

Хидротермалне промене у издвојеним стратиграфским јединицама у бушотини јужно од Бора

Павле Јовичић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Хидротермалне промене у издвојеним стратиграфским јединицама у бушотини јужно од Бора | Павле Јовичић || 2024 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008943>

**Универзитет у Београду
Рударско-геолошки
факултет**



Завршни рад

Мастер академске студије

**Хидротермалне промене у издвојеним
стратиграфским јединицама у бушотини јужно од
Бора**

Кандидат

Павле Јовичић

Ментор

проф. др Даница Срећковић-

Батоћанин Г626/22

Београд, септембар, 2024.

Комисија:

1. Др Даница Срећковић Батоћанин, редовни професор, ментор

Рударско-геолошки факултет, Београд

2. Др Александар Пачевски, редовни професор, члан

Рударско-геолошки факултет, Београд

3. Др Бојан Костић, доцент, члан

Рударско-геолошки факултет, Београд

Датум одбране: _____

РЕЗИМЕ

Анализом уступљених узорака из истражне бушотине јужно од Бора, од стране компаније Serbia Zijin Mining, утврђене су хидротермалне промене (алтерације) које прате стратиграфске чланове набушене самом бушотином. Установљене алтерације директно осликавају класично развиће порфирског Cu система, при чему је указано на њихову повезаност са минерализацијом, као и на потенцијалност самог истражног простора којем изабрана бушотина припада.

Кључне речи: *Бор, хидротермалне промене, порфир.*

SUMMARY

Analyses of samples from exploration drill hole South of Bor, given by the company Serbia Zijin Mining, determined hydrothermal alterations which are following stratigraphic units intersected by the drill hole itself. Determined alterations directly depicts classic development of porphyry Cu system, while it is indicated to their relation with mineralization and also on potentiality of exploration area to whom chosen drill hole belongs.

Key words: *Bor, hydrothermal alterations, porphyry.*

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ОПШТИ ДЕО.....	2
2.1. Географски положај	2
2.2. Геолошка грађа	2
2.3. Материјал и метода испитивања.....	8
2.4. Поларизациона микроскопија	8
2.5. Хидротермалне промене (и процеси)	9
3. СПЕЦИЈАЛНИ ДЕО	17
3.1 Анализа изабране бушотине.....	17
3.1.1 Макроскопска и микроскопска анализа узорака.....	20
4. ДИСКУСИЈА	52
5. ЗАКЉУЧАК	54
6. ЛИТЕРАТУРА	55
Захвалност	57

1. УВОД

Циљ овог завршног рада је дефинисање типова и интензитета хидротермалних промена у оквиру издвојених стратиграфских јединица у изабраној бушотини јужно од Бора. Велики значај хидротермалних промена (*алтерација*) на формирање рудних лежишта, како у свету тако и у Борској регији, иницира потребу за додатним посвећивањем пажње овој геолошкој појави, посебно узевши у обзир недостатак домаће литературе која се бави овом тематиком.

Изабрана бушотина представља део најјужније екстензије Борске минерализације у оквиру Тимочког магматског комплекса и део је зоне која ће у будућности несумњиво показати велики економски значај. Бушотина осликава типско развиће пре свега магматских, али и седиментних стратиграфских чланова овог простора са класичним хидротермалним променама које прате овај локалитет.

Важно је напоменути да поред економски занимљиве минерализације кроз коју бушотина пролази, фокус рада несумњиво остаје на хидротермалним променама и њиховом развићу, при чему се запоставља поменута минерализација која ће бити предмет неког будућег рада, јер по свом значају свакако то и заслужује.

2. ОПШТИ ДЕО

2.1. Географски положај

Област у оквиру које се налази изабрана бушотина, позиционирана је у источној Србији, у непосредној близини села Николичева, јужно од Бора и северно од Зајечара. Карактерише је изразито брдски терен са слабије развијеном мрежом водотокова, при чему треба споменути Тимок на југу и Борску реку на северо-истоку, као и мање познату Николичевску бању са извором топле воде.

2.2. Геолошка грађа

Истражно подручје у оквиру кога је и локација саме бушотине припада Борској Металогенетској Зони у оквиру ширег горњо кредног Апусени-Банат- Тимок-Средњогорје (АБТС) појаса.

Апусени-Банат-Тимок-Средњогорје појас је саставни део глобалног Тетиског Евроазијског Металогенетског Појаса (ТЕМП), који се простире дуж источне хемисфере од западних Алпа до југоисточне Азије. АБТС појас формира релативно континуирани ланац које се пружа од севера ка југу дуж Апусени планина (Румунија) кроз Банат (Румунија) до Тимока (Србија) и онда дуж истока и запада кроз зону Средњогорја (Бугарска). АБТС појас носилац је значајних порфирских Cu-Au-Mo, скарновских Mo-Fe-Pb-Zn и епитермалних Cu-Au-Ag лежишта горњо кредне старости (Zimmerman A., Stein H, et al. 2007).

