

Самороден алуминий в десилициран пегматит със смарагд и хризоберил от Рила планина, ЮЗ България

Васил Арnaudов

Vassil Arnaudov. Native aluminium in desilicated pegmatite with emerald and chrysoberyl from Rila Mountain, SW Bulgaria

Abstract. Native aluminium was found in an apophysis ($2.5 \times 0.5 \times 0.7$ m) of the so called Emerald pegmatite from the region of the Urdini Lakes, located between biotite gneisses and a serpentized ultrabasic sheet-like body. The apophysis, entirely intruded into the talc-schists part of the metaultrabasic, has a zoned structure: plagioclase An₈₋₁₄ (innermost zone), plagioclase, plagioclase-phlogopite, phlogopite, amphibole-phlogopite, actinolite, chlorite and talc. Aluminium is found only in one small plagioclase-phlogopite sample ($3 \times 3 \times 1.5$ cm) among halloysite matrix, covered by dark-green phlogopite in which apatite inclusions are common. Chrysoberyl and emerald are present in the plagioclase. Aluminium, silver white in colour, with a strongly metallic lustre, forms a 0.6 mm thin lamella, 3×3 mm wide, of irregular shape. The examined particle is almost pure aluminium (in wt.%): Al 99.04-99.10, Si 0.54-0.58, Fe 0.10-0.20, Ti 0.03-0.10, Ca 0.10, K 0.07-0.09. X-ray diffraction data (d/I) are close to these for native aluminium from different natural finds: 2.35(10), 2.02(9), 1.224(10), 1.171(6). It seems possible that aluminium as an accessory mineral in the metaultrabasic rock, was formed as a result of AlCl disproportionating during its passage through deep-seating channels, together with reducing gases (after the mechanism proposed by Osadchii and Alekhin, 1984). Later, during exchange reactions between ultrabasic host rock and pegmatite fluids, aluminium get into the phlogopite zone. Another hypothesis is: formation of native aluminium in situ, in small closed volumes at strongly reducing Al-rich environment. Many high-aluminium mineral phases occur in the Emerald pegmatite - plagioclase (20.5-25.7% Al₂O₃), phlogopite (14.9%), clinocllore (15.8-19.0%), beryl (15.9-16.7%), chrysoberyl (72.0%), beryllium-bearing margarite (45.7%), fuchsite (31.6%), gahnite, kyanite, etc.

Key words: Native aluminium, desilicated pegmatite, metaultrabasic, Al-rich minerals, emerald, chrysoberyl

Address: Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria;
E-mail: arnaudov@geology.bas.bg

Увод

Самороден алуминий е установен през 1969 г. в десилициран пегматит в циркуса на Урдини езера, Северозападна Рила планина. Намерен е само в един образец, в който присъстват смарагд и хризоберил (Арнаутов, Петрусенко, 1971). Образецът със самороден алуминий е от апофиза на десилицирания пегматит, която е внедрена в оталкозено метаултрабазично тяло. Днес апофизата практически не съществува, тъй-като дълги години е била обект за търсене на образци съдържащи смарагд, което прави съмнителна възможността за нови находки на самороден алуминий в т. нар. Смарагдов пегматит от Урдините езера в Рила планина (Петрусенко и др., 1966; Арнаутов, 1976). Екзотичният характер на тази находка и неуспехът в търсенето през следващите години на самороден алуминий в образци и в изкуствени шлихови проби от този пегматит, както и от други десилицирани пегматитови жили от района, е причината да не се публикуват данни за минерала досега.

