نشریهٔ دانشکده علوم ، جلدچهارم ، شمارهٔ دوم ، تیر ۱۳۵۱

مطالعه آپاتیتها در بازالتها ومشخصات پترولوژیکی آن*

دکتر علی درویش‌زاده

گروه زمین‌شناسی ـ دانشکدهٔ‌علوم دانشگاه تهران

خلاصه :

در سنگهای قلیائی خروجی ازنوع بازالت و بازانیت که درشرایط حرارت وفشار بخارآب زیاددر اعماق زمین متبلور میشوند بلورهای آسفی‌بول استثناءً تشکیل میگردند . درغالب موارد همراه با این بلورها نوعی آپاتیت (هیدروکسی آپاتیت) دیده میشود . آپاتیتهای مزبور برنگها و اندازه‌های مختلف میباشند، که در زیر ازشناسائی آپاتیت‌ها ومطالعه حفره‌هائی که درآن وجوددارد وپتروژنز این کانی‌ها بحث میشود .

***

در بازالتها وسنگهای اولترابازیک ماسیف سانترال فرانسه که مشخصات کانی‌شناسی وشرایط تشکیل آنها مورد بررسی قرارگرفته است به‌بلورهائی از آپاتیت برخورد کرده‌ایم که ازنظر پتروژنز دارای اهمیت خاصی است. این بلورها ازنظر اندازه ورنگ متفاوت بوده ودارای دوشکل‌ظاهری مشخص بطریق زیر میباشند .

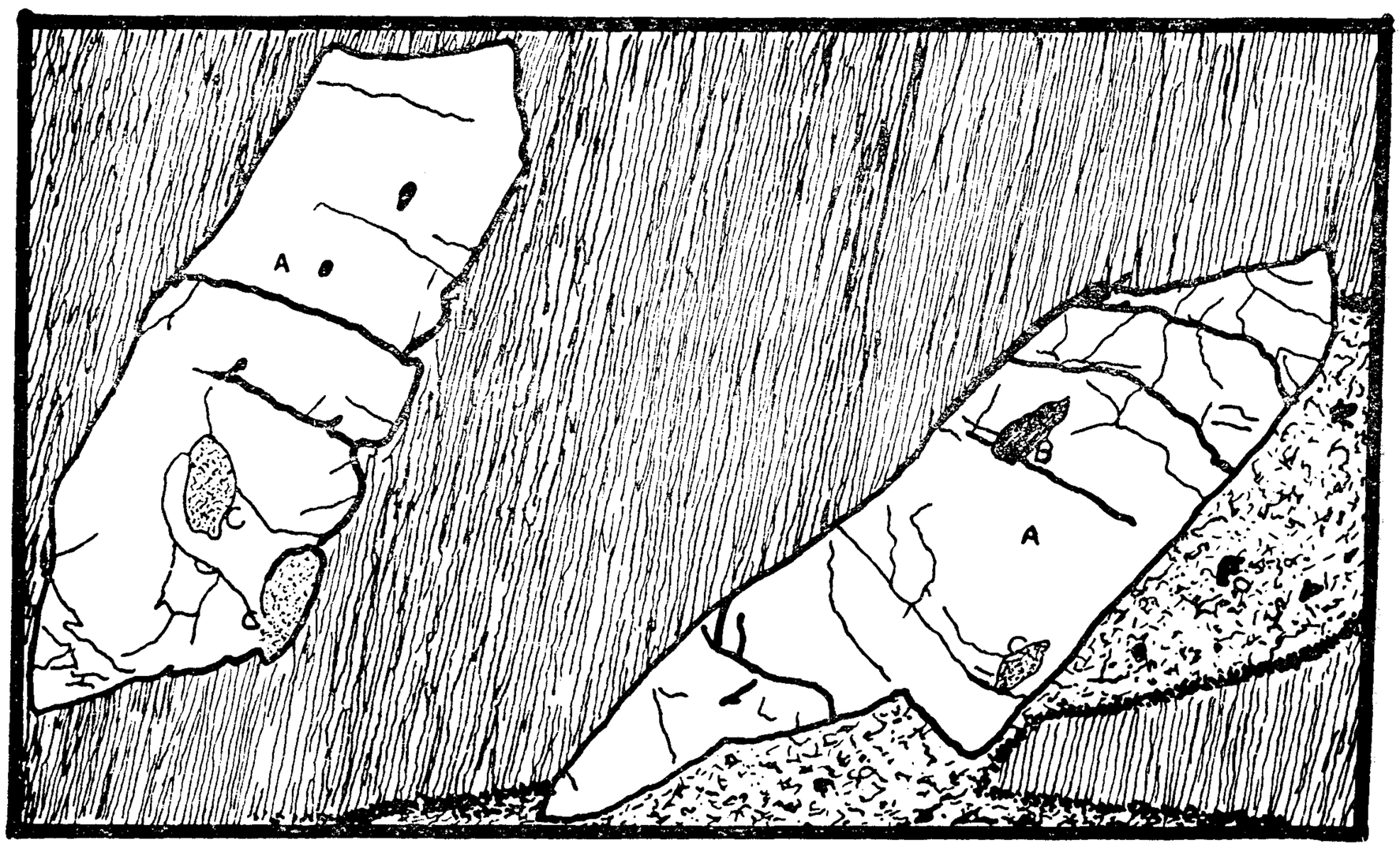
A- بعضی ازاین کانیها که در خمیر بازالتی قراردارد وبصورت منشورهای شش گوش که در امتداد محور C بلورشناسی‌خود طویل شده‌اند وسوزنی‌شکل میباشند. این بلورها رخ (0001)(Clivage) مشخصی را نشان میدهند.

