



معرفی و نحوه تشکیل کوارتز بافت تک جهته (UST) برای اولین بار در سطح جهانی براساس مطالعات میکروترمومتری و ایزوتوپ پایدار اکسیژن در کانسار مس - طلا پورفیری خوپیک، خراسان جنوبی

ملک‌زاده شفارودی، آزاده*، کریم‌پور، محمد حسن، مظاهری، سید احمد و حیدریان شهری، محمدرضا
گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

کوارتز بافت تک جهته (UST) برای اولین بار در ایران از کانسار مس - طلا پورفیری خوپیک در جنوب غربی بیرجند گزارش می‌شود. لایه‌های UST قبل از تشکیل مرحله اصلی کانی‌سازی در سقف توده نفوذی تشکیل شده‌اند. آنها همزمان با آلتراسیون پتاسیک تشکیل و توسط رگچه‌های بعدی قطع شده‌اند. حضور این بافت در سطح زمین نشاندهنده فرسایش بخش مهم فوقانی سیستم مس پورفیری است. این بافت نشانگر جدایش مستقیم فاز بخار از ماگمای گرانیتوئیدی است. شوری بالا (میانگین ۶۲/۳۰ درصد وزنی هالیت)، دمای بالا (بش از ۴۰۰ درجه سانتیگراد) و مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بین +۵/۷۵ تا +۷/۴۴ (در هزار) کوارتزهای بافت UST، ارتباط مستقیم آنها را با توده نفوذی و منشاء ماگمایی تایید می‌کند. دما و شوری سیالات درگیر از مرکز کوارتز مثلی به سمت حاشیه کاهش می‌یابد که متناسب با کاهش فشار بخار آب است. تغییرات فشار بخار آب بطور منظم باعث تشکیل لایه‌های UST می‌شود، بطوریکه با افزایش فشار بخار در بخش فوقانی توده‌های نفوذی کوارتزهای مثلی شکل تشکیل شده و سپس با کاهش آن تبلور سیستم در محدوده تشکیل سنگ قرار می‌گیرد. با افزایش دوباره فشار بخار آب لایه بعدی UST شکل می‌گیرد.

Introducing and formation of unidirectional solidification texture quartz (UST), first time in the world, based on microthermometry and O isotope in Khopik porphyry Cu-Au deposit, South Khorasan

Malekzadeh Shafaroudi, A.*, Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A. and Hidarian Shahri, M.R
Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract

Unidirectional solidification texture quartz (UST) is reported in Iran for the first time at Khopik porphyry Cu-Au deposit, southwest of Birjand. The UST veins formed within the top of stock before the main stage of mineralization. They formed the same time as potassic alteration and show cross cutting by latter veinlets. Appearance of UST vein in the surface indicates that most of the upper part of the porphyry system is eroded. The UST veins are an indication of separation of fluid from the granitoid magma. Based on range of +5.75 to +7.44‰ $\delta^{18}\text{O}$ VSMOW, high temperatures ($T_h > 450^\circ\text{C}$), and high salinity 30 equivalent wt-percent NaCl) indicating that the fluid had primarily magmatic origin. Both salinity and T_h of the fluid inclusion decrease from the center of quartz crystals toward the rim this is contemporaneous with lowering pressure within the magma chamber. At higher vapor pressure, UST quartz forms and as the vapor pressure decreases the granitoid rock start to crystalize. With increasing the vapor pressure UST begin to form.

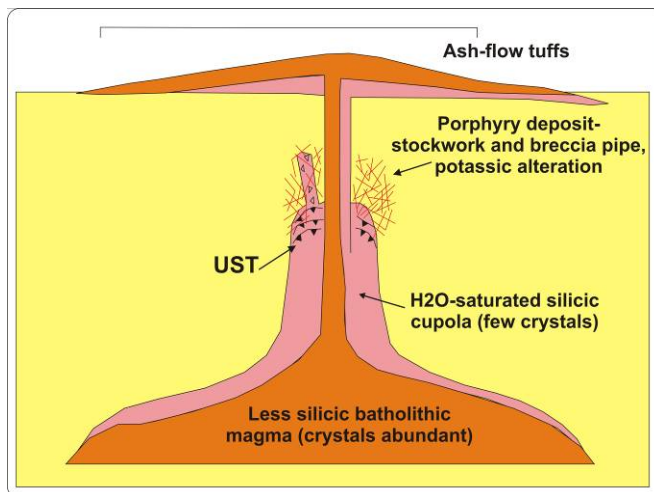
مقدمه

بافت UST از جمله بافتهای پتروگرافیکی است که نشانگر جدایش فاز بخار از ماگمای سیلیسی منشاء می‌باشد و در ذخایر پورفیری و از جمله کنسارهای مس پورفیری مشاهده می‌شود. شانون و همکاران (۱۹۸۲) در جامعه زمین-شناسان انگلیس آن را با اصطلاح UST معرفی کردند. کیرخام و سینکلیر (۱۹۸۸) نیز واژه کوارتز لایه‌ای شانه‌ای را برای آن مطرح کردند.