Досегашни находки на самороден алуминий в различни геоложки обекти

За първи път самороден алуминий е описан в базични скали (габро-долерити) от Сибирската платформа (Олейников, и др., 1978), както и в дълбоководни океански утайки (Штеренберг, Васильева, 1979) и в златоносни кварцови жили от Южен Урал (Новгородова, 1979). По-късно алуминий е намерен в ксенолити от еклогити и различни ултрабазични скали сред кимберлитите от диамантови находища в Сибир (Олейников, и др., 1981; Ковальский и др., 1981; Ковальский, Олейников, 1983, 1985), в рудите от Никитовското живачно находище в Донбас, Украйна (Купенко, Осадчий, 1981), в антимоновото находище Скальное в

Таджикистан (Блохина, 1982), в пирит-полиметалните руди в Хандиза, Узбекистан (Алехина и др., 1983), в гибсит-алунит-халуазитови скали от Западното Прибайкалие, Русия (Домбровская и др., 1984), в пикрити от Приморието в Далечния изток, Русия (Врожочек, 1985), в каласното находище Укачилкан в Североизточна Якутия (Столяров и др., 1988), в празнини на флуидални липарити от Дукатското рудно поле в Далечния изток, Русия (Филимонова, Трубкин, 1996). Алуминий е открит и в изкопаема дървесина от Павловското находище на кафяви въглища в Приморието, Русия (Середин, Магазина, 1999). След първите данни за наличието на самороден алуминий в теригенно-пирокластични глинести седименти в Тихия океан (Штеренберг, Васильева, 1979), последователно са публикувани данни за нови находки на алуминий в съвременни пелагични утайки, Fe-Mn конкреции и съдържащи рудни минерали седименти в Тихия океан, Атлантическия океан и Червено море (Штеренберг, 1981; Батурин и др., 1984; Юшко-Захарова и др., 1984; Штеренберг и др., 1986; Шнюков и др., 1987; Бутузова и др., 1987; Арсамаков и др., 1988; Dekov et al., 1993, 1995). През последните 15 години има сведения за присъствието на самороден алуминий още в газокондензати, сублимати и утайки от води (Карданова, Философова, 1992; Korzhinsky et al., 1996; Yudovskaya et al., 2006) във високотемпературни фумаролни полета, свързани с поствулканската дейност на съвременни вулкани. Самороден алуминий е открит и в образци от лунния грунт (Ашихмина и др., 1979).

Бележки за геологията на района

Сред високометаморфните скали на Северозападна Рила планина, между Рило-Родопския гранитоиден батолит, на изток, и Калинския гранитоден плутон, на запад, се

разкрива пегматитово поле, в което са представени различни парагенетични типове пегматити: микроклинови, микроклин-албитови и техни хибридни производни - десилицирани и "скарноидни" пегматити. Десилицираните пегматити залягат сред метаултрабазити, а "скарноидните" пресичат мраморни прослойки от метаморфния комплекс, в който преобладават различни по състав гнайси и кварцсъдържащи амфиболити (Арnaudов, Петрусенко, 1968; Arnaudov, 1975; Арnaudов, 1976). Възрастта на хибридните пегматити, както и на останалите пегматитови разновидности, разкриващи се на изток от Калинския плутон, е терциерна, 50 ± 5 Ma (Арnaudов и др., 1974; Arnaudov, 1975; Арnaudов, 2001). На запад от плутона, в палеозойските гнайси (240-330 Ma) на метаморфния комплекс, са установени предимно плагиоклазови слюдоносни пегматити, с младопалеозойска (240-250 Ma) възраст. Кредна е възрастта на слюдоносния олигоклазов пегматит в кариерата Калин (135 Ma, Arnaudov, 1975).

Строеж и минерален състав на десилицирания пегматит със самороден алуминий

Десилицираната пегматитова жила със смарагд и самороден алуминий заляга на границата между биотитови гнайси и метаморфозирани до талкошисти ултрабазично тяло при излива на езерото под връх Дамга (Петрусенко и др., 1966; Арnaudов, 1976). Основната маса на жилата, която е дълга около 20 m и дебела 2-3 m, е представена от олигоклаз с редки гнезда от мусковит, спорадичен кварц и берил. Към контакта с талкошистите се появява и флогопит. От жилата в талкошистите навлиза апофиза ($2,5 \times 0,5-0,7$ m), която е изградена от следните зони, от вътрешността към контактите със шистите: плагиоклазова, плагиоклаз-флогопитова, флогопитова,

амфибол-флогопитова, актинолитова, хлоритова с актинолит, и талкова.