B- نوع دیگر بصورت درشت بلور بوده ونسبت طول به عرض این بلورها ۲ تا ٤ به ۱ است و بصورت شش گوش که انتهای آن به‌هرمهائی ختم شده است (شکل ۱) دیده میشود . این‌نوع اشکال تقریباً همیشه باآسفی‌بولها همراه‌هستند. مطالعه‌ای که در زیر بنظرمیرسدروی دسته اخیرصورت گرفته‌است.

---

* این بررسی در آزمایشگاه مینرالوژی دانشگاه کلرمون‌فران Clermont-Ferrand درکشور فرانسه انجام شده وتاکنون درجای دیگری بچاپ نرسیده‌است.

این دسته‌از بلورها همانطورکه درشکل(۱) دیده‌میشود یا درداخل آمفی‌بول (نوع کرسوتیت* Kaersutite) قرار دارند و یا هنگامیکه بلورهای خیلی درشت پلاژیوکلاز (بقطر بیش‌از نیم سانتیمتر) وجودداشته باشد آپاتیتهای مذکور بفراوانی بصورت انکلوزیونهای اتومورف درآن نیز وجوددارد. مثلا" در بلوری از لابرادوریت* بقطر یک سانتیمتر) که از آن مقطع نازك تهیه نمودیم ۲۲ بلورآپاتیت در آن شمرده شد.



۴ × ۲/۵ mm

شکل(۱) بلورهای آپاتیت دریک درشت بلورکرسوتیت

A ـ آپاتیت　　C ـ انکلوزیون کربنات کلسیم

B ـ انکلوزیون بازالتی　　P ـ خمیر بازالتی

این شکل مستقیماً ازمقطع نازك در زیر میکروسکپ رسم شده است.

