enriched in Fe²⁺, Ta, Fe³⁺ and Sn, whereas the orthorhombic phase favors Mn, Nb, Sc, W and Zr. Most samples of the orthorhombic phase are defined as titanian columbite – tantalite; they have low to moderate Ti content, moderately to considerably disordered structure, and convert to highly ordered columbite – tantalite on heating. A minor number of samples of the orthorhombic phase develops the highly ordered structure of wodginite on heating, which identifies them as titanian ixiolite, the disordered counterpart of titanowodginite. These samples are highly disordered in the natural state. They are Ti-rich, with Mn > Fe and Ta > Nb; these features correspond to the composition of natural titanowodginite and of the only titanowodginite synthesized to date. However, subordinate but significant Sn seems to be present in all samples of titanian ixiolite as well as natural titanowodginite, and it may affect the path of ordering. Excess of Ta over the (Fe, Mn)(Nb, Ta)₂ stoichiometry of columbite, characteristic of most compositions of wodginite, may play a significant role. Ordered nuclei potentially present in the bulk of natural disordered phases may be important.

Keywords: titanium, columbite, tantalite, ixiolite, order–disorder, exsolution.

SOMMAIRE

Les membres du groupe de la columbite (orthorhombique) qui sont enrichis en titane possèdent généralement des domaines de rutile enrichi en Nb et Ta dus à l'exsolution, ou bien des agrégats de rutile coprécipité. Il s'agit de l'assemblage contenant Fe, Mn, Nb et Ta qui est la

contrepartie de l'association rutile niobifère + columbite titanifère exsolvée. La phase rutile est enrichie en Fe^{2+} , Ta, Fe^{3+} et Sn, tandis que la phase orthorhombique favorise Mn, Nb, Sc, W et Zr. Dans la plupart des cas, la phase orthorhombique fait partie de la série columbite – tantalite titanifère; elle possède une teneur faible à modérée en Ti et une structure relativement désordonnée, et se transforme en columbite – tantalite bien ordonnée en chauffant. Dans un nombre restreint de cas, la phase orthorhombique se transforme en wodginite bien ordonnée en chauffant, ce qui les identifie comme ixiolite titanifère, la contrepartie désordonnée de la titanowodginite. Ces échantillons sont fortement désordonnés à l'état naturel. Ils sont riches en Ti, avec $\text{Mn} > \text{Fe}$ et $\text{Ta} > \text{Nb}$; ces caractéristiques correspondent à la composition de la titanowodginite naturelle et du seul exemple qui en ait été synthétisé jusqu'à maintenant. Toutefois, il semble que des quantités non négligeables d'étain soient présentes dans tous les échantillons d'ixiolite titanifère et de titanowodginite naturelle, et ceci pourrait influencer la mise en ordre. Un excédent de Ta par rapport à la stoechiométrie $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2$ de la columbite, qui caractérise la plupart des compositions de wodginite, pourrait aussi jouer un rôle important. Les domaines ordonnés potentiellement présents dans les phases naturelles désordonnées pourraient aussi être importants.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: titane, columbite, tantalite, ixiolite, ordre-désordre, exsolution.

COMPOSITION OF COMPLEX LEPIDOLITE-TYPE GRANITIC PEGMATITES AND OF CONSTITUENT COLUMBITE – TANTALITE, CHÈDEVILLE, MASSIF CENTRAL, FRANCE

LOUIS RAIMBAULT¹

Centre d'Informatique Géologique, Ecole des Mines, 35, rue St-Honoré, F-77305 Fontainebleau Cedex, France and Groupe des Sciences de la Terre, Laboratoire Pierre Süe, C.E.N. Saclay, B.P. 2, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

¹ *E-mail address:* raimbault@cig.ensmp.fr

ABSTRACT

The Chèdeville field of granitic pegmatites extends over *ca.* 1200 m along a SW–NE trend in the southeastern part of the Saint-Sylvestre granite, northern Massif Central, France. The occurrence of lepidolite as the main lithium mineral, and the geochemical characteristics of the pegmatites, enriched in Li, Rb, Cs, Ta, and Sn, point to an affiliation with the rare-element class, complex type, lepidolite subtype. Vein-like pegmatite bodies have a well-developed internal structure, with a coarse upper zone, a fine-grained banded zone, an aplitic zone, and a lower layered zone with vertical wedge-shaped crystals of feldspar. Flow banding is common, and a repetition of the zonation provides evidence of multiple batches of magma. Metasomatism at the margins between units or of enclaves leads to the development of lepidolite-rich rocks. The geochemical characteristics of associated aplites match those of other occurrences of rare-metal granite at several localities in the northern Massif Central. However, Nb–Ta mineral characteristics are different from those of the granitic rocks. Uranmicrolite is restricted to the purple lepidolite zones, and columbite – tantalite is more Mn-rich than in granites. The Mn/(Fe + Mn) value actually varies over a narrow range (± 0.01) within each sample, but the variation between different bodies of pegmatite (from 0.90 to 0.96 and 0.99) again suggests multiple intrusions. Metasomatic units (accounting for less than 5% of the bodies) are characterized by a lower Nb/Ta in the whole rock and a higher Mn/Fe in the columbite – tantalite than in corresponding aplitic parts. Such rocks may be strongly enriched in Zr, Hf, and Th, suggesting a significant mobility of these elements at the metasomatic stage.