رگچه‌های کوارتز لایه‌ای شانه‌ای یا UST در مرز و یا قسمتهای فوقانی توده‌های پورفیری مشاهده می‌شوند. این بافتهای باندهای متناوبی از کوارتز هرمی ریز تا درشت دانه (۵-۲۰ میلیمتر) و به ندرت فلدسپات شکری و بیوتیت شعاعی (هریس و همکاران، ۲۰۰۴ a, b) یا لایه‌های غنی از کوارتز متناوب با لایه‌های غنی در آلپیت، فلدسپات پتاسیم، گارنت یا تورمالین است (بریکس و مور، ۱۹۹۲؛ مورگان و لندن، ۱۹۹۹) (شکل ۱).

بزرگترین مثالهای این بافت در کمپلکس گرانیت-پگماتیت Calamity Peak در جنوب Dakota آمریکا مشاهده شده است (دوک و همکاران، ۱۹۹۲). لایه‌های UST در همه گرانیتوئیدها وجود ندارند و معمولاً در نزدیکی سقف توده نفوذی و به طرف پایین متبلور می‌شوند (بالوج، ۱۹۹۵؛ زاریسکی و همکاران، ۱۹۹۷). نوک مثلث شکل آنها به طرف توده است (شکل ۲).

این لایه‌ها در استوک‌های گرانیتی نیمه عمیق همراه با کانی‌سازی مولیبدن، قلع و تنگستن پورفیری (کیرخام و سینکلیر، ۱۹۸۸؛ لون استرن و سینکلیر، ۱۹۹۶؛ کنتاک، ۲۰۰۲) و سیستم‌های طلای مرتبط با نفوذیها (کیروین و سلتمن، ۲۰۰۲) دیده شده‌اند. این بافت همچنین در کنسارهای مس پورفیری اخیراً گزارش شده است. از جمله می‌توان به کنسارهای مس - طلا پورفیری Baja de la Alumbra (هریس و همکاران، ۲۰۰۴ a و b)، مس - طلا پورفیری Endeavour استرالیا (لیکفولد و همکاران، ۲۰۰۳)، طلا - مس پورفیری Ridgeway استرالیا (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳) و کمر بند پورفیری Andahuaylas-Yauri پرو (پرلو و همکاران، ۲۰۰۳) اشاره نمود.



شکل ۱- نمایی از بافت UST

شکل ۲- موقعیت تشکیل بافت UST نسبت به کانی‌سازی استوک‌ورک و برش و آلتراسیون پتاسیک در کنسارهای مس پورفیری (کیرخام و سینکلیر، ۱۹۸۸)

بریتزر (۲۰۰۲) نحوه تشکیل بافت UST را سرد شدن سریع سیستم بعد از برشی شدن در گرانیتهای غنی از فلور و فسفر چکسلاواکی اعلام می‌کند. وی عقیده دارد جایگزینی سریع توده باعث برشی شدن می‌شود. حبابها و بخاراتی از ماگما جدا شده و به قسمت فوقانی می‌روند و وقتی فشار آنها از فشار لیتواستاتیک بیشتر شد، سیستم باز شده و بخارات به داخل شکافها راه پیدا می‌کنند. حرارت سیستم ناگهان کاهش می‌یابد و UST در نتیجه مذاب تحت سرد شدن تشکیل می‌شود. کیرخام و سینکلیر (۱۹۸۸) محل تشکیل کوارتز لایه‌ای شانه‌ای را نسبت به کانی‌سازی استوک-ورک و برشها در کانسارهای مس پورفیری پایین‌تر از آنها و قدیمتر دانسته‌اند (شکل ۲). کیروین (۲۰۰۷) رابطه نزدیکی بین UST و رگچه‌های اولیه زون پتاسیک در کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری ذکر می‌کند، به طوریکه گاهی ممکن است این دو به هم پیوندند.