В плагиоклазовата зона, дебела 20-30 cm, са установени олигоклаз, кварц, флогопит, мусковит, фуксит, берилиев маргарит, магнетит, рутил, илменит, титанит, берил (смарагд), циркон, гранат, гаанит, апатит, уранинит, монацит, ксенотим, аланит, колумбит, самарскит, итротанталит, самороден бисмут, бисмутинит, бисмутит, молибденит, пирит, пиротин, халкопирит, епидот, калцит и глинести минарала. В преходната, плагиоклаз-флогопитова зона, преобладаващият минерал е флогопитът, който образува с плагиоклаза лещи с размери $8-10 \times 2-3$ cm, често включващи едрокристален апатит и смарагд. В такава леща, на границата със следващата, флогопитовата зона, е намерен самородният алуминий, заедно с флогопит, халуазит, апатит, хризоберил и смарагд. Тънката (10-15 cm), почти мономинерална флогопитова зона, съдържа предимно апатит $\pm$ смарагд. Амфибол-флогопитовата зона, в която също се среща апатит, е дебела 8-10 cm. В актинолитовата зона (2-3 cm), освен флогопит се наблюдава и клинохлор. Хлоритовата зона (2-3 cm) е изградена от клинохлор с малко актинолит, хромит и магнетит. Дребнолюспестият талк, асоцииращ с тремолит, дребнокристален магнетит и хромит, оформя следващата тънка, талкова зона (5-6 cm), прехождаща в талкошистите.

Самороден алуминий

Образецът ($5 \times 3 \times 1,5$ cm), в който е намерен самородният алуминий, е част от по-голяма олигоклаз-флогопитова леща, изградена от сивозелен олигоклаз (An_{8-14}) и тъмнозелен дребнолюспест флогопит (Mg 2,00-2,26 *apfu*, Fe 0,51-0,57 *apfu*). Сред олигоклаза се виждат няколко дългопризматични смарагдови кристала и малки натрупки от кристални агрегати на жълто-зелен хризоберил. Флогопитът, който обвива плагиоклаза

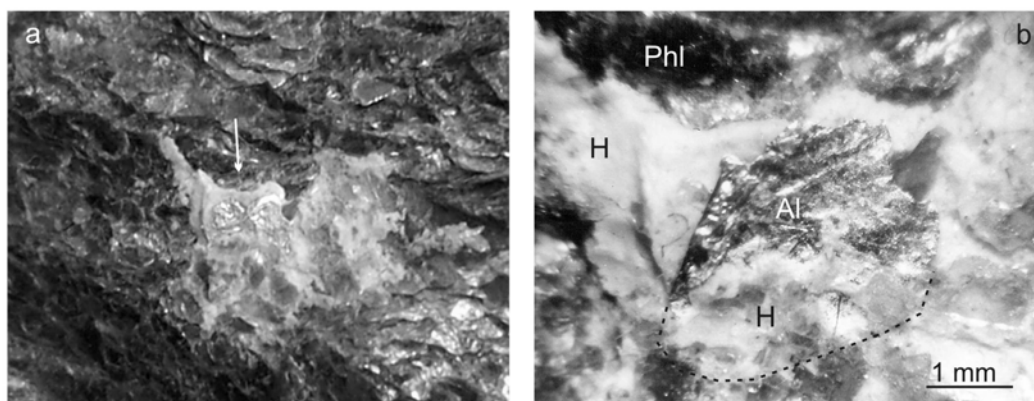
изобилства с вclusions от дребнокристален апатит.