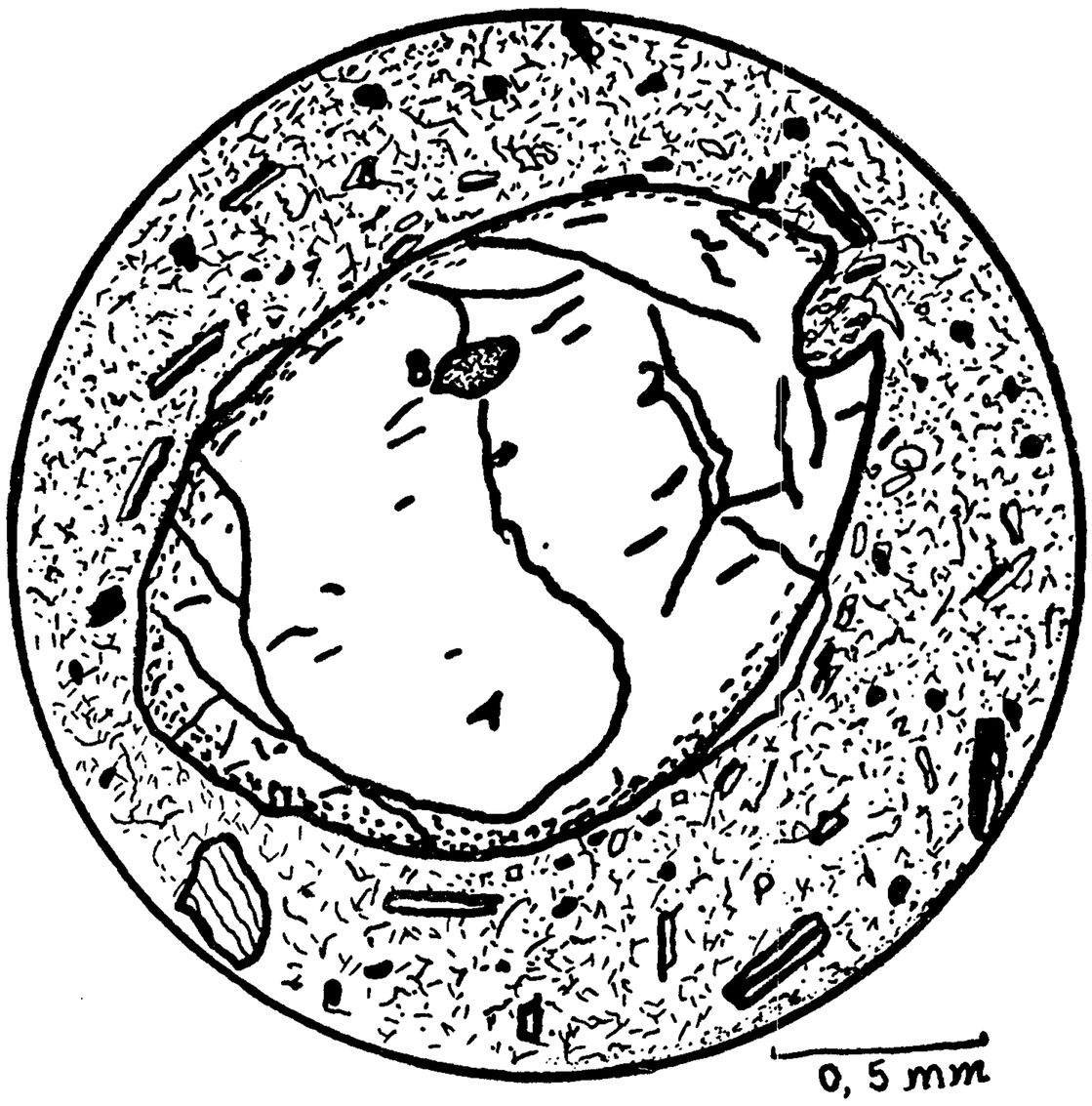
بین فرمهای (A) و (B) که دربالا ذکر شده‌است هیچگونه اشکال حد واسط مشاهده‌نمیشود: نکته جالب اینکه هنگامیکه این بلورها در داخل آمفی‌بول محاط شده‌اند شکل باورین خود را حفظ میکنند ولی در بازالتها دارای حدود گرد شده و مدور میباشند و باصطلاح خورده شده است (Corrodé) شکل(۲). بعلاوه درشکل(۱) دیده میشود قسمتی از یک بلورآپاتیت درداخل آمفی بول است وقسمت دیگر آن درخمیر بازالت قراردارد. فقطقسمتی از بلورکه درداخل مایع بازالتی بوده‌است خورده‌شده‌میباشد

---

* کرسوتیت نوعی هورنبلاندقهوه‌ای‌است که درترکیب شیمیائی دارای تیتان زیادی می‌باشد ($TiO_2 \geqslant 5\%$).

* Labradorite

واین موضوع نشان میدهد که ابتدا آپاتیت وسپس آمفی‌بول مزبور متبلور شده وبعد که شرایط حرارت و فشار مایع بازالتی نقصان یافته است نه تنها بلور آپاتیت تشکیل نشده بلکه درمایع مزبور تحلیل هم رفته است. باید اضافه کرد که بیشتر آپاتیت‌هائی که درداخل آمفی‌بولها قراردارند محور درجه ٦ (λ٦) آنهادر امتداد طول آمفی‌بولها میباشد ولی این امر کلی نیست وگاهی اوقات وضع قرارگرفتن آپاتیت‌ها بدون‌نظم وترتیب است.