کانسار مس- طلا پورفیری خوپیگ در ۸۰ کیلومتری جنوب غربی بیرجند در محدوده بین طولهای جغرافیایی ۱۷° ۵۴' تا ۵۸° ۵۷' و عرضهای جغرافیایی ۵۰° ۲۰' تا ۳۲° ۲۲' قرار گرفته است. بافت UST در بخشی از این کانسار در سطح زمین قابل مشاهده است. هدف از این مقاله معرفی ویژگیهای بافت UST در کانسار خوپیگ، مطالعه میکروترمومتری در نقاط مختلف کوارتزهای هرمی و همچنین بررسی ایزوتوپ اکسیژن به منظور تعیین منشاء محلول سازنده برای اولین بار در سطح جهانی است که منجر به تفسیر نحوه تشکیل این بافت شده است.

زمین‌شناسی

کانسار مس- طلا پورفیری خوپیگ از لحاظ تقسیمات ساختاری در حاشیه شرقی بلوک لوت قرار گرفته است. زمین‌شناسی منطقه شامل یکسری سنگهای رسوبی و آتشفشانی می‌باشد که مورد نفوذ توده‌های نیمه عمیق حدواسط با بافت پورفیری قرار گرفته‌اند. قدیمیترین واحد سنگی، ماسه سنگ سیلیسی شده در حد کوارتز آنرایت تقریباً در غرب خوپیگ است. سنگهای آتشفشانی بخش اعظم منطقه را در شرق، مرکز و شمال تحت پوشش قرار داده‌اند. ترکیب این واحدها در حد توف داسیتی تا ریوداسیتی و آندزیت است. توده‌های نفوذی نیمه عمیق کالک آلکالن پورفیری که منشاء اصلی کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه هستند، به صورت استوک و دایک در سنگهای آتشفشانی و رسوبی نفوذ نموده و باعث یک آلتراسیون وسیع شده‌اند. توده‌های نفوذی نیمه عمیق را براساس مطالعات آزمایشگاهی می‌توان به پنج واحد هورنبلند کوارتز مونزونیت، بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری، مونزونیت پورفیری و هورنبلند دیوریت پورفیری تقسیم نمود. نیمه شرقی منطقه از لحاظ کانی‌سازی و آنومالیهای ژئوشیمیایی مس و طلا از اهمیت خاصی برخوردار است (ملک‌زاده، ۱۳۸۸).

آلتراسیون

آلتراسیونهای موجود در محدوده را می‌توان به ۷ دسته تقسیم نمود: ۱- پتاسیک، ۲- سرسیتیک- پتاسیک، ۳- کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت تا کوارتز- کربنات- پیریت، ۴- سیلیسی- پروپلیتیک، ۵- پروپلیتیک، ۶- سیلیسی، و ۷- سیلیسی- کربنات (ملک‌زاده، ۱۳۸۸). آلتراسیون پتاسیک با کانیهای بیوتیت ثانویه، فلدسپات پتاسیم ثانویه، کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود. این زون تنها در توده‌های هورنبلند کوارتز مونزونیت و بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری با رخنمون تا حداکثر ۱ کیلومترمربع در سطح زمین و نیز در گمانه‌ها (بخش شرقی منطقه) دیده می‌شود. مشاهده این زون در سطح زمین نشان می‌دهد که منطقه شدیداً تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته و بخشی از رگچه‌ها از بین رفته‌اند. زون سرسیتیک- پتاسیک با کانیهای شاخص سرسیت و بیوتیت ثانویه دیده می‌شود. زون کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت با ۳۵ تا ۴۰ درصد کوارتز هم در متن و هم در قالب رگچه‌های کوارتز- سولفیدی- سرسیتی، تا ۲۵ درصد سرسیت حاصل آلتره شدن فلدسپاتها در متن سنگ و در رگچه‌ها، تا ۲۰ درصد پیریت و تا ۱۰ درصد کلسیت مشخص می‌شود. کانیهای زون سیلیسی- پروپلیتیک شامل کوارتز (گاه تا ۳۰ درصد)، کلریت حاصل آلتراسیون هورنبلند و بیوتیت (گاه تا ۲۰ درصد)، اپیدوت حاصل آلتراسیون هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز (گاه تا ۱۵ درصد) و کلسیت (گاه تا ۱۵ درصد) و کانیهای فرعی سرسیت و مگنتیت می‌باشد. رگچه‌های