Генеза Борске Металогенетске Зоне, често називане и Тимочким магматским комплексом (ТМК), предмет је опречних мишљења различитих аутора. Већина аутора настанак ТМК повезује са касном кредном субдукцијом ка истоку, при чему се остаци мезозојског Тетиса субдукују

под југо-источну Европску маргину. Аргументи за овај модел настанка леже у геохемијским карактеристикама калко-алкалних андезита и повезаних стена, који несумњиво указују на субдукциони карактер магматизма (Banješević M., Svetković V., Quadt A., et al. 2019.).

Борска металогенетска зона је позната по великим порфирским системима које прате епитермална Cu-Au лежишта високе сулфидације, као и подређена Cu-Au минерализација ниске сулфидације. Више од 25 Cu-Au индивидуалних или рудних тела налик кластерима појављује се у Борској металогенетској зони, углавном као жице, бреча – матрикс, или тотална замена масивних сулфида (Banješević M., Svetković V., Quadt A., et al. 2019.).

Тимочки магматски комплекс доминантно је изграђен од екструзивних вулканита и вулканокластита који су асоцирани са вулканоседиментним и седиментним серијама стена. Цео ТМК формиран је од турона до кампана/палеогена, на шта указују доступна радиометријска датирања (углавном K-Ar) која покривају распон од 90 до 62 Ма. Бројне студије које комбинују радиометријско датирање, стратиграфске и петролошке информације указују да постоји подмлађивање магматских продуката ка западу, пратећи благе до средње промене у саставу стена (Banješević M., Svetković V., Quadt A., et al. 2019.).

Еволуција ТМК је грубо подељена у три вулканске фазе. У најисточнијем делу ТМК доминантна вулканска стена је биотит-хорнбленда андезит, познат као Тимочки андезит или андезит прве вулканске фазе. Доступна датирања U- Pb андезита прве фазе смештају у распон од 89 – 84 Ма.

На западу, вулканске стене прве фазе прелазе у другу фазу хорнбленда-пироксен до пироксен андезита и базалт андезита. Углавном се

појављују као субмарински екструзивни вулканити и њихови асоцирани епикластити. Ове стене датирањем U-Pb показују старости у распону од 83 – 80 Ма.

У најзападнијем делу ТМК појављују се ретке плутонске и плитке интрузивне стене монцодиоритско-гранодироитско-габродиритског састава.

Највећа маса ових стена назива се Ваља Стрж, и датирана је на старост од 82.5

- 78.6 Ма. Даље на запад појављују се бројни дајкови и неправилна тела плитких интрузија латитског и трахиандезитског састава. Ове субвулканске стене пресецају горе поменуте вулканите друге фазе, тако да су их ранији аутори сматрали тзв. трећом вулканском фазом (Banješević M., Svetković V., Quadt A., et al. 2019.).

Сам простор је покривен са више различитих геолошких карата, при чему највећи значај свакако имају Основна Геолошка Карта СФРЈ 1:100000 са листовима Бор и Зајечар, као и Тематска Геолошка карта "Јужни део тимочке еруптивне области" 1:50000, које обухватају и истражно подручје.

Ужи простор истражног подручја обухвата творевине претежно кредне и неогене старости (Слика 2.1.).

Творевине кредне старости представљене су углавном горњокредним члановима, док се они старији, припадници доње креде, запажају ређе.

Доња креда (K₁^{3,4} – K₁⁵)

Доњу креду чине јединице старости од валендина до алба, док су оне старости барем-апт најчешће у оквирима истражног простора. Типично развиће представљају кречњаци ургонске фације. Често се појављују у облику мањих хорстова и откривених структура у палеорељефу тимочке ров синклинале. Старост самих слојева доказана је палеонтолошки, кроз

значајно присуство фосила пахиодонтних шкољки, брахиопода, орбитолина, фораминифера и алги. Већина фосила налази се у горњем делу ургонских кречњака, док је у доњем делу њихова појава знатно ређа, што у неку руку онемогућује даље рашчлањавање. Поред кречњака који су најдоминантнији литолошки члан доње креде, честе су појаве флишних седимената представљених пешчарима, алевролитима и глинцима (Veselinović M. i dr., 1967).

Горња креда

Ценоман (К¹)

Непосредно преко албских седимената леже седименти ценомана који су подељени на горњи и доњи, при чему је горњи ценоман боље развијен и палеонтолошки представљен, док је доњи пре свега одређен суперпозиционо у односу на седименте алба преко којих лежи потпуно конкордантно. Најчешће је представљен пешчарима и песковитим глинцима, док се на одређеним локалитетима запажа појава излива и вулканокластита, што представља почетак вулканске активности у ценоману (Veselinović M. i dr., 1967).