شکل(۲) مقطع موازی بامحور طولی (C) آپاتیت باکناره‌های گردشده وخورده‌شده درخمیربازالتی.
این شکل ازمقطع نازك در زیر میکروسکپ رسم شده است. درباره حروف به‌زیرنویس شکل(۱) مراجعه شود

روش‌های مطالعه

الف: جداکردن نمونه - برای مطالعه آپاتیتها باید آنها را از داخل آمفی‌بولها جدانمود. این کار دربعضی موارد بادست بوسیله یك سوزن مخصوص و درمواردی که نمونه سخت بوده است از مته‌هائی نظیر آنچه که دردندان‌پزشکی برای‌سوراخ کردن دندان بکارمیرود استفاده شده است. درهرحال دانه‌های کوچك جداشده را در زیر میکروسکپ‌های دوچشمی بدقت موردبررسی قرارداده تا اطمینان پیدا کنیم که بلورهای مزبور آپاتیت است. برای‌اطمینان‌بیشتر بلورهای مزبوررا درحالی که درنیتروتولوئن-O (O-Nitrotoluène) (با n = ۱/٥٤٤) غوطه‌ور بود یکی‌یکی جدا کردیم.

وقتی‌باین‌فرمها بازره‌بین دقت کنیم‌اشکال منشوری نسبةً کوتاهی‌میبینیم که اندازه آنهامتفاوت

است رخ (0001) آن مانع از بدست‌آوردن بلورهای کامل‌است رنگ بلورهای مناطق مختلف‌موردمطالعه متفاوت بود مثلاً درنمونه‌های*:

شماره ۲۲ آپاتیت‌های قرمز قهوه‌ای
شماره ۲۳ « بیرنگ تا دودی
شماره ۲٤ « دودی
شماره ۳۱ « بنفش
هوبل Hubel « بیرنگ

ب : مطالعه میکروسکپی - درشت‌بلورهائی که در خمیر شیشه‌ای‌بازالتها قراردارند‌برنگ قهوه‌ای روشن‌بوده، ولی درحاشیه بارنگ‌قهوه‌ای مشخص‌میباشند حال‌آنکه‌بلورهای موجود در پلاژیوکلاز وآمفی‌بول بیرنگ و شفاف میباشند. بعضی از آپاتیتها (شماره ۲۳) کمی دارای خاصیت دومحوری است (غیرعادی) وهمچنین بعضی ازآن تشکیل ماکل‌داده‌اند. درغالب آپاتیتها دونوع حفره موجود است:

۱ـ حفره‌های طویل (کانال) که موازی محور درجه شش آپاتیت است . مقطع این حفره‌ها تقریباً شش گوش میباشد این حفره‌ها چنانکه خواهیم‌دید بوسیله خمیر بازالتی پرشده است.

۲ـ حفره‌های کروی شکل که ازکلسیت پر شده است (خصوصاً درنمونه‌های ۲۳ و ۲٤) درباره منشاء این کلسیت‌ها نمیتوان‌اظهارعقیده‌قاطع نمود زیرا ممکن‌است‌که منشاء تبلور اولی (تبلوردئوتریک deuteric) یا primary crystallization داشته باشد یا بطریق ثانوی براثر تجزیه ونفوذ آب کربنات‌دار در آپاتیت ایجاد شده باشد.

ج: تعیین ضرایب شکست Indices de réfraction – اندازه‌گیری ضرایب شکست‌آپاتیتها باروش‌لیکورکارژیل (Liqueur Cargille) وبکمک میکروسکپ پلاریزان لایتز (Leitz) و بانور تک‌رنگ (Monochromatique) سدیم ($\lambda Na = ۰/۵۸۹۰ A°$) صورت‌گرفته ونتایج زیر را داده است.