Keywords: pegmatite field, complex-lepidolite type, LCT group, columbite – tantalite, cassiterite, microlite, metasomatic replacement, bulk-rock chemistry, Chèdeville, Massif Central, France.

SOMMAIRE

Le champ de pegmatites de Chèdeville s'étend sur une longueur d'environ 1200 m, selon une direction SO–NE, dans la partie sud-est du granite de Saint-Sylvestre, Massif Central septentrional, France. La présence de lépidolite comme principal minéral de lithium et les caractéristiques géochimiques des pegmatites, enrichies en Li, Rb, Cs, Ta et Sn, les rattachent à la classe des pegmatites à éléments rares, type complexe, sous-type à lépidolite. Les corps

pegmatitiques, formant des veines, ont une structure interne bien développée, avec une zone supérieure grossière, une zone rubanée à grain fin, une zone aplitique, et une zone litée inférieure avec des cristaux de feldspath pointant vers le haut. Les textures fluidales sont courantes, et des duplications de la zonalité montrent qu'il s'agit d'intrusions multiples. Une métasomatose aux limites entre zones ou sur des enclaves conduit à la formation de roches violacées contenant des concentrations de lépidolite. Les caractéristiques géochimiques des parties aplitiques ressemblent à celles d'autres granites à métaux rares connus dans plusieurs localités du nord du Massif Central. Cependant, les caractéristiques des minéraux de Nb-Ta sont différentes de celles des minéraux de granite. L'uranmicrolite ne se trouve en abondance que dans les unités violacées à lépidolite, et la columbite – tantalite est plus riche en Mn que dans les granites. Dans chaque échantillon, le rapport $Mn/(Fe + Mn)$ varie que dans un intervalle restreint (± 0.01), mais est variable d'un échantillon à l'autre, nouvelle indication des intrusions multiples, avec $Mn/(Fe + Mn)$ variant de 0.90 à 0.96 et 0.99. Les unités métasomatiques, représentant moins de 5% des corps pegmatitiques, ont des rapports Nb/Ta en roche totale inférieurs, et Mn/Fe dans la columbite – tantalite supérieurs, à ceux des unités aplitiques correspondantes. Ces unités peuvent être fortement enrichies en Zr, Hf et Th, témoignant ainsi d'une forte mobilité de ces éléments au stade métasomatique.

Mot-clés: champ de pegmatites, type complexe à lépidolite, groupe LCT, columbite – tantalite, cassitérite, microlite, remplacement métasomatique, chimie en roche totale, Chèdeville, Massif Central, France.

COMPOSITION AND STRUCTURAL STATE OF COLUMBITE – TANTALITE FROM THE HARDING PEGMATITE, TAOS COUNTY, NEW MEXICO

GREGORY R. LUMPKIN¹

Materials Division, Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Private Mail Bag 1, Menai, New South Wales 2234, Australia

¹ *E-mail address: grl@nucleus.ansto.gov.au*

ABSTRACT

Columbite – tantalite is an important accessory mineral in the Harding granitic pegmatite, a subhorizontal, zoned, complex spodumene-type pegmatite emplaced within the Proterozoic Vadito Group in northern New Mexico. Columbite – tantalite is most abundant in the beryl (wall) zones of the pegmatite, with lesser quantities in the interior units. Average compositions of 25 samples plotted in the columbite quadrilateral form a distinct trend halfway along the MnNb_2O_6 – MnTa_2O_6 join, defined by $0.25 < \text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb}) < 0.57$ and $0.91 < \text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe}) < 0.99$. Internal fractionation is evident in the $\text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb})$ value which, on average, increases from 0.38 in the beryl zones to 0.49 in the interior lithologic units. The average $\text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe})$ value increases only slightly from 0.95 in the beryl zones to 0.98 in the interior units. These variations are accompanied by minor decreases in the average amounts of W, Ti, and U. The structural state of columbite – tantalite from the Harding pegmatite is bimodal. Samples from the beryl zone are highly disordered to partially ordered (f between 0.11 and 0.62, Q between 0.16 and 0.66), but samples from interior units are highly ordered (f between 0.97 and 1.02, Q between 0.87 and 0.93). The XRD and TEM results indicate that most partially ordered samples represent a simple transition between disordered and ordered distributions of cations; for example, there are no stacking faults or unusual superstructures. However, one highly disordered specimen may contain micrometer-scale domains and nanometer-scale intergrowths of completely disordered ($f = Q = 0$) and partially ordered ($f = Q = 0.2$) columbite. Possible factors causing the observed trend in structural state include a decrease in cooling rate by as much as two to three orders of magnitude and the presence of minor elements. The average U content of most samples is <0.5 wt.% UO_2 , thus restricting the accumulated radiation damage to a low level. Some radiation damage is documented by HRTEM in local regions of the sample containing 0.4 to 0.8 wt.% UO_2 .

Keywords: columbite – tantalite, cation ordering, cooling models, domain structures, fractionation, radiation damage, Harding granitic pegmatite, New Mexico.