Андезити I вулканске фазе

Андезити I вулканске фазе леже преко ценоманских и прекривени су сенонским седиментима. Представљени су амфиболским андезитима и трахи андезитима са изразито калијским карактером. Светло сиве до зелено сиве су боје, холо- до хипокристаласте порфирске структуре, некада окарактерисане фенокристалима амфибола центиметарске величине – тимоцити. Андезин, амфибол, биотит и клинопироксен су главне фенокристалне фазе, док је појава фенокристала кварца ретка.

Према литолошким, вулканолошким и петрографским особинама, подељени су на следеће фазије: лавични токови (кохерентни и аутокластични), лавичне доме, плитке интрузије и различите

вулканокластичне стене. Комплетно или делимичо аутобречизирани лавични токови су најчешћи, док су хијалокластити веома ретки. Имају велики аспектни однос, где дебљина често достиже више десетина метара, при чему је простор који покривају прилично мали, често $< 100\text{m}^2$. Син-еруптивна и пост-еруптивна редепозиција вулканокластичних стена има велико распрострањење – када прелази у епикластичну формацију Метовница (Banješević M. 2010).

Епикластити Метовнице

Епикластити Метовнице су развијени у источном делу Тимочког магматског комплекса у плиткој морској средини, оштро запуњавајући вулканске стене подлоге. Стене су грубо до финозрне, масивне, банковите до чак ламиниране текстуре. Изграђене су од структурно до текстурно различитих фрагмената који потичу од различитих фаза андезита. Епикластити Метовнице су често испреплетани са седиментима. Некада стене садрже веома добро очувану микрофауну која одговара конијак-кампану (Banješević M. 2010).

Борски пелити (К³)

Повлату вулканогених творевина тимоцитске асоцијације изграђује јединица борских пелита. Она се може пратити на великој дужини, док јој је дебљина променљива. У области Бора, према М. Дровенику (1960), изграђена је у доњем делу од туфова и туфита, у средњем од вапновито силикатних и силикатних пелита, док се у најгорњем делу појављују вулканогене творевине друге фазе. Средњи делови јединице стварани су у периоду вулканског мировања између прве и друге фазе. Старост борских пелита је доњосенонска (Kalenić M. i dr., 1976).

Борски конгломерати (К³)

Борски конгломерати и пешчари су изграђени од валутака шкриљаца,

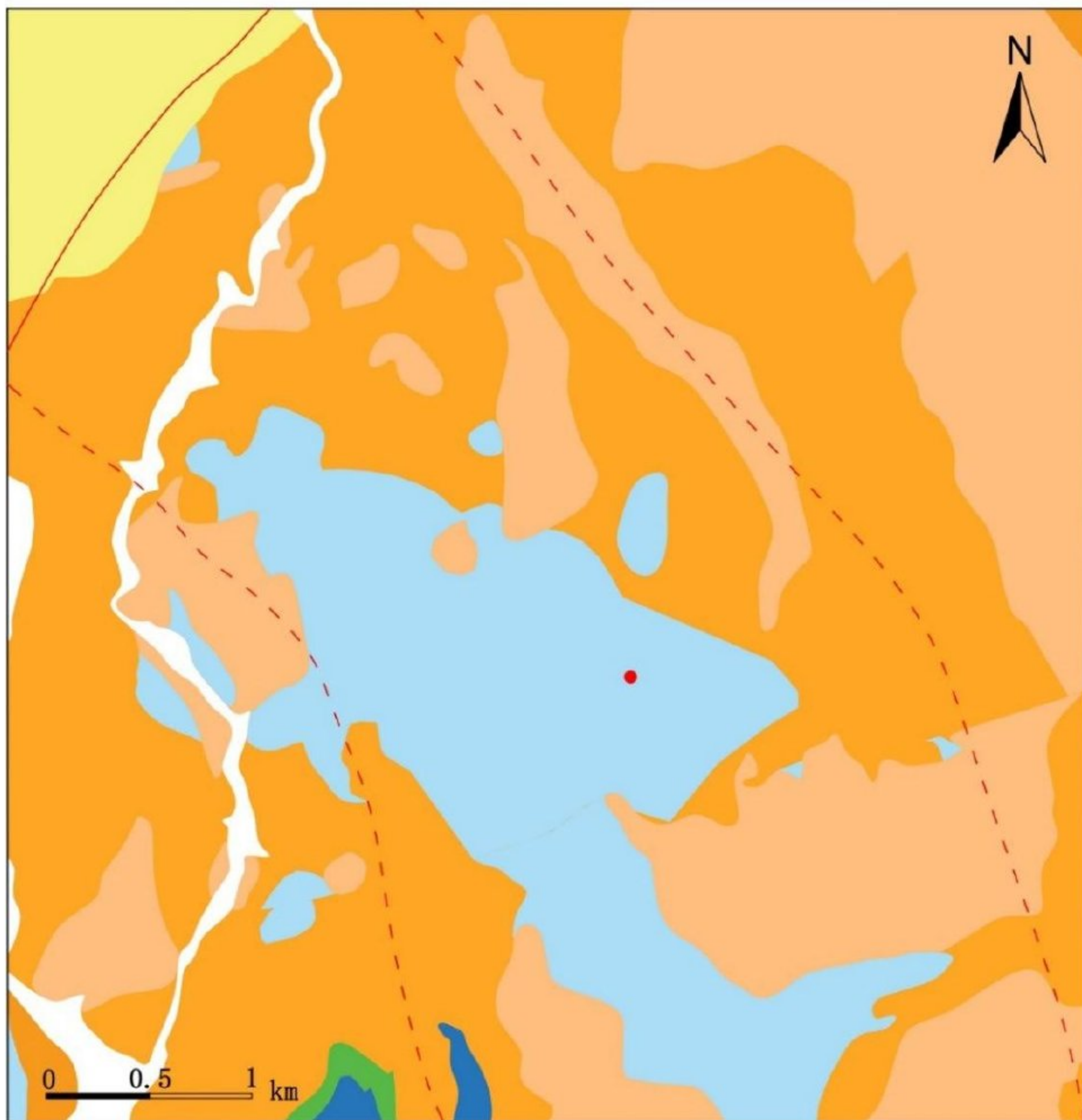
палеозојских седимената, кварцита, палеозојских габрова и гранита, вулканита тимоцитске асоцијације, андезита са крупним фелдспатима и валутака рудистних кречњака. У њима нису запажени вулканити друге фазе, што је М. Дровеника (1960) навело да их схвати као приобалну фацију борских пелита, стварану у периоду мировања између прве и друге фазе (Kalenić M. i dr., 1976).