برای آپاتیتهای نمونه شماره ۲۲

$Ng = ۱/٦٤٥ \pm ۰/۰۰۱$
$Np = ۱/٦۳۹ \pm ۰/۰۰۱$
$Ng-Np = ۰/۰۰٦$ بی رفرنژانس

برای آپاتیتهای نمونه شماره ۲۳

$Ng = ۱/٦٤۹ \pm ۰/۰۰۱$
$Np = ۱/٦٤۲ \pm ۰/۰۰۱$
$Ng-Np = ۰/۰۰۷$ بی رفرنژانس

---

* هریک ازشماره‌ها متعلق به ناحیه خاصی از ژیزمانهای بازالتی در نقاط مختلف ماسیف سانترال‌فرانسه میباشد.

برای آپاتیتهای نمونه شماره ۲٤

Ng = ۱/٦٤۸ ± ۰/۰۰۱

Np = ۱/٦٤۱ ± ۰/۰۰۱

Ng–Np = ۰/۰۰٦ بی رفرنژانس

برای آپاتیتهای نمونه شماره ۳۱

Ng = ۱/٦٤٥ + ۰/۰۰۱

Np = ۱/٦٤۰ + ۰/۰۰۱

Ng–Np = ۰/۰۰٥

با پیداکردن این اعداد و تعیین محل آن دردیاگرام مثلثی‌شکل فلوئور آپاتیت - کلرآپاتیت- هیدروکسی‌آپاتیت (جلد ٥-۱۹٦۳ Deer et al. صفحه ۳۳۱) نمونه‌های شماره ۲۲ و۲۳ و۲٤ درقطب **هیدروکسی آپاتیت** متمرکز میشوند و آپاتیت شماره۳۱ درقلمرو **هیدروکسی آپاتیت** قرارمیگیرد واندکی بطرف فلوئور و کلر آپاتیت تمایل دارد.

باید اضافه کرد که مطالعه بامیکروسوند الکترونیک وجود کلررا درنمونه اخیر تائیدنموده‌است.

د - مطالعه با اشعه X - نتایجی که با اشعه X با (Raie) مس Kα1 برای ۳ نمونه بدست آمده بصورت زیر میباشد.

c/a	c به‌آنگستروم	a به‌آنگستروم	رفرانس	
			شماره‌نمونه	شماره دیاگرام اشعهX
۰/۷۳۰٥	٦/۸۷٦	۹/٤۱۳	نمونه ۲۲	۲٤٦۱
۰/۷۳۰٥	٦/۸۷۱	۹/٤۰٦	نمونه ۲٤	۲٤٦۲
۰/۷۳۰	٦/۸۷٤	۹/٤۰٥	نمونه ۲۳	۱۷۷٥-۱۷۷۸
۰/۷۳۰	٦/۸۷٥	۹/٤۱۳	۱-	هیدروکسی آپاتیت
۰/۷۳۱	٦/۸۷	۹/٤۱	۲-	هیدروکسی آپاتیت

شماره (۱) اندازه‌های a و c و نسبت c/a مربوط به **هیدروکسی آپاتیت‌های** منطقه Holly Springs Georgia U.S.A. که در صفحه ۳۲۷ کتاب Deer et al. ۱۹٦۳ جلدپنجم وشماره(۲) درصفحه ۳۲٤ همین کتاب وجوددارد.

اگر اعدادی که با اشعه X بدست‌آمده است با اعدادی که بوسیله محققین برروی آپاتیتهای‌دنیا