SOMMAIRE

La columbite – tantalite s'avère un minéral accessoire important dans la pegmatite granitique de Harding, qui forme un massif subhorizontal zoné, de type complexe à spodumène, mis en place dans un encaissant protérozoïque du Groupe de Vadito, dans le nord du Nouveau-Mexique. Cet accessoire est le plus abondant dans les zones externes à béryl de la pegmatite, et

nettement moins abondant dans les zones internes. La composition moyenne de 25 échantillons est présentée dans le quadrilatère de la columbite; ils forment un tracé distinct à mi-chemin le long de la série $\text{MnNb}_2\text{O}_6 - \text{MnTa}_2\text{O}_6$, dans les intervalles $0.25 < \text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb}) < 0.57$ et $0.91 < \text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe}) < 0.99$. Le fractionnement interne du système est évident d'après la valeur du paramètre $\text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb})$, qui augmente, en moyenne, de 0.38 dans les zones à béryl jusqu'à 0.49 dans les zones internes. La valeur moyenne de $\text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe})$ n'augmente que légèrement, de 0.95 dans les zones à béryl jusqu'à 0.98 dans les zones internes. Ces variations sont accompagnées de légères diminutions dans la teneur moyenne en W, Ti, et U. Le degré d'ordre de la columbite – tantalite à Harding est bimodal. Les échantillons de la zone à béryl sont fortement désordonnés ou partiellement ordonnés (f entre 0.11 et 0.62, Q entre 0.16 et 0.66), mais ceux qui proviennent des zones internes sont fortement ordonnés (f entre 0.97 et 1.02, Q entre 0.87 et 0.93). Les données de diffraction X et de microscopie électronique par transmission montrent que dans la plupart des cas, les échantillons partiellement ordonnés représentent une simple transition entre une distribution désordonnée et une distribution ordonnée des cations. Il ne semble pas y avoir de défauts d'empilement ou de surstructures inattendues. En revanche, un échantillon fortement désordonné pourrait contenir des domaines micrométriques et des intercroissances nanométriques de columbite complètement désordonnée ($f = Q = 0$) et partiellement ordonnée ($f = Q = 0.2$). Parmi les facteurs qui pourraient expliquer le comportement observé du degré d'ordre figurent une diminution du taux de refroidissement, possiblement de deux ou trois ordres de grandeur, et la présence d'éléments mineurs. La teneur moyenne des échantillons en uranium est inférieure à 0.5% de UO_2 (en poids), ce qui limite l'endommagement du réseau cristallin. Le dommage semble plus élevé, selon les observations par microscopie électronique par transmission à haute résolution, dans des régions locales contenant entre 0.4 et 0.8% de UO_2 .

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: columbite – tantalite, mise en ordre des cations, modèles de refroidissement, structures en domaines, fractionnement, endommagement du réseau dû à la radiation, pegmatite granitique de Harding, Nouveau-Mexique.

Nb-Ta-Ti OXIDES IN GRANITIC PEGMATITES FROM THE TOPSHAM PEGMATITE DISTRICT, SOUTHERN MAINE

SARAH L. HANSON¹

Department of Geology and Geophysics, University of Utah, 717 WBB, Salt Lake City, Utah 84112-1183, U.S.A.

WILLIAM B. SIMMONS JR. AND ALEXANDER U. FALSTER

Department of Geology and Geophysics, University of New Orleans, New Orleans, Louisiana 70148, U.S.A.

¹ *E-mail address:* slhanson@.mines.utah.edu

ABSTRACT

Numerous bodies of granitic pegmatite intrude gneissic rocks in the Topsham pegmatite district, in southern Maine. Many of these pegmatites contain metamict, *REE*-bearing, complex Nb-Ta-Ti oxides. Initial reports identified this mineral as samarskite-(Y), an ABO_4 mineral with Nb, Ta and Ti at the B site and *REE* + Y dominant at the A site. However, electron-microprobe and X-ray-diffraction analyses of seven recently collected samples from various locations in district reveal that the oxide mineralogy is complex, consisting of several oxide phases. When heated, five of the specimens examined recrystallized to high-T samarskite plus other phases. However, these specimens have U + Th greater than *REE* + Y at the A site, and thus are ishikawaite rather than samarskite-(Y). Ishikawaite was found in all of the locations studied except the Consolidated Number 2 Quarry. The only metamict-appearing sample collected from the Consolidated Number 2 Quarry is ferrocolumbite, an AM_2O_6 oxide. At the Stand Pipe Hill location, polycrase-(Y), an AB_2O_6 oxide with Y dominant at the A site and Ti dominant at the B site, occurs in addition to ishikawaite. Samarskite-(Y) is notably absent from the pegmatites studied.

Keywords: samarskite-(Y), ishikawaite, polycrase-(Y), Topsham pegmatite district, Maine.