Алуминият има формата на многоъгълна пластинка с размери 3×3 mm и дебелина 0,6 mm. Пластинката е сребристо-бяла, силно блясвава, в единия край слабо вълновидно огъната, без видими под биноклярна лупа промени по повърхността, която е финоивичесто штрихована. Штриховката е субпаралелна, слабо вълновидна. Алюминиевата пластинка е включена в бяла халузитова маса и флогопита, покриващи голяма част от нея (фиг. 1).

Междуплоскостните разстояния (d/I) на самородния алуминий от смарагдовото находище: 2,35(10) - 2,02(9) - 1,224(10) - 1,171(6), са сходни с публикуваните рентгенографски данни на алуминий от различни други находища (Новгородова, 1983; Олейников и др., 1984; Dekov et al., 1995).

Микросондовите анализи (JEOL Superprobe 733 equipped with an ORTEC-EDS, 15 kV) определят образаца от Рила като почти чист алуминий (тегл.%): Al 99,04-99,10; Si 0,54-0,58; Fe 0,10-0,20; Ti 0,03-0,10; Ca 0,00-

0,10; K 0,07-0,09. С изключение на калия, останалите елементи-примеси са установени и в повечето от описаните в литературата находки на самороден алуминий. Съставът на елементите-примеси очевидно зависи от спецификата на минерализациите в които участва алуминият. В алуминий от габро-долерити от траповата формация в Сибир са установени примеси от Mg (до 2,5%), Cu (3,44%), Mn (0,40%), Cr, Si, както и вclusions от Mg_2Si и Al_2CuMg (Олейников и др., 1979; Ковальский, Олейников, 1983). В алуминия от скарнови находища в Таджикистан постоянно присъства Ca - до 1% (Новгородова и др., 1983; Олейников и др., 1984). Si (1-10%) е характерен примес в находките на алуминий от дълбоководните океански утайки (Штеренберг, Васильева, 1979; Арсамаков и др., 1988; Dekov et al., 1995 и др.), в които са установени също Fe 1-10%, Zn 1-10%, Ti 0,1-1%. Примеси от Hg, Fe, Cu и Zn има в природния алуминий от Никитовското живачно находище (Купенко, Осадчий, 1981). Възможно е съдържанието на калий в алуминия от Рила да се дължи на



Фиг. 1. а) Фотография на самороден алуминий (стрелка) обграден от бял халузит (H) сред тъмен флогопитов (Phl) шист; б) детайл от а), пластинка от самороден алуминий (Al) отчасти покрита от халузит и флогопит. Пунктирната линия очертава покритата част на пластинката

Fig. 1. a) Photograph of shining native aluminium (arrow) surrounded by white halloysite (H) within the dark phlogopite (Phl) schist; b) detail of a), lamella of native aluminium (Al) partially covered by halloysite and phlogopite. Dotted line outlines the covered part of the lamella

присъствието на микровключения, или налепи от К-съдържащи минерални фази, например от силвин, какъвто е открит в находки на алуминий от хидротермални и скарнови орудявания (Олейников и др., 1984), както и в алуминий от лунния реголит (Ашихмина и др., 1979).

Минерални асоциации и генезис на самородния алуминий

Минералните асоциации, в които е описан самородният алуминий са твърде различни. Те отразяват специфични черти на геоложката обстановка, при която са формирани различните минерализации, но рядко дават възможност за определяне на генезиса на алуминия. В базични скали от Сибирската платформа (анортозитови и пикритови габро-долерити) зърна от алуминий са установени в шлихови проби заедно с други самородни елементи (Fe, Cu, Zn, Pb, Sn, Cd), интерметалически съединения (CuZn, SnSb), графит и карбиди на Fe и Si. В тези ултрабазити присъстват магнезиални и калциеви силикати и алумосиликати (форстерит, Cr-диопсид, гранати, дистен, кордиерит) и кварц. Приема се, че еволюцията на базалтовата топилка става при налягане 15 kbar, температура 1440-1550°C и редукционна среда, която позволява образуването на самородно желязо (Олейников, 1979), а вероятно и на други самородни елементи, включително на алуминий. Подобни условия се предполагат за образуването на алуминия, асоцииращ със самородни фази и природни сплави на Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Sb, Sn, Mn, Au, Si, муасанит и графит в ултраосновните скали, изграждащи кимберлитови брекчи в Сибир (Ковальский и др., 1981; Олейников и др., 1981).