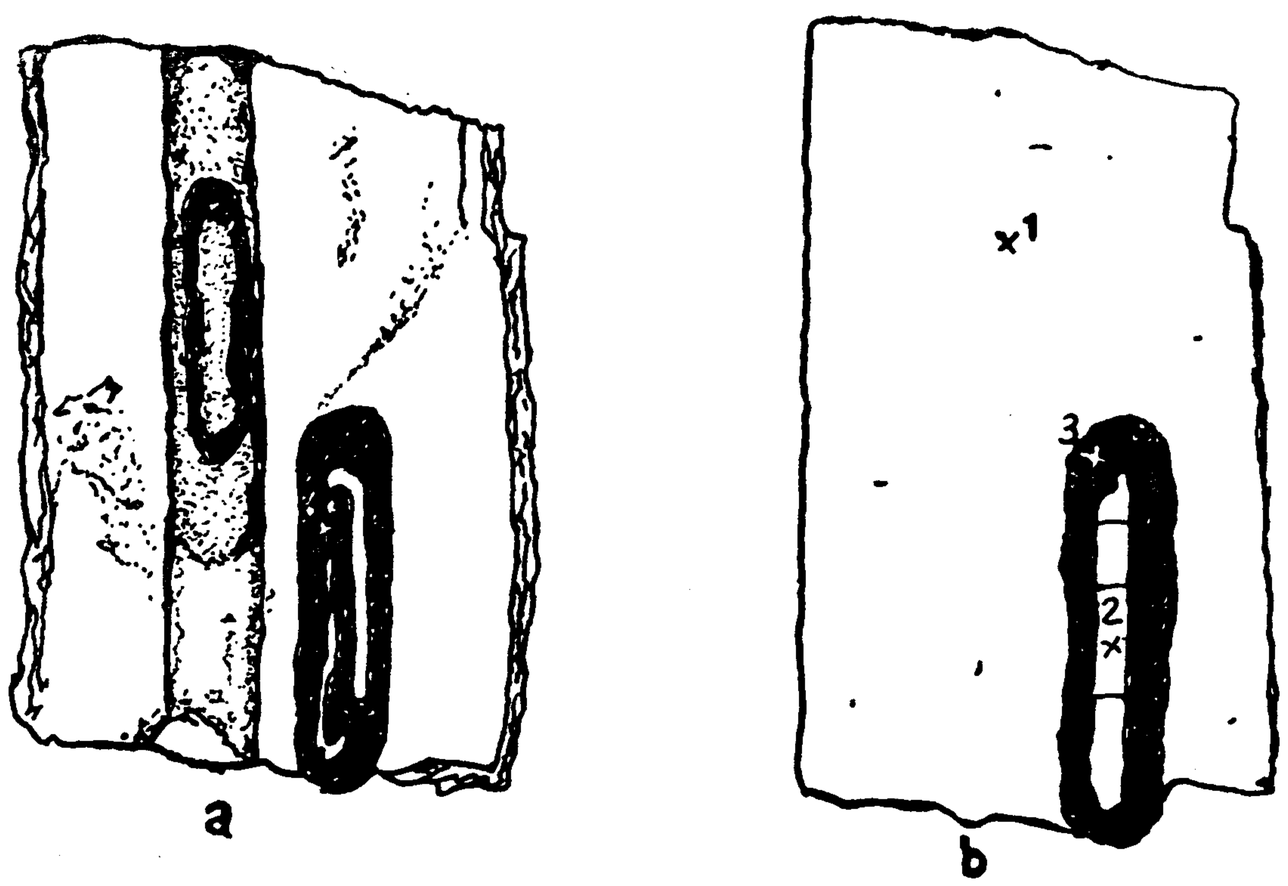
استاندارد شده است مقایسه شود (۲ تای آن بعنوان مقایسه زیر جدول نوشته شده است ملاحظه میشود که آپاتیتهای موردمطالعه هیدروکسی آپاتیت میباشند. لازمست اضافه شود که ژی ـ کلرکس (J. Klerkx ۱۹۶۶) ۳ نمونه از آپاتیتهائی که درگدازه‌های اتنا (Etna) بوسیله اشعه X مورد مطالعه قرارداد برای نسبت c/a اعداد زیر را بدست‌آورد:

۰/۷۲۹۹-۰/۷۲۹۳-۰/۷۲۹۶ - بنظر وی «آپاتیتهای گدازه‌های اتنا فلوئور آپاتیت میباشند که از هیدروکسی آپاتیت چندان دور نیست.»

هـ - بررسی بامیکروسوند الکترونیك Analyse à la Microsonde

برای اینکه ماهیت ماده‌ای که درداخل آپاتیت بصورت حفره‌های طویل (شکل۳) وجود دارد تعیین شود از میکروسوند الکترونیک استفاده‌شد. برای اینکار از بلورهای جداشده آپاتیت نمونه ۳۱ مقطع صاف وصیقلی در قالبی پلاستیکی تهیه‌شد*.

مشخصات حفره‌های مزبور (کانال) ازنظر شکل خارجی بقرار زیر است: (باتوجه به ۳۵ عکس گرفته شده).