کوارتز- سولفیدی \pm مگنتیت و کوارتز- کلریت در این زون دیده می‌شود. این آلتراسیون علاوه بر توده‌های نفوذی در سنگهای آتشفشانی نیز دیده می‌شود. آلتراسیون پروپلیتیک عمدتاً در توده‌های نفوذی نیمه غربی خویپک دیده می‌شود. این زون با کلریت، اپیدوت، مگنتیت، کلسیت و کمی کوارتز، سرسیت و تورمالین به همراه مقادیر ناچیزی پیریت (کمتر از ۱ درصد) مشخص می‌شود. کلریت، اپیدوت و مگنتیت عمدتاً حاصل آلتره شدن کانیهای آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازها هستند. گاهی رگچه‌های باریکی از مگنتیت، کوارتز- پیریت و یا کلسیت- اپیدوت- کلریت مشاهده می‌گردد. زون سیلیسی عمدتاً در واحدهای آتشفشانی و ماسه سنگی در غرب خویپک حضور دارد. کوارتز تا بیش از ۷۰ درصد سنگ کانی اصلی است. کلسیت، سرسیت و تورمالین دیگر کانیهای این زون هستند. زون سیلیسی- کربناته رخنمون کمی در غرب خویپک دارد. کلسیت گاه تا بیش از ۶۰ درصد کانی اصلی این زون است. کوارتز، و کمی سرسیت از دیگر کانیهای این آلتراسیون می‌باشد (ملکزاده، ۱۳۸۸).

کانی‌سازی

کانی‌سازی مس- طلا پورفیری خویپک به سه صورت پراکنده، استوک‌ورک و کمتر برش هیدروترمالی دیده می‌شود. فراوانترین کانی فلزی موجود در ناحیه پیریت است که از کمتر از ۰/۵ درصد تا حدود ۲۵ درصد در گمانه‌ها مشاهده می‌گردد. کالکوپیریت دومین کانی سولفیدی مهم چه به صورت پراکنده و چه در قالب رگچه‌های کوارتز- سولفیدی از کمتر از ۰/۱ درصد تا بیش از ۱۵ درصد حضور دارد. بورنیت و گاه اسفالریت دیگر کانیهای فلزی هستند. بخش بزرگی از کانیهای سولفیدی در سطح اکسیده شده‌اند. هماتیت، گوتیت و مالاکیت مهمترین کانیهای زون اکسیدان در منطقه هستند. مگنتیت مهمترین کانی فلزی اکسیدی منطقه است که در اغلب آلتراسیونها بویژه زون پتاسیک تا حداکثر ۵ درصد به صورت پراکنده و در قالب رگچه‌ها دیده می‌شود. شدت کانی‌سازی از شرق به طرف غرب کاسته شده است، بطوریکه در نیمه غربی خویپک به طور محدود پیریت پراکنده دیده می‌شود. استوک‌ورکها عمدتاً در واحدهای نیمه عمیق نیمه شرقی منطقه و با تراکم حداکثر ۲۰ عدد در مترمربع در آلتراسیون‌های پتاسیک و کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت حضور دارند. تنوع رگچه‌ها نیز براساس ترکیب کانی‌شناسی در زونهای مختلف زیاد است. دیده شدن تراکم بالای رگچه‌ها در سطح زمین و یا عمق کم در گمانه‌ها نشان‌دهنده فرسایش شدید منطقه است. بررسیهای ژئوشیمیایی منطقه نیز نشان می‌دهد بالاترین آنومالیهای مس و طلا در نیمه شرقی خویپک مشاهده می‌شود. مقدار مس حداکثر به بیش از ۰/۸ درصد و میزان طلا حداکثر به بیش از ۲ گرم در تن می‌رسد. ناهنجاری مس و طلا منطبق برهم و بیشترین آن در آلتراسیون پتاسیک دیده می‌شود (ملکزاده، ۱۳۸۸).

پتروگرافی، میکروترموتری و ایزوتوپ اکسیژن بافت UST خویپک

بافت UST در کانسار خویپک همراه با آلتراسیون پتاسیک و در سطح زمین دیده می‌شود. از آنجاییکه این بافت قبل از رگچه‌ها و مرحله اصلی کانی‌سازی تشکیل شده و از نظر موقعیت اکتشافی در زیر آنها قرار می‌گیرد، دیده شدن این لایه‌ها در سطح زمین نشان می‌دهد که بخش اعظم توده نفوذی و به تبع آن استوک‌ورک‌های سولفیددار تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته و از بین رفته‌اند.