Osadchii & Alekhin (1984) дискутират възможността за кристализиране на самороден алуминий в базични и ултрабазични скали чрез диспропорциониране на алуминиевия монохлорид по реакцията:

$3\text{AlCl} \rightarrow \text{AlCl}_3 + 2\text{Al}$. Образуването на AlCl, устойчив при $T > 1000^\circ\text{C}$ е възможно при взаимодействието на ненаситена на SiO_2 магмена топилка, съдържаща нормативен Al_2O_3 , с вместиращи скали, или флуиди с NaCl и SiO_2 . Разлагането на AlCl става при спадане на температурата, по време на транспортирането му по дълбочинни разломи, в присъствието на “сухи” редукционни газове. Редица автори (Купенко, Осадчий, 1981; Блохина, 1982; Новгородова, 1983, и др.) се придържат към хипотезата за газокондензатен произход на самородния алуминий в хидротермални рудни находища, в среда доминирана от редукционни газове с водород-въглеродороден състав (H_2CO), които постъпват от мантията по дълбочинни разломи. Газово-транспортен механизъм се предполага и за установените в сублиматни минерални асоциации самородни елементи – Al, Au, Pt, Si, Ti, Mo, Cr, Sn, Cu, Ag и Se, чието образуване е свързано с въздействието на високотемпературни магматични флуиди във фумаролните полета на активния вулкан Кудрявый (Kudryavy Volcano) на един от Курилските острови (Korzhin et al., 1996; Yudovskaya et al., 2006). С подчертано редукционни условия се свързва произходът и на самородния алуминий установен в дълбоководни утайки на световния океан. Едни автори предполагат че алуминиевите частици се привнасят механично в утайките и Fe-Mn конкреции от мантийни флуиди (Штеренберг и др., 1986; Арсамаков и др., 1988), други, че алуминият постъпва в тях заедно с вулканокластичен материал, след дезинтеграция на ефузивни скали (Шнюков и др., 1987). Юшко-Захариева и др. (1984) смятат, че образуването на алуминия в Fe-Mn конкреции е свързано с локални центрове на редукция, предизвикани от дейността на природни бактерии.

Самородният алуминий в десилицирания пегматит от Рила се намира в силикатна

среда, сред флогопит, халуазит, плагиоклаз, берил, хризоберил - необичайна за повечето от находищата му, описани в литературата. В хидротермалната минерална асоциация на пегматита присъстват още сулфиди, сулфосоли и самороден бисмут. Известна аналогия може да се направи с минералните асоциации на някои хидротермални и скарнови рудни находища, в които заедно с алуминия са наблюдавани кварц, калиев фелдшпат, плагиоклази, мусковит, хлорит, хризотил, халуазит, дикит, хидрослюда, но в тях винаги, заедно със сулфидите на Fe, Zn, Cu и Mo, се срещат и различни метални фази, графит и муасанит (Олейников и др., 1984). Присъствието на слюди и глинести минерали е твърде често и в минерализации с алуминий в океанските пелагични седименти (Штеренберг и др., 1986; Шнюков и др., 1987; Арсамаков и др., 1988).