شکل (۳)- نمایش حفره‌های طولی در آپاتیت

a- درنور Transmise : دراین نور تمام آنچه که در بلور وجوددارد قابل مشاهده است.

b- درنورمنعکس (Réfléchie): که‌فقط‌آنچه درسطح صیقلی‌شده بلورقراردارد نشان‌داده‌میشود.

شکل‌ها ازعکسهای میکروسکپی ترسیم گردیده است. (X۳۵)

---

* این کارها درآزمایشگاه B.R.G.M اورلئان - (سورس Sources) درفوریه ۱۹۷۱ انجام شده است.

ـ حدوداین کانالها همانطورکه‌در شکل(۳) دیده میشود درداخل آپاتیت کاملاً مشخص است.
ـ دوانتهای این کانالها همیشه گرداست (مطابق شکل ۳).
ـ مقاطعی که‌عمود برطول‌این کانالها تهیه‌شد همه‌آنها نشان داد که مقطع‌آنها شش گوش است.
ـ منطقه داخلی (مغز) این کانالها ازجنس آپاتیت است.

تجزیه شیمیائی کیفی که با دستگاه میکروسوند د رنقاط ۱ و ۲ و ۳ درشکل (۳) بعمل آمد نتایج زیر را داده است.

۱- دربلورآپاتیت	۲- درپخش میانی کانالها	۳- درحاشیه کانالها
Fe کم	Fe کم	Fe زیاد
Mn عادی	Mn عادی	Mn عادی
Ca خیلی زیاد	Ca خیلی زیاد	Ca
P خیلی زیاد	P خیلی زیاد	P کم
Cl کم	Cl کم	K
F بمقدار ناچیز	F بمقدار ناچیز	Si
—	—	Al
—	—	Mg
—	—	Ti

باتوجه به‌تجزیه کیفی که در بالا ذکر شد مناطق ۱ و ۲ آپاتیت است.

منطقه (۳) درعکس الکترونیک که ۱۵۰ برابر شده بود دارای ساختمان بسیار دانه‌ریز که منظره کریستالیت‌ها را دارد درهمین منطقه مقدار درصد ۲عنصر یکی Al که۱۰ درصد بود ودیگری Si که‌کمی بیش از ۳۰ درصد بود. بنابراین بنظر میرسد که منطقه (۳) ترکیب بازالتی دارد.

پتروژنز Pétrogenèse

ـ (Wallaeys) و دیگران نشان داده‌اند که کلر آپاتیت باحضور بخار آب در ۸۰۰ درجه حرارت ابتدا به‌کلر- هیدروکسی‌آپاتیت و سپس درمرحله نهائی به‌هیدروکسی آپاتیت تبدیل میشود.

ـ ویلی (Wyllie) و دیگران درسال ۱۹۶۲ ضمن کارهای تجربی خودروی سیستم :

$$CaO\text{-}CaF_2\text{-}P_2O_5\text{-}H_2O\text{-}CO_2$$

و در شرایط ۶۰۰ تا ۹۵۰ درجه حرارت و ۱۰۰۰ بار فشار آپاتیت را بدست آورده‌اند. آنها خاطرنشان کرده‌اند که :

اولاً بلورهای آپاتیت درمحیط متعادل ، درمجاور یک فاز مایع اصولاً کوتاه بوده (نسبت طول به‌عرض $=\frac{۳}{۱}$) و از دوانتها به‌هرمهائی ختم میشود که یالهای گردشده وسطوح شکسته دارد.

ثانیاً، بلورهای آپاتیت درمحیطی که‌بسرعت سردشودبسیار طویل بوده (نسبت طول به‌عرض $=\frac{۱}{۲۰}$) (شکل سوزنی) وسطوح کاملاً مشخص وحفره مرکزی درازی درامتداد طول بلور دارد. حفره‌مزبور

از مواد محیط تشکیل خود پر میباشد .

ثالثاً تشکیل آپاتیت سوزنی بیشتر به‌شرایط فیزیکی محیط (مثلاً سردشدن سریع) بستگی دارد و عوامل شیمیائی محیط در تشکیل آن نقشی ندارد .

Girault در سال ۱۹٦٦ وجود هردونوع آپاتیت‌رادرکربوناتیتهای اُکا (Oka) کانادانشان داده‌است . هردونوع دارای تک بلورهای اسفروئیدال (Spheroïdal) کلسیت(ترکیب‌محیط) در داخل آپاتیت میباشند .