این بافت با لایه‌های کوارتز که از یک طرف مثلثی شکل و از طرف دیگر مسطح هستند و در چند لایه به موازات هم (حداکثر تا عرض ۱ سانتیمتر) دیده می‌شوند، مشخص می‌گردد. گاهی خطوط منظمی روی کوارتز مشاهده می‌شود که در نتیجه حفرات یا سیالات درگیر عمدتاً ثانویه درشت ایجاد شده است. در حاشیه طرف مثلثی شکل کوارتزها بافت دانه شکری یا آپلیتی از کوارتز که کمی همراه با رشد میرمکیتی فلدسپات پتاسیم همراه است، دیده می‌شود. کمتر از ۲ درصد بیوتیت، پیریت و کالکوپیریت همراه با کوارتز در این بافت مشاهده می‌گردد. هم‌رشدی کوارتزهای تک جهته به عنوان اولین لایه‌های تشکیل شده در زون پتاسیک با کانیهای سولفیدی، نشانه اولین مرحله و شروع کانی‌سازی مس و طلا در منطقه است. رگچه‌های دیگر زون پتاسیک، بافت UST موجود در سنگها را قطع نموده‌اند که نشانه قدیمتر بودن این لایه‌ها از رگچه‌های زون پتاسیک می‌باشد (ملکزاده، ۱۳۸۸).



همچنین مطالعه دقیق بافتی در اطراف لایه‌های UST می‌تواند مراحل مختلف تبلور ماگمای حدواسط نیمه عمیق را به خوبی نشان دهد. تغییر بافتی منظمی در بین لایه‌ها دیده می‌شود که نشانه واضحی از درجه پیشرفت تبلور ماگما با زمان است. به این ترتیب که درصد درشت بلور و یا به عبارتی اندازه ذرات زمینه با زمان افزایش می‌یابد. لایه بالایی حدود ۳۰ درصد درشت بلور، با زمینه دانه‌ریز (میانگین ۰/۲ میلیمتر) و لایه وسطی زمینه‌ای با میانگین دانه درشت‌تر (حدود ۰/۱ میلیمتر) با حدود ۵۰ درصد درشت بلور دارد. پایین‌ترین لایه به نظر گرانولار است.

پetroگرافی سیالات درگیر در بافت UST نشان می‌دهد که سیالات درگیر اولیه و ثانویه کاذب همگی چندفازی بوده و علاوه بر مایع و بخار، فازهای نمک، کانی اوپاک و یا کانی شفاف سیلیکاته نیز در آنها دیده می‌شود. چهار نوع سیال درگیر چندفازی شامل $L+V+H$ ، $L+V+H+O$ ، $L+V+H+D\pm O$ و $V+L+H\pm O$ مشاهده می‌گردد که سه نوع اول غنی از مایع بوده و نوع چهارم غنی از بخار است. تنها نمک مشاهده شده هالیت است. کانی اوپاک شامل پیریت و کالکوپیریت و کانی دختر سیلیکاته ناشناخته است. ۳۱ عدد سیال درگیر از انواع مختلف در مرکز، وسط و حاشیه (نزدیک به بافت میرمیکیتی) کوارتز مثلثی اندازه‌گیری شد که میانگین دما ۴۵۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. مقدار شوری لایه‌های کوارتز شانه‌ای ۶۲/۳۰ درصد وزنی NaCl می‌باشد (ملک‌زاده، ۱۳۸۸).

نکته قابل توجه کاهش دمای همگن شدن و شوری سیالات درگیر از مرکز کوارتز به سمت حاشیه است. لازم به ذکر است که دما و شوری سیالات درگیر مرکز کوارتز مربوط به زمان تجمع مواد فرار در بخش فوقانی توده نفوذی بوده در حالیکه سیالات درگیر عمدتاً در قسمت‌های راس مثلث و نزدیک بافت میرمیکیتی، دما و شوری را در زمان آزاد شدن مواد فرار نشان می‌دهند.