Неоген

Неогене творевине на испитиваном терену имају велико распрострањење и испуњавају тектонски предиспонирану котлину, средњег и делом горњег Тимочког басена у Источној Србији. Услед различитих физичко географских услова у басену, таложе се и седименти различитих литофацијалних и биофацијалних карактеристика и у различитим етапама геолошке еволуције басена. У овом делу испитаваног подручја, миоценски седименти су претежно маринског, маринскобракичног и бракичног карактера (Veselinović M. i dr., 1967).

Квартар

Од кварталних творевина у околини истражног подручја, заступљени су примарно алувијални талози. Алувијални талози налазе се у долинама већих токова. Изграђени су од шљункова, пескова и супескова. На многим местима показују грађу друге динамичке фазе, са добро развијеном фацијом шљункова у подини и поводањском фацијом у повлати (Kalenić M. i dr., 1976).



Слика 2.1. Геолошка грађа ужег простора истражне бушотине (црвени круг)



Слика 2.2. Легенда картираних јединица

2.3. Материјал и метода испитивања

Узорци употребљени за потребе овог рада, представљају материјал из истражне бушотине уступљене од стране компаније Serbia Zijin Mining. Узорци су систематски бирани како би окарактерисали специфичне стратиграфске чланове, али пре свега хидротермалне промене које их прате. За студију је коришћена метода поларизационе микроскопије.

2.4. Поларизациона микроскопија

Поларизациона микроскопија је основна метода којом се на основу оптичких карактеристика врши идентификација минерала. Неопходна линеарно поларизована светлост се добија на више начина: рефлексијом, селективном апсорпцијом или двојним преламањем светлосних зрака. Најчешће се код поларизованих микроскопа за добијање линеарно поларизоване светлости користе оптичке призме које су направљене од минерала који показују двојно преламање. Код поларизационог микроскопа за пропуштену светлост неопходно је од узорка за испитивање направити петрографски препарат. Он представља одсечак узорка дебљине између 0,02 и 0,03 mm који је канада балсамом залепљен између две стаклене плочице (Erić S. 2019).

У зависности од тога коју оптичку особину минерала одређујемо код поларизационог микроскопа можемо користити ортоскопске и коноскопске услове посматрања. Код ортоскопског посматрања, које подразумева само употребу поларизатора, могу се дефинисати: облик и величина зрна, пукотине, цепљивост, рељеф, псеудоапсорпција, боја и полихроизам. Ако у систем посматрања укључимо и анализатор могу се одредити: оптичка изотропија и анизотропија минерала, интерферентне боје, врсте помрачења, оптички карактер издужења и ближњење. Коноскопским посматрањем могу се одредити: оптички једноосни и двоосни минерали, оптички знак и угао оптичких оса. Мада су неке оптичке карактеристике идентичне код великог броја минерала, сваки минерал има своје специфичне оптичке карактеристике на основу којих се разликује од других минерала (Erić S. 2019).