نتیجه :

بامقدمه‌ای که در بالا گفته شد شرایط تشکیل آپاتیتهائی که با آمفی‌بولها درسنگهای بازالتی وجوددارند بطریق زیر خلاصه میکنیم .

۱- آپاتیت‌های موردمطالعه‌به گروه **هیدروکسی آپاتیت** متعلق است که در **شرایط فشار بخارآب وحرارت بالاتری نسبت به‌سایرآپاتیتها تشکیل میشود.**

۲- آپاتیت‌های موردنظر دربلورهای آمفی‌بول وپلاژیوکلاز وگاهی پیروکسن محاط شده است واین موضوع تقدم تبلور را برای آپاتیتها نسبت به‌کانیهائی که آن را دربرگرفته‌اند ثابت میکند وچون در بازالتها و بازانیتهای مورد مطالعه اولیوین هرگز واجد آپاتیت نبوده است **بنابراین فاز تبلور آپاتیتها بعد ازاولیوین دربازالت‌ها میباشد.**

۳- شکل غالباً کوتاه‌بلورها باتوجه به‌کارهای تجربی Wyllie و دیگران (۱۹٦۲) نشان‌میدهد که‌کانیهای موردنظر باحضورفازمایع متبلورشده‌اند ومحیط مزبور بآرامی سردشده‌است .

٤- وجود حفره‌های طویل در بلورهای کوتاه که بوسیله خمیر بازالتی پرشده است نشان میدهد که این‌نوع **بلورها میتوانند حاوی مایعاتی‌که باآن درتعادلندبشوند** ، هرچندکه Wyllie و دیگران در تجارب خود فقط این‌قبیل حفره‌های طویل را در بلورهای نوع سوزنی دیده‌اند و آنرا نتیجه سردشدن سریع محیط میدانند .

٥- وجود آپاتیتهای مشابه بالا در نودولهای آمفی‌بولیت (Amphibololite) و عدم وجود این کانی‌ها درسایر نودولها مانندونیت (Dunite) وپیروکسنولیت(Pyroxènolite) نشان‌میدهدماگمائی که آمفی‌بولولیتها (آمفی‌بول وآپاتیت هردو عامل اکسید ریل دارند) ازآن تشکیل میشود سرشار ازموادفرار مخصوصاً آب و P_2O_5 بوده است . این عمل درقسمت‌فوقانی ماگما که ازمواد فرار فوق غنی است تحقق مییابد . دونیتها و پیروکسنولیتها درقسمتهای زیرین ماگما که حرارت بیشتری دارد تشکیل‌میشود .

٦- باتوجه‌به‌تجارب ذکرشده ، ماگمائی که این کانیها ازآن تشکیل شده باشد باید ازگازهای P_2O_5 و بخارآب و CO_2 غنی‌باشد . بلورهای‌خورده‌شده (Corrodé) آپاتیت درخمیر بازالتی نشان‌میدهد که هنگامیکه ماگمای تشکیل‌دهنده‌بازالتها، گازهای مزبور را ازدست‌میدهد سبب‌تحلیل(Résorption) تدریجی‌آن نیز میگردد .

References

DARVICH-ZAD, A., (1971). – Les amphiboles et les minéraux associés dans les laves basaltiques du Massif Central français. Thèse 3ème cycle Clermont-Fd. France. 160 pp. 63 Fig. III Planches.

DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J.,– Rock Forming Minerals. Vol. 5(1963) New-York, John Wiley and Sons Inc.

GIRAULT, J., (1966) – Sur la genèse des cristaux d'apatites des carbonatites d'Oka (CANADA) et Sur de leurs inclusions de calcite. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 263, pp. 97–100.

KLERKX, J., (1966). – La cristallisation de l'apatite dans les laves de l'Etna. Ann. soc. Géol. de Belgique, t. 89, 1965-1966, Bull. 10.

WALLAEYS, R. et CHANDRON, G., (1950). – Sur la Préparation de certaines apatites mixtes. Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. Vol. 231, pp. 355.

WYLLIE, P.J., COX, K.G., BIGGAR, G.M., (1962). – The Habit of Apatite in Synthetic Systems and Igneous Rocks. Journal of Petrology Vol. 3, Part 2, pp. 238–243.