SOMMAIRE

De nombreux massifs de pegmatite granitique ont été mis en place dans un socle gneissique dans le district de Topsham, dans le secteur sud de l'état du Maine. Dans plusieurs cas, ces pegmatites contiennent un oxyde complexe de Nb-Ta-Ti métamict et porteur de terres rares. Les rapports préliminaires font état de samarskite-(Y), à stoechiométrie ABO_4 , un minéral ayant Nb, Ta et Ti à la position B et les terres rares + Y à la position A. Toutefois, nos résultats d'analyses à la microsonde électronique et par diffraction X de sept échantillons prélevés récemment dans le district révèlent un assemblage d'oxydes complexe. Suite au chauffage, cinq des échantillons ont recristallisé à la samarskite et d'autres phases. Toutefois, ces échantillons contiennent davantage de U + Th que de terres rares + Y à la position A, ce qui en font des

exemples d'ishikawaïte plutôt que de samarskite-(Y). L'ishikawaïte est présente à chaque endroit sauf la carrière Consolidated Number 2. Le seul oxyde que paraît métamictite à cet endroit est la ferrocolumbite, de stoechiométrie AM_2O_6 . Au site Stand Pipe Hill, nous avons trouvé le polycrase-(Y), oxyde à stoechiométrie AB_2O_6 , avec Y dominant à la position A et Ti dominant à la position B, avec l'ishikawaïte. La samarskite-(Y) serait absente des pegmatites étudiées.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: samarskite-(Y), ishikawaïte, polycrase-(Y), district de pegmatites de Topsham, Maine.

OXIDE MINERALS OF THE SEPARATION RAPIDS RARE-ELEMENT GRANITIC PEGMATITE GROUP, NORTHWESTERN ONTARIO

ANDREW G. TINDLE¹

Department of Earth Sciences, The Open University, Milton Keynes, Buckinghamshire MK7 6AA, U.K.

FRED W. BREAKS

Ontario Geological Survey, Mines and Mineral Research Centre, 933 Ramsey Lake Road, Sudbury, Ontario P3E 6B5

¹ *E-mail address:* a.g.tindle@open.ac.uk

ABSTRACT

The newly discovered Separation Rapids pegmatite group, situated in mafic metavolcanic host-rocks that represent the eastern extremity of the Bird River metavolcanic – metasedimentary belt, contains Ontario's first occurrences of wodginite-group minerals (mainly wodginite and ferrowodginite), the pyrochlore-group minerals stibiomicrolite, stibiobetafite and ytropyrochlore, ferrotapiolite, and probably the first occurrence in North America of nigerite from a granitic pegmatite. This example of the rare-element class of granitic pegmatites hosts both beryl- and petalite-subtype pegmatites. Columbite–tantalite and cassiterite are the predominant oxide species. On the basis of columbite–tantalite compositions, the pegmatites have been divided into an Fe-suite and a Mn-suite. Both beryl and petalite pegmatites occur in each suite. On the basis of ferrocolumbite compositions, the associated Separation Rapids pluton is considered to be the parent of at least the Fe-suite of pegmatites. The latter includes beryl pegmatites within and adjacent to the pluton, in which ferrocolumbite coexists with ferrowodginite, and, with increasing evolution, petalite-bearing pegmatites that contain ferrotantalite and wodginite. In individual pegmatites, columbite–tantalite variation mainly involves Ta/(Ta + Nb). Minor microlite, antimonian microlite and stibiomicrolite usually are found to replace earlier phases. Cassiterite is the final Nb–Ta-bearing oxide to crystallize. Pegmatites belonging to the Mn-suite follow a similar pattern of crystallization, with early manganocolumbite followed by manganotantalite, the latter coexisting with wodginite. Manganocolumbite within individual samples varies appreciably in Mn/(Mn + Fe), whereas the variation in manganotantalite mainly involves Ta/(Ta + Nb). In pods rich in “cleavelandite” and Li-mica within one of the beryl pegmatites, extreme Mn-enrichment has produced near-end-member manganotantalite and W-bearing wodginite. Microlite is an important late phase, which is either primary or forms as a replacement, mainly of wodginite. The presence of microlite, lithian mica and topaz in Mn-suite pegmatites (and aplites) indicates that they were derived from a more F-rich melt than that which produced the Fe-suite of pegmatites. Albitization also is more apparent in the Mn-suite of pegmatites. The wall-zone of Marko's pegmatite, the largest body in the eastern subgroup and part of the Mn-suite, is unique in hosting titanowodginite, “ferrotitanowodginite”, stibiobetafite and strüverite. These Fe-, Ti- and Sb-

phases are considered to have developed as a result of interaction of the pegmatite-forming melt with banded ironstones and Fe–Ti-rich metavolcanic host-rocks.

Keywords: columbite, tantalite, wodginite, ferrowodginite, titanowodginite, microlite, stibiomicrolite, stibiobétafite, nigerite, granitic pegmatite, tantalum, tin, Separation Rapids, Ontario.