2.5. Хидротермалне промене (и процеси)

Познато је да хидротермални раствори играју значајну улогу у процесу формирања или модификације различитих лежишта, посебно

порфирске генезе, каквом се може сматрати и само орудњење којем припада обрађена истражна бушотина.

У одређеном стадијуму кристализације (раном или касном), гранитне магме ће постати обогаћене водом, што ће резултовати ексолуцијом водене фазе како би се формирала засебна фаза у силикатном растопу. Овај процес се назива H_2O сатурација, често називан и кључањем. Због особине водених раствора да су значајно мање густине од гранитне магме, имају тенденцију да се издижу и концентришу у кровини магматске коморе. Иако одређена количина оригиналног ОН у магми може бити искоришћена за формирање хидратисаних минерала (као што су биотит и хорнбленда), ослобођена количина магматске воде, може бити врло значајна (Robb L. 2005).

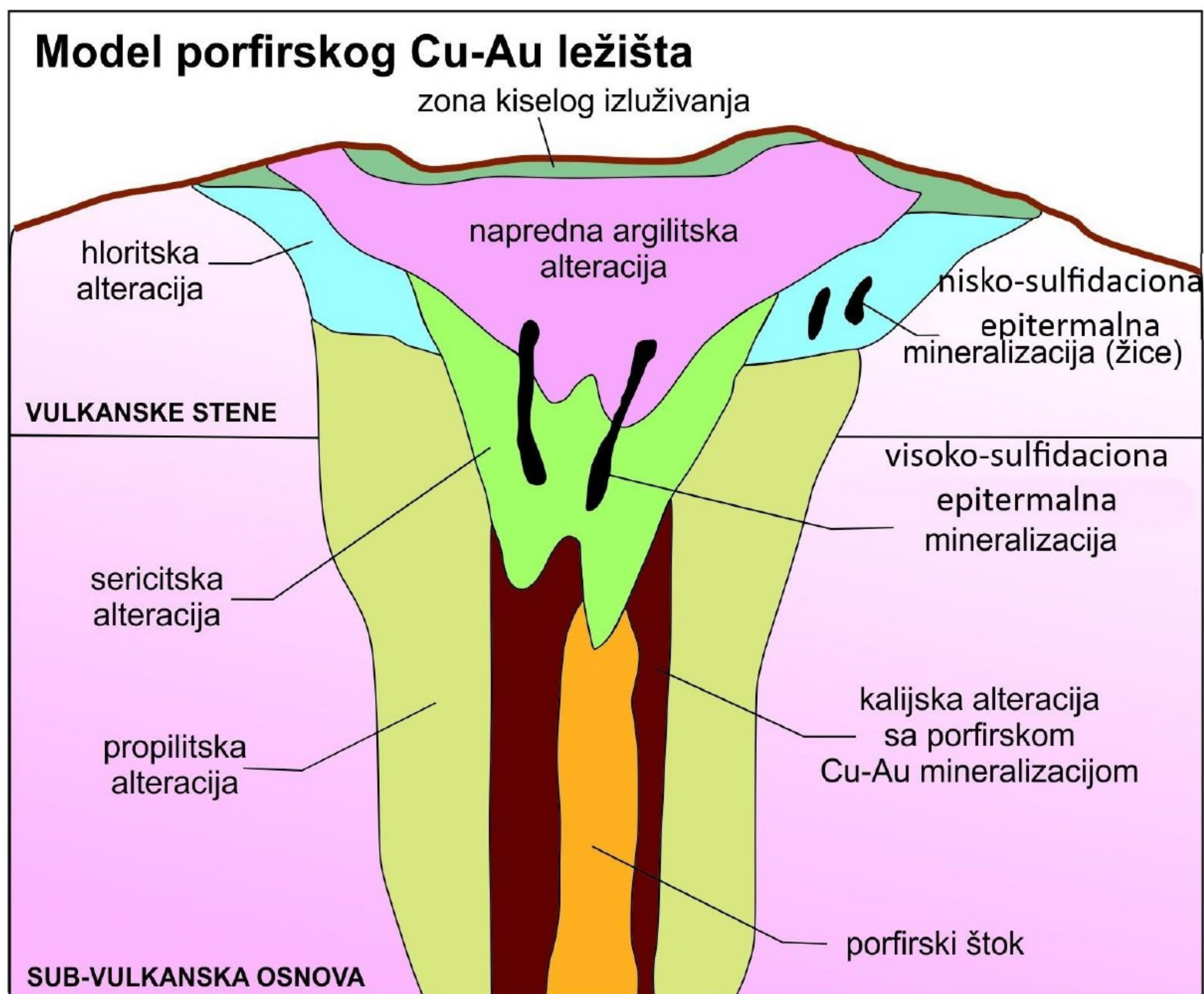
Поред магматских флуида, постоје четири главна типа вода на или близу Земљине површине. Иако сви они могу имати слично порекло, сваки од ових типова резервоара је другачији у свом саставу и температури, и на тај начин игра другачију улогу у хидротермалном процесу. Основни типови вода су: морска вода, метеороска вода, конатна вода и метаморфна вода, поређани са порастом дубине и температуре у кори. Пети тип вода може се издвојити као мешовити тип, где је вода добијена мешањем два или више основна типа, а може бити врло значајна у хидротермалним процесима (Robb L. 2005).