Като се има предвид мястото на алуминия в плагиоклаз-флогопитовата зона на десилицираната апофиза, пресичаща метаултрабазично тяло, може да се предположи, че е възможно алуминият да е образуван при разлагането на $AlCl$ по време на транспортирането на ултрабазичната магма от мантията в земната кора и механически да е включен впоследствие във флогопита, образуван при взаимодействието на пегматитовите флуиди с метаморфозирания ултрабазит. Не трябва да се изключва и друга възможност – кристализация на алуминия *in situ*, в самата апофиза. В процеса на реагиране на пегматитовите флуиди с ултрабазичната среда става относително обогатяване на алуминия за сметка на силиция. То се дължи на факта, че водоразтворимите халогенни съединения на алуминия се хидролизират лесно, алуминият не се изнася от процеса, и неговата концентрация нараства (Власов, Кутукова, 1960). Образуват се редица алумосъдържащи минерали: плагиоклаз (20,5-25,7% Al_2O_3), с основна роля в строежа на пегматита, флогопит (14,9-16,9%), клинохлор

(15,8-19,0%), берилийсъдържащ маргарит (45,7%), фуксит (31,6%), берил (15,9-16,7%), хризоберил (72,0%), гаанит, дистен и др. (Арнаулов, Петрусенко, 1971; Арнаулов, 1976; Арнаулов и др., 1982). Допуска се, че в много ограничени обеми на пегматитовото тяло е възможно възникването на редукционни условия, при които, в богатата на алуминий среда кристализира самороден алуминий. Може да се предположи проникването по дълбоко заложените тектонски зони на редукционни газове, които благоприятстват образуването на алуминия. Голяма част от редкометалните микроклин-албитови пегматити и техните производни, десилицираните пегматити, пресичащи метаултрабазити в района на Седемте езера и Урдините езера, се разкриват в близост до пластична зона на срязване, описана от Димов и Дамянова (1996). Те съдържат минерали на Be, Mo и Bi. В обсега на зоната са установени също, хидротермални и скарнови минерализации на Be, Mo, Bi и W (Арнаулов, 2001).

Литература

- Алехина Э.В., Ю.В. Михайлова, С.Т. Бадалов. 1983. Самородный алюминий из колчеданно-полиметаллических руд месторождения Хандиза (Узб. ССР). *Зап. Узбек. отделения Всесоюз. минерал. об-ва*, **36**, 79-80.
- Арнаулов, В. 1976. Десилицирани пегматити от Рила планина. *Год. Соф. унив., ГГФ*, 1 - геология, **68**, 129-147.
- Арнаулов, В. 2001. Берилият в берилоносни пегматити от Рила планина. *Геохим., минерал. и петрол.*, **38**, 89-100.
- Арнаулов, В., М. Павлова, Бл. Амов, Ц. Балджиева. 1974. Възраст и генезис на пегматити от Южна България по данни от изотопния състав на оловото във фелдшпатите. В: Ел. Алексиев, Й. Минчева-Стефанова, Т.Г. Радонова (ред). *Минерогенезис*. София, Изд. БАН, 315-332.
- Арнаулов, В., Св. Петрусенко. 1968. Розов поизит и розов клиноцоизит от Рила планина. *Сп. Бълг. геол. д-во*, **29**, 3, 317-321.