همچنین مقایسه دما و شوری محلول سازنده لایه‌های کوارتز بافت تک جهت با دما و شوری محلول کانه‌ساز در رگچه‌های زون پتاسیک و کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت نشان می‌دهد که کاهش منظمی از سمت لایه‌های UST به سمت رگچه‌های آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت دیده می‌شود که مربوط به کاهش نقش محلول ماگمایی و اختلاط آن با آبهای جوی با دور شدن از مرکز سیستم کانی‌سازی و توده نفوذی منشأ است.

ایزوتوپ اکسیژن تاکنون در بافت UST در سطح جهانی اندازه‌گیری نشده است. در این تحقیق این بررسی به عمل آمده و با مقدار ایزوتوپ اکسیژن در رگچه‌های زون پتاسیک و کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت مقایسه شد. تعداد ۳ نمونه از لایه‌های UST که دامنه حرارتی آنها قبلاً اندازه‌گیری شده بود، در دانشگاه لوزان سوئیس آنالیز شدند. سپس تصحیح حرارتی صورت گرفت تا مقدار $\delta^{18}O$ سیال محاسبه شود. در کوارتزهای بافت جامد شده تک جهت (UST) مقدار $\delta^{18}O$ بین +۵/۷۵ تا +۷/۴۴ در هزار بدست آمد که نشان‌دهنده ارتباط آن با سیال کاملاً ماگمایی است. مقدار $\delta^{18}O$ از سمت بافت UST به طرف رگچه‌های آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت کاهش می‌یابد بطوریکه مقدار $\delta^{18}O$ سیال کانه‌دار سازنده رگچه زون کوارتز سرسیت-کربنات-پیریت در خارج از محدوده آب ماگمایی پلات می‌شود. این کاهش مقدار $\delta^{18}O$ رابطه مستقیمی با کاهش دما نشان می‌دهد و مربوط به اختلاط آب ماگمایی با آبهای جوی است (ملک‌زاده، ۱۳۸۸).

نتیجه‌گیری

شوری (میانگین ۶۲/۳۰ درصد وزنی هالیت)، دمای بالا (بش از ۴۰۰ درجه سانتیگراد) و مقدار $\delta^{18}O$ بین +۵/۷۵ تا +۷/۴۴ در هزار) کوارتزهای بافت UST، ارتباط مستقیم آنها را با توده نفوذی و منشأ ماگمایی تایید می‌کند. پلات سیالات درگیر بافت UST در نمودار دما-شوری-فشار بخار آب نشان می‌دهد که سیالات درگیر مرکز هرم که دما و شوری بالاتری دارند در فشار بخار آب بیشتر تشکیل شده‌اند و با کاهش دما و شوری از مرکز به سمت حاشیه، فشار بخار کمتر می‌شود. این مسئله می‌تواند نحوه تشکیل لایه‌های متناوب UST را در دیگرام کوارتز-آلبیت-ارتوکلاز نشان بدهد. بطوریکه از یک ترکیب ماگمایی در فشار بخار حدود ۵۰۰ بار کوارتز و فلدسپاتها همزمان متبلور می‌شوند اما با افزایش فشار بخار به ۳۰۰۰ کیلوپار تنها کوارتز می‌تواند تبلور یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت



که تغییرات فشار بخار آب بطور منظم باعث تشکیل لایه‌های UST می‌شود، بطوریکه با افزایش فشار بخار در بخش فوقانی توده‌های نفوذی کوارتزهای مثلثی شکل تشکیل شده و سپس با کاهش آن تبلور سیستم در محدوده تشکیل سنگ قرار می‌گیرد. با افزایش دوباره فشار بخار آب لایه بعدی UST شکل می‌گیرد.

همچنین شواهد صحرایی شامل قطع شدن این لایه‌ها توسط رگچه‌های زون پتاسیک و شواهد میکروترموتری و ایزوتوپ اکسیژن شامل کاهش حرارت، شوری و مقدار $\delta^{18}\text{O}$ سیال از سمت بافت UST به طرف رگچه‌های زون پتاسیک و کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت نشاندهنده تشکیل شدن این بافت قبل از مرحله اصلی کانی‌سازی مس- طلا پورفیری است. حضور این بافت در سطح زمین در منطقه خویبک موید فرسایش شدید منطقه و از بین رفتن بخش زیادی از رگچه‌ها می‌باشد.

منابع

ملک‌زاده سفارودی، آزاده؛ ۱۳۸۸، زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترموتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشاء کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویبک، استان خراسان جنوبی، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۰۰ صفحه.