Пролазак хидротермалних флуида кроз Земљину кору, неизоставно је праћен хидротермалним променама (алтерацијама). Алтерација стена од стране флуида који кроз њу пролазе, маркирана је развојем минералног склопа који је другачији од оригиналног и рефлектује како састав стене, тако и особине и количину флуида који су прошли кроз систем. Зоне алтерација маркирају путеве хидротермалних флуида кроз кору и могу бити врло корисне у фази проспекције различитих типова лежишта (Robb L. 2005).

Уобичајено, алтерације се могу посматрати као процес који у својој најједноставнијој форми, укључује сам хидротермални флуид (примарно воду са својим дисосованим компонентама H^+ и OH^-) и растворене конституенте из воденог раствора (Robb L. 2005).

Минерални склоп који се формира као резултат хидротермалних алтерација варира у функцији пет фактора: температура, притисак, састав стене-домаћина, састав раствора и однос флуида према стени у алтерационом процесу. У природи ових пет фактора интерагују на комплексан начин креирајући алтерациони склоп који их све рефлектује. Стабилност минералног склопа је диктирана у највећој мери температуром и притиском, док примарна стена у одређеној мери диктира који састојци су доступни како би изградили одређени алтерациони склоп. Састав флуида и температура имају јак утицај на природу и степен до којег ће примарна стена бити растворена воденим растворима, као и на природу и концентрацију нових конституената уведених у систем од стране флуида. Однос флуид/стена се сматра за најзначајнију променљиву у алтерационим процесима јер диктира степен до којег ће се реакција одвијати до свог завршетка (Robb L. 2005).

Порфирска Cu лежишта показују правилан алтерационо – минерализациони зонарни шаблон широког размера који обухвата посматрано централно навише следеће хидротермалне промене: натријско калцијску, калијску метасоматозу, серицитизацију и напредну аргилитизацију. Хлоритизација и пропилитизација се развијају дистално у плићим и дубљим нивоима (Слика 2.3.) (Sillitoe R. 2010).



Слика 2.3. Зонарно распрострање алтерације у оквиру порфирског *Cu* система (модификовано према Sillitoe 1995.)

Алтерационо – минерализациона зонарност обично захвата више кубних километара стена. Генерално, алтерационо – минерализациони типови постају прогресивно млађи навише, што резултује тиме да су плиће зоне маскирале и макар делимично реконституисале оне дубље (Sillitoe R. 2010).

Натријско – калцијска алтерација

Натријско – калцијска алтерација, често богата магнетитом, је обично слабо очувана у дубини порфирских *Cu* лежишта. Најчешће је непосредно у стени у подини порфирске интрузије када због позиције може доћи до забуне са пропилитском алтерацијом, мада може бити и карактеристична за

централне зоне неких порфирских штокова. Натријско – калцијска алтерација је обично сиромашна сулфидима и металима генерално, иако може носити минерализацију у неким Cu порфирима богатим Au (Sillitoe R. 2010).

Калијска метасоматоза

Велики део многих порфирских Cu лежишта, посебно дубоко формираних или релативно дубоко еродованих, је доминантно изграђен од стена које су биле изложене калијској метасоматози која маргинално постепено прелази у слабо развијену пропилитску зону. Биотит је доминантни алтерациони минерал у релативно мафичним порфирским интрузијама, док је присуство калијског фелдспата запажено у више фелзичним, гранодиоритским до кварц монцонитским условима. Натријски плагиоклас може бити пратећи алтерациони минерал у оба случаја. Халкопиритско ± борнитска руда у многим порфирским лежиштима је уско повезана са зонама калијске метасоматозе, са једним или више центара богатих борнитом који карактерише дубље, централне делове лежишта. У неким борнитом богатим центрима, сулфидационо стање је довољно ниско да се стабилизују дигенит и халкозин. Калијско метасоматизираних стена варирају од ограничених зона у близини штокова и дајкова па до километарских зона. Калијска метасоматоза генерално постаје мање интензивна од старијих ка млађим порфирским фазама (Sillitoe R. 2010).