- Арнаутов, В., Св. Петрусенко. 1971. Хризоберил от два различни типа пегматити от Рило-Родопската област. *Изв. Геол. инст., сер. Геохим., минерал. и петрогр.*, **20**, 91-97.
- Арнаутов, В., Св. Петрусенко, М. Павлова. 1982. Бериллийсържащ маргарит и фуксит от десилицирани пегматити в Рила. *Геохим., минерал и петрол.*, **15**, 33-40.
- Арсмаков, Х.И., В.В. Кругляков, А.И. Марушкин. 1988. Самородные металлы и сплавы в пелагических осадках Тихого океана. *Литол. и полез. ископаемые*, **4**, 122-126.
- Ашихмина, Н.А., О.А. Богатиков, А.И. Горшков, А.В. Мохов, В.Г. Оборонов, Д.И. Фрих-Хар. 1979. Первая находка частиц металлического алюминия в лунном грунте. *Докл. АН СССР*, **246**, 4, 958-961.
- Батурин, Г.Н., В.Т. Дубинчук, А.Я. Шевченко. 1984. О самородных металлах в железомарганцевых конкрециях океана. *Океанология*, **5**, 777-781.
- Блохина, Н.А. 1982. О новой находке самородного алюминия в Таджикистане. *Докл. АН Тадж. ССР*, **25**, 5, 295-297.
- Бутузова, Г.Ю., Л.Е. Штеренберг, Б.И. Воронина, Е.А. Корина. 1987. Самородные металлы в рудоносных осадках Красного моря. *Литол. и полез. ископаемые*, **2**, 122-125.
- Власов, К.А., Е.И. Кутукова. 1960. *Изумрудные копи*. Москва, Изд. АН СССР, 250 с.
- Врожчек, А.Н. 1985. О находках самородного алюминия в пикритах Приморья. В: *Типоморфные ассоциации акцессорных минералов и микроэлементов*. Владивосток, Изд. Дальневосточ. науч. центра АН СССР, 87-95.
- Димов, Д., К. Дамянова. 1996. Синметаморфни тектонски единици в Северозападна Рила планина. *Сп. Бълг. геол. д-во*, **57**, 2, 25-30.
- Домбровская, Ж.В., М.И. Новгородова, С.Е. Борисовский. 1984. Самородный алюминий в гибсит-алунит-галлуазитовых породах Западного Прибайкалья. *Изв. АН СССР, сер. геол.*, **10**, 75-84.
- Карданова, О.Ф., Т.М. Философова. 1992. Самородный алюминий в осадках из вод Верхне-Гейзерного поля вулкана Кихпиньч. В: *Современное вулканогенно-гидротермальное минералообразование*. Владивосток, Изд. ДВГИ, 19-31.
- Ковальский, В.В., О.Б. Олейников. 1983. Минералы самородных элементов в ксенолитах глубинных пород из кимберлитовой трубки "Обнаженная". *Докл. АН СССР*, **273**, 5, 1214-1217.
- Ковальский, В.В., О.Б. Олейников. 1985. Самородные металлы и природные полиминеральные сплавы меди, цинка, олова и сурьмы в породах кимберлитовой трубки "Ленинград". *Докл. АН СССР*, **285**, 1, 203-208.
- Ковальский, В.В., О.Б. Олейников, В.Ф. Махотко. 1981. Самородные металлы и интерметаллические соединения в кимберлитовых породах Якутии. В: *Самородное минералообразование в магматическом процессе*. Якутск, 105-111.
- Купенко, В.И., Е.Г. Осадчий. 1981. Самородный алюминий в рудах Никитовского ртутного месторождения. В: *Самородное минералообразование в магматическом процессе*. Якутск, 87-90.
- Новгородова, М.И. 1979. Находка самородного алюминия в кварцевых жилах. *Докл. АН СССР*, **248**, 4, 965-968.
- Новгородова, М.И. 1983. *Самородные металлы в гидротермальных рудах*. Москва, Наука, 285 с.
- Олейников, Б.В. 1979. *Геохимия и рудогенез платформенных базитов*. Новосибирск, Наука, 264 с.
- Олейников, Б.В., А.В. Округин, Н.В. Лескова. 1978. Петрологическое значение находок самородного алюминия в базитах. *Докл. АН СССР*, **243**, 1, 191-194.
- Олейников, О.Б., Ю.Р. Васильев, В.Ф. Махотко. 1981. Самородные металлы и природные сплавы из пикритового порфирита севера Сибирской платформы. В: *Самородное минералообразование в магматическом процессе*. Якутск, 111-114.
- Олейников, Б.В., А.В. Округин, Н.И. Новгородова, Н.А. Ашихмина, О.Б. Олейников, Д.И. Фрих-Хар, О.А. Богатиков, Н.В. Лескова, А.И. Горшков. 1984. Алюминий – новый минерал класса самородных элементов. *Зап. Всесоюзн. минерал. об-ва*, **113**, 2, 210-215.
- Петрусенко, Св., В. Арнаутов, И. Костов. 1966. Смарагдов пегматит от Урдините езера, Рила планина. *Год. СУ, Геол.-геогр. фак.*, **60**, 1 - геология, 247-268.
- Середин, В.В., Л.О. Магазина. 1999. Минералогия и геохимия ископаемой древесины Павловского буроугольного месторождения