SOMMAIRE

Le groupe de massifs de pegmatites granitiques dit de Separation Rapids, situé dans des roches hôtes mafiques métavolcaniques qui représenteraient l'aboutissement vers l'est de la ceinture métavolcanique et métasédimentaire de Bird River, contient les premières indications de la présence en Ontario des minéraux du groupe de la wodginite (surtout wodginite et ferrowodginite), du groupe du pyrochlore (stibiomicrolite, stibiobétafite et ytropyrochlore), de la ferrotapiolite, et tout probablement du premier exemple en Amérique du Nord de la nigerite dans un contexte pegmatitique. Ces exemples de pegmatites granitiques enrichies en éléments rares comprennent des cortèges à béryl et d'autres à pétalite. Columbite–tantalite et cassitérite en constituent les oxydes principaux. A la lumière des compositions de columbite–tantalite, les pegmatites définissent deux suites, une riche en Fe et l'autre, en Mn. On trouve des pegmatites à béryl et des pegmatites à pétalite dans chaque suite. Selon les compositions de la ferrocolumbite, le pluton de Separation Rapids, avoisinant, serait la source d'au moins la suite de pegmatites riche en Fe, dont les pegmatites à béryl à l'intérieur ou près du pluton contiennent la ferrocolumbite qui coexiste avec la ferrowodginite. Les faciès plus évolués, à pétalite, contiennent ferrotantalite et wodginite. Dans les venues pegmatitiques individuelles, la variation en composition de la columbite–tantalite implique surtout $Ta/(Ta + Nb)$. Des traces de microlite, microlite stibié et stibiomicrolite remplacent en général les minéraux accessoires précoces. La cassitérite est le dernier oxyde porteur de Nb–Ta à cristalliser. Les pegmatites faisant partie de la suite enrichie en Mn suivent un schéma de cristallisation semblable, impliquant manganocolumbite suivie de manganotantalite, cette dernière en coexistence avec la wodginite. Dans un échantillon donné, la manganocolumbite varie de façon importante en $Mn/(Mn + Fe)$, tandis que la variation dans la manganotantalite implique surtout $Ta/(Ta + Nb)$. Dans des lentilles riches en "cleavelandite" et en mica lithinifère au sein d'une pegmatite à béryl, un enrichissement extrême en Mn a produit de la manganotantalite dont la composition est proche du pôle et de la wodginite riche en tungstène. Le microlite est une phase tardive importante, soit d'origine primaire ou bien en remplacement, surtout de la wodginite. La présence de microlite, mica lithinifère et topaze dans les pegmatites (et aplites) de la suite riche en Mn laisse entrevoir une cristallisation à partir d'un magma relativement enrichi en fluor comparé à celui qui a produit le cortège de pegmatites plutôt enrichies en Fe. L'albitisation est aussi plus évidente dans les pegmatites riches en Mn. La zone de paroi de la pegmatite de Marko, la plus volumineuse du groupe de l'est et faisant partie de ce groupe riche en Mn, semble la seule à contenir titanowodginite, "ferrotitanowodginite", stibiobétafite et strüverite. Ces phases riches en Fe, Ti et Sb seraient attribuables à une interaction entre le magma responsable de la pegmatite et les roches encaissantes, des formations de fer rubanées et des roches métavolcaniques riches en Fe–Ti.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: columbite, tantalite, wodginite, ferrowodginite, titanowodginite, microlite,

stibiomicrolite, stibiobétafite, nigerite, pegmatite granitique, tantale, étain, Separation Rapids, Ontario.

WODGINITE-GROUP MINERALS FROM THE SEPARATION RAPIDS RARE-ELEMENT GRANITIC PEGMATITE GROUP, NORTHWESTERN ONTARIO

ANDREW G. TINDLE¹

Department of Earth Sciences, The Open University, Milton Keynes, Buckinghamshire MK7 6AA, U.K.

FRED W. BREAKS

Ontario Geological Survey, Mines and Mineral Research Centre, 933 Ramsey Lake Road, Sudbury, Ontario P3E 6B5

PETER C. WEBB

Department of Earth Sciences, The Open University, Milton Keynes, Buckinghamshire MK7 6AA, U.K.

¹ *E-mail address: a.g.tindle@open.ac.uk*

ABSTRACT

Wodginite (ideally $\text{MnSnTa}_2\text{O}_8$), and the rarer species, ferrowodginite (ideally $\text{Fe}^{2+}\text{SnTa}_2\text{O}_8$) and titanowodginite (ideally $\text{MnTiTa}_2\text{O}_8$), have been discovered in rare-element granitic pegmatites of the complex type, petalite subtype, which occur in the Separation Rapids pegmatite field, northwestern Ontario. Tungsteniferous varieties of wodginite and an unnamed wodginite ("ferrotitanowodginite") are also described from this locality. The pegmatites intrude a metavolcanic (greenstone) belt between the English River and Winnipeg River subprovinces of the Canadian Shield, where they are associated with a 2643 ± 2 Ma rare-element-enriched granitic intrusion, the Separation Rapids pluton. The tungsteniferous wodginite has an excess positive charge at the C site due to substitution of Ta by W, which is balanced by the presence of Fe^{3+} and Mn^{2+} at the B site via the substitutions: ${}^B[\text{Sn}^{4+}] + {}^C[\text{Ta}^{5+}] \leftrightarrow {}^B[\text{Fe}^{3+}] + {}^C[\text{W}^{6+}]$, ${}^B[\text{Sn}^{4+}] + 2{}^C[\text{Ta}^{5+}] \leftrightarrow {}^B[\text{Mn}^{2+}] + 2{}^C[\text{W}^{6+}]$, and $2{}^B[\text{Sn}^{4+}] + {}^C[\text{Ta}^{5+}] \leftrightarrow {}^B[\text{Mn}^{2+}] + {}^C[\text{W}^{6+}] + {}^B[\text{Ta}^{5+}]$. These new schemes of substitution result in hypothetical tungsteniferous end-members $\text{Mn}^{2+}_4(\text{Fe}^{3+}_2\text{Sn}_2)(\text{W}_2\text{Ta}_6)\text{O}_{32}$, $\text{Mn}^{2+}_4(\text{Mn}^{2+}_2\text{Sn}_2)(\text{W}_4\text{Ta}_4)\text{O}_{32}$, and $\text{Mn}^{2+}_4(\text{Mn}^{2+}\text{Sn}_2\text{Ta})(\text{W}\text{Ta}_7)\text{O}_{32}$. At Separation Rapids, the rare-metal oxides follow two distinct evolutionary paths: (i) ferrocolumbite \rightarrow ferrocolumbite + ferrowodginite \rightarrow ferrotantalite + ferrowodginite \rightarrow microlite-group minerals, and (ii) manganocolumbite \rightarrow manganocolumbite + wodginite \rightarrow manganotantalite + wodginite \rightarrow microlite-group minerals. Sequence (i) is considered to have arisen from a relatively F-poor magma, and sequence (ii), from a magma richer in F, where extreme enrichment in Mn was perhaps achieved through F-complexing. Wodginite-group minerals are most often found in the albite-enriched regions of the pegmatites. Magmatic fractionation is considered to be the major process controlling concentration of the rare elements. Titaniferous wodginite compositions cannot be explained by simple magmatic fractionation (from a Fe- or Mn-rich wodginite starting composition); localized interaction of the pegmatite-forming magma with mafic metavolcanic