Калијска метасоматоза је окарактерисана формирањем новог K-фелдспата и/или биотита, обично заједно са серицитом, хлоритом и кварцом. Као акцесорни минерали, могу се појавити магнетит/хематит и анхидрит. Типично представља највише температурне форме алтерација (500-600 C°). Варијације калијске метасоматозе које укључују значајан принос Na и Ca (натријско - калцијска алтерација) су окарактерисане присуством албита, епидота и актинолита (Robb L. 2005).

Хлоритско – серицитска алтерација

Хлоритско – серицитска алтерација се односи на препознатљиве светло зелене стене, широко распрострањене у плићим деловима неких порфирских Cu лежишта, посебно Au богатих где маскира постојећи склоп калијске метасоматозе. Алтерација је окарактерисана делимичном до потпуном трансформацијом мафичних минерала у хлорит, плагиокласа у серицит или илит, док магматски или хидротермални магнетит прелази у хематит, а све заједно уз депозицију пирита или халкопирита. Иако је уобичајено осиромашење Cu и Au из претходно калијско метасоматизираних зона приликом преласка у хлоритско – серицитске алтерације, није редак случај ни приноса метала приликом исте (Sillitoe R. 2010).

Серицитизација

Серицитизација у порфирском Cu лежишту обично маскира и делимично или потпуно уништава склоп калијске метасоматозе и хлоритско – серицитске алтерације. Серицитска алтерација се може поделити на два различита типа: ређи, ранији тип који је зеленкасте до зеленкасто сиве боје, и каснији много чешћи и заступљенији тип који је беле боје. У неколико лежишта у којима је препознат, ранија, зеленкаста серицитизација је централно лоцирана и носилац је ниско сулфидационог склопа халкопирита – борнита. Касна, бела серицитизација има разнолики шаблон дистрибуције у порфирском Cu лежишту. Серицитизација је уобичајено богата пиритом, што указује на ефективно одстрањивање Cu ($\pm Au$), који је присутан у претходно хлоритско серицитском или калијско метасоматизираним склопу. Међутим, серицитизација такође може и садржати руду када значајна количина Cu остаје са пиритом, било у форми халкопирита или у стању високе сулфидације (Sillitoe R. 2010).

Пропилитизација

Пропилитизација је вероватно најраспрострањенији тип алтерација и практично је тешко раздвојива од склопа који настаје у метаморфној фацији зелених шкриљаца. Садржи углавном хлорит и епидот, заједно са мањим количинама клиноцоисита, калцита, цоисита и албита. Представља благ тип алтерације који настаје на нижим до средњим температурама (200-350 С°) и малим односом флуид/стена. Карактерише маргине порфирских Сu лежишта као и епитермална орудњења племенитих метала (Robb L. 2005).

Аргилитизација

Овај тип алтерације се може поделити на средњу и напредну категорију, у зависности од интензитета деструкције примарних минерала. Средња аргилитизација углавном утиче на плагиокласе и карактерише се формирањем глиновитих минерала, каолинита и минерала из групе смектита (углавном монморионита). Углавном се формира на температурама испод 250 С° праћена Н⁺ метасоматозом и појављује се на ободу порфирских система. Напредна аргилитизација представља екстремни вид излуживања где је стена осиромашена алкалним елементима од стране веома киселих флуида у условима са великим односом флуид/стена. Окарактерисана је каолинитом, пирофилитом или дикитом (у зависности од температуре) а алунитом са мање заступљеним кварцом, топазом и турмалином. Уобичајено је асоцирана са близу површинским епитермалним лежиштима где је алтерација уско повезана са кључањем флуида и кондензацијом пара богатих волатилима који формирају екстремно киселе растворе (Robb L. 2005).

Скарнизација

Тамо где је карбонатна стена (кречњак или доломит) уместо

магматске или силицикластичне стене, стена домаћин порфирског лежишта, калцијски или магнезијски егзоскарн је генерисан у близини порфирске интрузије, док је мермер формиран даље од фронта скарнова. У случају кречњачког протолита, нехидратисани, проградни андрадитско гранатски – диопсидско пироксенски скарн се формира истовремено са калијском метасоматозом некарбонатних литолошких чланова, док се хидратисани ретроградни скарн, често са значајном количином магнетита, актинолита, епидота, хлорита, смектита, кварца, карбоната и Fe сулфида, формира еквивалентно са хлоритско – серицитским и серицитским склопом алтерације. Масивно сулфидна лежишта замене карбоната, су обично окружена мермером (Sillitoe R. 2010).