- Baluj, G.A., 1995, Unique example of layered granitic melts in intrusions in the Coast Zone of the Primorie region. *Doklady Akad. Nauk* 341: 83-88. (in Russian).
- Breaks, F.W., and Moore, J.M.jr., 1992, The Ghost lake batholith, Superior province of northwestern Ontario: A fertile, S-type, peraluminous granite – rare element pegmatite system. *Canadian Mineralogist* 30: 835-875.
- Breiter, K., 2002, From explosive breccia to unidirectional solidification textures: magmatic- evolution of a phosphorus- and fluorine – rich granite system (Podlesi, Krusne hory Mts), Czech Republic, *Bulletin of the Czech. Geological Survey* 77: 67-92.
- Duke, E.F., Papike, J.J., and Laul, J.C., 1992, Geochemistry of a boron-rich peraluminous granite pluton: the Calamity Peak layered granite-pegmatite complex, Black Hills, South Dakota. *Canadian Mineralogist* 30: 811-833.
- Harris, A.C., Kamenetsky, V.S., White, N.C., and Steele, D.A., 2004a, Volatile phase separation in silicic magmas at Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit, NW Argentina, *Resource Geology* 54: 341-356.
- Harris, A.C., Kamenetsky, V.S., and White, N.C., 2004b, The magmatic- hydrothermal transition: volatile separation in silicic rocks at Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit, NW Argentina, *The Ishihara Symposium: Granites and Associated Metallogenesis*: 69-74.
- Kirkham, R.V., and Sinclair, W.D., 1988, Comb quartz layers in felsic intrusions and their relationship to porphyry deposits. In: Taylor R.P. and Strong D.F. (eds) *Recent advances in the Geology of Granite-Related Mineral Deposits CIM Spec. vol. 31*: 50-71.
- Kirwin, D., 2007, Unidirectional solidification textures, miarolitic cavities and orbicles: field evidence for the magmatic to hydrothermal transition in intrusion- related mineral deposits. *Denver Regional Exploration Abstracts*.
- Kirwin, D.J., and Seltmann, R., 2002, Unidirectional solidification textures associated with intrusion- related gold deposits, 11th Quadrennial IAGOD Symposium and Gecongress in Windhoek, Namibia.
- Kontak, D.J., 2002, Analysis of Decrepitate Mounds as a compliment of fluid inclusion thermometric data: case studies from granitic environment in Nova Scotia and Peru, *Report of Activities*: 185- 187.
- Lickfold, V., Cooke, D.R., Smith, S.G., and Ulrich, T.D., 2003, Endeavour copper- gold porphyry deposits, Northparkes, New South Walse: Intrusive history and fluid evolution, *ECONOMIC GEOLOGY* 98: 1607- 1636.
- Lowenstern, J.B. and Sinclair, W.D., 1996, Exsolved magmatic fluid and its role in the formation of comb-layered quartz at the Cretaceous Logtung W-Mo deposit, Yukon Territory, Canada. *Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, 87: 291-303.
- Morgan, G.B.VI, and London, D., 1999, Crystallization of the Little Three layered pegmatite-aplite dike, Ramona District, California. *Contrib. Mineral. Petrol.* 136: 310-330.
- Perello, J., Carlotto, V., Zarate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N., and Muhr, R., 2003, Porphyry- style alteration and mineralization of the middle Eocene to early Oligocene Andahuaylas- Yauri belt, Cuzco region, Peru, *ECONOMIC GEOLOGY* 98: 1575- 1605.
- Shannon, J.R., Walker, B.M., Carten, R.B., and Geraghty, E.P., 1982, Unidirectional solidification textures and their significance in determining relative ages of intrusions at the Hederson Mine, Colorado. *Geology* 10: 293-297.
- Wilson, A.J., Cooke., D.R., and Harper, B.L., 2003, The Ridgeway gold-copper deposit: a high-grade alkalic porphyry deposit in the Lachlan fold belt, New South Wales, Australia, *ECONOMIC GEOLOGY* 98: 1637-1666.



Zaraisky, G.P., Seltmann, R., Shatov, V.V., Aksyuk, A.M., Shapovalov, Yu.B., and Chevychelov, V.Yu., 1997, Petrography and geochemistry of Li- F granites and pegmatite-aplite banded rocks from the Orlovka and Etyka tantalum deposits in Eastern Transbaikalia, Russia. In: Papunen (ed.) Mineral deposits: 695–698. Rotterdam.