rocks and banded ironstones is proposed for their origin. Of wodginite-group minerals worldwide, only the "giant" Tanco pegmatite at Bernic Lake in Manitoba hosts wodginite with a spread of compositions comparable to that at Separation Rapids. On the basis of a striking similarity in geological setting, mineralogy and age of emplacement with the rare-element pegmatite groups commencing 40 km west in Manitoba (including Tanco), we contend that the Separation Rapids Pegmatite Group constitutes the eastern limit of the Cat Lake – Winnipeg River Pegmatite Field.

Keywords: wodginite, ferrowodginite, titanowodginite, granitic pegmatite, tantalum, tin, electron microprobe, Separation Rapids, Ontario.

SOMMAIRE

Nous documentons la présence de la wodginite (formule idéale $\text{MnSnTa}_2\text{O}_8$) ainsi que des espèces plus rares ferrowodginite (formule idéale $\text{Fe}^{2+}\text{SnTa}_2\text{O}_8$) et titanowodginite (formule idéale $\text{MnTiTa}_2\text{O}_8$) dans un cortège de pegmatites granitiques enrichies en éléments rares, de type complexe, sous-type de la pétalite, à Separation Rapids, dans le nord-ouest de l'Ontario. Une variété tungsténifère de la wodginite et une espèce sans nom ("ferrotitanowodginite") y sont aussi présentes. Les pegmatites ont été mis en place dans une ceinture métavolcanique de roches vertes entre les sous-provinces de English River et Winnipeg River du bouclier canadien, et sont associées au pluton de Separation Rapids (2643 ± 2 Ma), lui-même enrichi en éléments rares. La wodginite tungsténifère a un excès de charge positive à la position C à cause du remplacement du Ta par W, qui est compensé par la présence de Fe^{3+} et de Mn^{2+} à la position B selon les substitutions: ${}^B[\text{Sn}^{4+}] + {}^C[\text{Ta}^{5+}] \leftrightarrow {}^B[\text{Fe}^{3+}] + {}^C[\text{W}^{6+}]$, ${}^B[\text{Sn}^{4+}] + 2{}^C[\text{Ta}^{5+}] \leftrightarrow {}^B[\text{Mn}^{2+}] + 2{}^C[\text{W}^{6+}]$, and $2{}^B[\text{Sn}^{4+}] + {}^C[\text{Ta}^{5+}] \leftrightarrow {}^B[\text{Mn}^{2+}] + {}^C[\text{W}^{6+}] + {}^B[\text{Ta}^{5+}]$. Ces nouveaux schémas de substitution mènent aux pôles tungsténifères hypothétiques $\text{Mn}^{2+}_4(\text{Fe}^{3+}_2\text{Sn}_2)(\text{W}_2\text{Ta}_6)\text{O}_{32}$, $\text{Mn}^{2+}_4(\text{Mn}^{2+}_2\text{Sn}_2)(\text{W}_4\text{Ta}_4)\text{O}_{32}$, et $\text{Mn}^{2+}_4(\text{Mn}^{2+}\text{Sn}_2\text{Ta})(\text{W}\text{Ta}_7)\text{O}_{32}$. À Separation Rapids, ces oxydes des métaux rares définissent deux lignées évolutives distinctes: (i) ferrocolumbite → ferrocolumbite + ferrowodginite → ferrotantalite + ferrowodginite → minéraux du groupe du microlite, et (ii) manganocolumbite → manganocolumbite + wodginite → manganotantalite + wodginite → minéraux du groupe du microlite. La séquence (i) s'appliquerait à un magma à teneur en F relativement faible, et la séquence (ii), à un magma enrichi en F, dans lequel un enrichissement extrême en Mn aurait peut-être été atteint grâce à une complexation par le fluor. On trouve les minéraux du groupe de la wodginite surtout dans les zones des pegmatites enrichies en albite. Un fractionnement magmatique serait le processus important pour expliquer la concentration des éléments rares. En revanche, les compositions titanifères de la wodginite ne peuvent s'expliquer par fractionnement magmatique simple (à partir d'une wodginite ferrifère ou manganifère); une contamination localisée du magma évolué par les roches métavolcaniques mafiques et les formations de fer rubanées en serait l'origine. Sur une échelle mondiale, seule la pegmatite "géante" de Tanco, au lac Bernic, au Manitoba, contient des minéraux du groupe de la wodginite avec un éventail de compositions comparable à celui de Separation Rapids. Une ressemblance frappante du contexte géologique, des assemblages de minéraux et du contexte temporel de mise en place des groupes de pegmatites à éléments rares, commençant à 40 km à l'ouest, dans le Manitoba (et comprenant Tanco), nous fait penser que le cortège de pegmatites de Separation Rapids constitue la limite orientale du champ de pegmatites du lac Cat et de la rivière Winnipeg.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: wodginite, ferrowodginite, titanowodginite, pegmatite granitique, tantale, étain,

microsonde électronique, Separation Rapids, Ontario.