- (Приморье). *Литол. и полез. ископаемые*, **2**, 158-173.
- Столяров, И.С., Т.М. Силенко, Е.Г. Рябева, К.В. Юркина. 1988. Самородный алюминий на олово-рудном месторождении Укачилкан (Северо-Восточная Якутия). *Изв. высших учебных заведений. Геол. и разв.*, **12**, 28-33.
- Филимонова, Л.Г., Н.В. Трубкин. 1996. Самородный алюминий в калиевых липаритов Дукатского рудного поля. *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва*, **125**, 2, 68-71.
- Шнюков, Е.Ф., В.А. Кутний, Ю.В. Соболевский, С.А. Козак, С.К. Красовский. 1987. Самородные алюминий и железо в погребенных железомарганцевых конкрециях трансформного разлома Чейн (Атлантический океан). *Минерал. журнал*, **9**, 6, 48-56.
- Штеренберг, Л.Е. 1981. Самородные минералы в осадках и Fe-Mn конкрециях Тихого океана. В: *Самородное минералообразование в магматическом процессе*. Якутск, 58-61.
- Штеренберг, Л.Е., Г.Л. Васильева. 1979. Самородные металлы и интерметаллические соединения в осадках северо-восточной части Тихого океана. *Литол. и полез. ископаемые*, **2**, 133-139.
- Штеренберг, Л.Е., О.В. Кузьмина, И.П. Лапутина, А.И. Цепин. 1986. О находке самородного алюминия в ассоциации с ZnO и ZnCl₂ среди осадков ст. 647 (Северо-восток Тихого океана). *Литол. и полез. ископаемые*, **1**, 137-140.
- Юшко-Захарова, О.Е., В.Е. Захаров, М.С. Головина, Л.С. Дубакина, Д.К. Шчербачев. 1984. Самородные металлы в железомарганцевых конкрециях Мирового океана. *Докл. АН СССР*, **275**, 2, 465-467.
- Arnaudov, V. 1975. Pegmatite types of various ages from the northwestern part of the Rhodope Massif. *Geol. Balcanica*, **5**, 4, 59-72.
- Dekov, V.M., E.D. Mandova, K.N. Rekalov, K.B. Dimitrov. 1993. The occurrences of native aluminium in the metalliferous sediments (East Pacific Rise axial zone, 21°S). *C. R. Acad. bulg. Sci.*, **46**, 10, 69-72.
- Dekov, V.M., E.D. Mandova, K.B. Dimitrov, K.N. Rekalov. 1995. Native aluminium in metalliferous sediments from the East Pacific Rise axial zone (21°S). *Marine Geol.*, **123**, 87-103.
- Korzhinsky, M.A., S.I. Tkachenko, R.F. Bulgakov, K.L. Smulovich. 1996. Condensate compositions and native metals in sublimates of high-temperature gas streams of Kudryavy Volcano, Iturup Island, Kurile Islands. *Geochem. Int.*, **36**, 1175-1182.
- Osadchii, E.G., Yu.V. Alekhin. 1984. On the origin of native aluminium. *27th Int. Geol. Cong., Abstr.*, **5**, 131.
- Yudovskaya, M.A., V.V. Distler, I.V. Chaplgin, A.V. Mokhov, N.V. Trubkin, S.A. Gorbacheva. 2006. Gaseous transport and depositions of gold in magmatic fluid: Evidence from the active Kudryavy Volcano, Kurile Islands. *Mineral. Deposita*, **40**, 828-848.

Приета на 27. 03. 2006 г.

Accepted March 27, 2006