NIOBIUM–TANTALUM OXIDE MINERALS FROM COMPLEX GRANITIC PEGMATITES IN THE MOLDANUBICUM, CZECH REPUBLIC: PRIMARY *VERSUS* SECONDARY COMPOSITIONAL TRENDS

MILAN NOVÁK¹

Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic

PETR ČERNÝ¹

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

¹ *E-mail addresses:* mineral@mzm.anet.cz, cernyp@ms.umanitoba.ca

ABSTRACT

Compositional trends of Nb,Ta-oxide minerals in four complex granitic pegmatites (lepidolite and petalite subtypes) in the Moldanubicum, Czech Republic, covering primary (magmatic) and secondary (hydrothermal replacement) stages of crystallization, were investigated. The primary stage is characterized by ferrocolumbite to manganocolumbite, followed after Fe- and Mn-depletion by Ca- or Sb-rich minerals: microlite (Nová Ves), rynersonite (Chvalovice) and stibiotantalite (Dobrá Voda, Laštovičky). Compositional paths in columbite are similar to those of lepidolite pegmatites; the other primary Nb,Ta-oxide minerals exhibit Ta/(Ta+ Nb) values significantly higher relative to columbite. Decreasing Nb/Ta and the cation sequence Fe – Mn – (Sb,Ca) are typical of the primary stage. The secondary stage displays a broad spectrum of mainly fracture-filling secondary phases, such as diverse microlite-group minerals, cesstibtantite, manganotantalite, ferrotantalite and ferrotapiolite, which replace stibiotantalite, microlite and rynersonite; columbite in outer pegmatite units remains unaffected. The Ta/(Ta + Nb) values of the secondary phases are comparable to those of their precursors. The general sequence of major A-site cations in hydrothermal Nb,Ta-oxide minerals, (Sb) – Ca – Mn – Fe, is reversed relative to that of the primary stage, and it may represent a universal pattern of hydrothermal replacement of primary Nb,Ta-oxide minerals in comparable granitic pegmatites. The composition of microlite-type minerals and textural relations indicate that the secondary hydrothermal stage includes a broad range of P–T–X conditions from early subsolidus replacement at ~500–350°C, ~2.5 –2.0 kbar (Nová Ves, Dobrá Voda) to near-surface weathering at ≤100°C (Chvalovice). The likely source of the Sb, Ca, Mn and part of the Fe seems to be the fluid phase exsolved from the residual melt or the replaced primary mineral; the host rock may be a source of Fe (Chvalovice).

Keywords: niobium, tantalum, columbite, microlite, cesstibtantite, rynersonite, stibiotantalite, tantalite, ferrotapiolite, Moldanubicum, Czech Republic.

SOMMAIRE

Nous avons étudié les variations en composition des oxydes de Nb et Ta provenant de quatre massifs de pegmatite granitique complexe (sous-types à lépidolite et pétalite) dans le Moldanubicum, en République Tchèque, tant d'origine primaire (magmatique) que secondaire (remplacement hydrothermal). Le stade primaire a donné la série ferrocolumbite à manganocolumbite, qui a par la suite donné lieu à des minéraux appauvris en Fe et Mn, et riches en Ca et Sb: microlite (Nová Ves), rynersonite (Chvalovice) et stibiotantalite (Dobrá Voda, Laštovičky). Le tracé des compositions de columbite ressemble à celui des pegmatites à lépidolite; les autres oxydes de Nb et Ta du stade primaire ont une valeur Ta/(Ta + Nb) plus élevée que dans la columbite. Au cours du stade primaire, une diminution en Nb/Ta et la séquence d'enrichissement Fe – Mn – (Sb,Ca) sont typiques. Au stade secondaire, nous documentons le remplissage de fissures par plusieurs minéraux secondaires, par exemple les minéraux du groupe du microlite, cesstibtantite, manganotantalite, ferrotantalite et ferrotapiolite, en remplacement de stibiotantalite, microlite et rynersonite; la columbite des zones externes de la pegmatite reste inchangée. Le rapport Ta/(Ta + Nb) des phases secondaires est comparable à celui des précurseurs. En général, la séquence des cations occupant la position A dans les minéraux à Nb et Ta d'origine hydrothermale, (Sb) – Ca – Mn – Fe, est renversée par rapport aux minéraux primaires, et pourrait témoigner d'un comportement général suite au ré-équilibre hydrothermal dans des situations comparables rencontrées dans les pegmatites granitiques. D'après la composition des minéraux du groupe du microlite et les relations texturales, le stade hydrothermal représente un large intervalle de conditions P–T–X, en partant du remplacement subsolidus précoce à ~500–350°C, ~2.5 –2.0 kbar (Nová Ves, Dobrá Voda), jusqu'à la météorisation près de la surface à une température inférieure ou égale à 100°C (Chvalovice). Les éléments Sb, Ca, Mn et une partie du Fe seraient ajoutés *via* la phase fluide exsolvée du magma résiduel ou viendraient du minéral précurseur. A Chvalovice, la roche-hôte a peut-être été à l'origine du Fe.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: niobium, tantale, columbite, microlite, cesstibtantite, rynersonite, stibiotantalite, tantalite, ferrotapiolite, Moldanubicum, République Tchèque.

SCANDIUM SUBSTITUTION IN COLUMBITE-GROUP MINERALS AND IXIOLITE

MICHAEL A. WISE¹

Department of Mineral Sciences, Smithsonian Institution, Washington, D.C. 20560, U.S.A.

PETR ČERNÝ

Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

ALEXANDER U. FALSTER

Department of Geology and Geophysics, University of New Orleans, New Orleans, Louisiana 70148, U.S.A.

¹ *E-mail address:* mnhms015@sivm.si.edu

ABSTRACT

Columbite-group minerals and ixiolite with extremely variable concentrations of scandium are widespread in moderately to highly fractionated rare-element granitic pegmatites. Columbite-group minerals with 1–3 wt.% Sc₂O₃ are referred to as scandian columbite – tantalite and show degrees of structural order similar to columbite – tantalite lacking Sc. Disordered structures remain orthorhombic and become ordered upon heating. Pseudo-orthorhombic stannian (Sn-rich), titanian (Ti) and wolframian (W) variants of ixiolite may contain as much as 3.7 wt.% Sc₂O₃ and revert to monoclinic phases upon heating. Similarly, scandian ixiolite that contains Sc in excess of 3.0 and up to 18.8 wt.% Sc₂O₃ converts from orthorhombic to monoclinic symmetry upon heating and has a stoichiometry that approaches Sc(Nb,Ta)O₄. Scandium-bearing columbite – tantalite and ixiolite show similar ranges in Mn/(Mn + Fe) and Ta/(Ta + Nb) values, but noticeably different Sn, Ti and Sc contents. Scandium is incorporated into the columbite and ixiolite structures *via* the coupled substitution $\text{Sc}^{3+} + (\text{Ti},\text{Sn})^{4+} = (\text{Fe},\text{Mn})^{2+} + (\text{Nb},\text{Ta})^{5+}$; it is strongly partitioned into the (Fe,Mn) site, whereas the Ti and Sn prefer the (Nb,Ta) site. Within the (Fe,Mn) site, the substitution of Sc for Fe is more prevalent. In most pegmatites, Sc fractionation in columbite – tantalite, stannian ixiolite, titanian ixiolite and wolframian ixiolite is erratic, unlike scandian ixiolite, which shows strong enrichment in Sc with increasing Mn, Ta and Sn.

Keywords: scandium, columbite, tantalite, ixiolite, granitic pegmatite.

SOMMAIRE

Les minéraux du groupe de la columbite et l'ixiolite des pegmatites granitiques à éléments rares dont le degré d'évolution est moyen à avancé font preuve de concentrations extrêmement variables de scandium. Les minéraux du groupe de la columbite ayant de 1 à 3% (poids) de Sc₂O₃ ont un degré d'ordre semblable à celui de la columbite – tantalite sans Sc. Les structures désordonnées demeurent orthorhombiques et deviennent ordonnées suite au chauffage. Les variantes pseudo-orthorhombiques de l'ixiolite riches en étain, en titane et en tungstène peuvent

contenir jusqu'à 3.7% de Sc_2O_3 (poids), et deviennent monocliniques après chauffage. De même, l'ixiolite, dont la teneur en Sc dépasse 3.0% et peut atteindre 18.8% de Sc_2O_3 , passe de modification orthorhombique à monoclinique suite au chauffage, et possède une stoechiométrie se rapprochant de $\text{Sc}(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_4$. La columbite – tantalite et l'ixiolite contenant le Sc montrent des intervalles de valeurs de $\text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe})$ et de $\text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb})$ semblables, mais leurs teneurs en Sn, Ti et Sc diffèrent beaucoup. Le scandium serait accommodé dans la structure de la columbite et celle de l'ixiolite selon la substitution couplée $\text{Sc}^{3+} + (\text{Ti},\text{Sn})^{4+} = (\text{Fe},\text{Mn})^{2+} + (\text{Nb},\text{Ta})^{5+}$; le Sc favorise le site (Fe,Mn), tandis que le Ti et le Sn préfèrent le site (Nb,Ta). Dans le site (Fe,Mn), le remplacement du Fe par le Sc est plus important. Dans la plupart des pegmatites, le degré d'enrichissement du Sc dans la columbite – tantalite et dans l'ixiolite stannifère, titanifère ou tungsténifère est aléatoire, en comparaison de l'ixiolite, qui fait preuve d'un fort enrichissement en Sc à mesure qu'augmente la teneur en Mn, Ta et Sn.

(Traduit par la Rédaction)

Mots-clés: scandium, columbite, tantalite, ixiolite, pegmatite granitique.