3. СПЕЦИЈАЛНИ ДЕО

3.1 Анализа изабране бушотине

Изабрана бушотина налази се у оквиру истражног простора Брестовац- Метовнице, јужно од Бора. Изабрана је као репрезентативни представник хидротермалних промена које прате андезите развијене на овом простору, за разлику од других, блиских, бушотина чије значајне чланове чине различите седиментне стене, код којих хидротермалне промене нису већег интензитета или не могу бити адекватно сагледане.

Бушотина је укупне дубине 2170.4 m, при чему се у стратиграфском погледу у њој грубо посматрано може издвојити 7 чланова:

- Седименти формације Оштрељ
- Епикластити формације Метовница
- Горњи андезити
- Доњи андезити
- Минерализована зона
- Андезит порфири
- Кречњаци подине

Од	До	Литологија	Формација
0.0	317.5		Оштрељ
317.5	674.0		Метовница
674.0	1485.1		Доњи андезити
1485.1	1547.8		Минерализација
1547.8	2149.0		Андезит порфир
2149.0	2154.7		Расед
2154.7	2170.4		Кречњаџи подине

Слика 3.1. Поједностављен геолошки стуб истражне бушотине

Седименти формације Оштрељ представљени су лапорцима који се везују за дубоководну депозицију у морској средини, али синхроно са њом настаје и епикластична формација Метовница, са којом се често сусреће у случају приближавања депозиционог простора копну. Петролошки посматрано, Оштрељ чине, поред типских лапораца, и епикластични пешчари и грубокластични епикластити у подини јединице. У бушотини се

простире до дубине од 315.7 m.

Епикластити формације Метовница доминантно су изграђени од андезитског материјала који припада различитим вулканским фазама, мада у зависности од развића, могу садржати и материјал вулканокластичног, седиментног или метаморфног карактера. Конкретно у случају истражног простора у којем се налази изабрана бушотина, епикластити Метовнице доминантно су изграђени од материјала који води порекло од тзв. Горњих андезита. Развој ове формације у бушотини је од дубине 315.7 m до 674.0 m.

Горњи андезити представљају најмлађе вулканске продукте у оквиру прве вулканске фазе. Названи су „горњим“ због стратиграфских односа у којима се налазе са другим андезитима прве фазе. Карактерише их присуство великог броја фенокрстала хорнбленде које доминирају, како својом величином, тако и бројношћу у односу на плагиокласе. Врло ретко су слабо алтерисани и потпуно неминерализовани. У оквирима истражног простора којем припада изабрана бушотина, горњи андезити врло ретко граде кохерентна тела у виду сливова различитих димензија, већ су пре свега главни конституенти епикластичне формације Метовница, те се могу заједно и посматрати, што је случај и са овом бушотином.

Доњи андезити, по аналогји са горњим, налазе се стратиграфски испод горе поменутих јединица. Представљени су различитим андезитским фазама које граде како кохерентне сливове, тако и различите врсте бреча. Јединицу доњих андезита прати сукцесивно повећавање интензитета хидротермалних промена са дубином, те су често и у различитој мери минерализовани. Доњи андезити простиру се од дубине 674.0 m до 1485.1 m.

Сама минерализована зона није у фокусу овог рада али због свог значајног места у стратиграфском стубу истражне бушотине, не може остати непоменута. Обично се појављује између јединица доњих андезита и андезит порфира и то у блиској вези са карбонатним стенама, које у овом

случају изостају. Представљена је масивно сулфидном минерализацијом и изграђена је од сулфидних минерала са повећаним садржајем бакра, злата, олова и цинка. Минерализована зона у ширем погледу обухвата интервал од дубине 1485.1 m до 1547.8 m.

Јединица названа андезит порфиром врло је комплексна по својој петрологији. По свему судећи, чине је различите андезитске фазе, које показују пре свега особине субвулканских интрузија, мада у одређеним случајевима њихов склоп указује на могуће класичне вулканске сливове. Прате је различите хидротермалне промене и често је носилац порфирског типа минерализације. Простирање андезит порфира сеже од дубине 1547.8 m до 2149.0 m.

Кречњаци подине чине основу стратиграфског стуба карактеристичног развића овог подручја. Јединица је представљена свежим, често бречизираним кречњацима доње креде/горње јуре. Сматра се да закључно са развићем ове јединице престаје могућност проналаска тражене минерализације, а самим тим и хидротермалних промена које су фокус овог рада. Након проласка кроз раседну зону дебљине 5.7 m, бушење је досегло до кречњака подине који су набушени у интервалу од 2154.7 m до крајњих 2170.4 m.

3.1.1 Макроскопска и микроскопска анализа узорака

Формација Оштрељ - Узорак 1 (178.0-178.10 m)

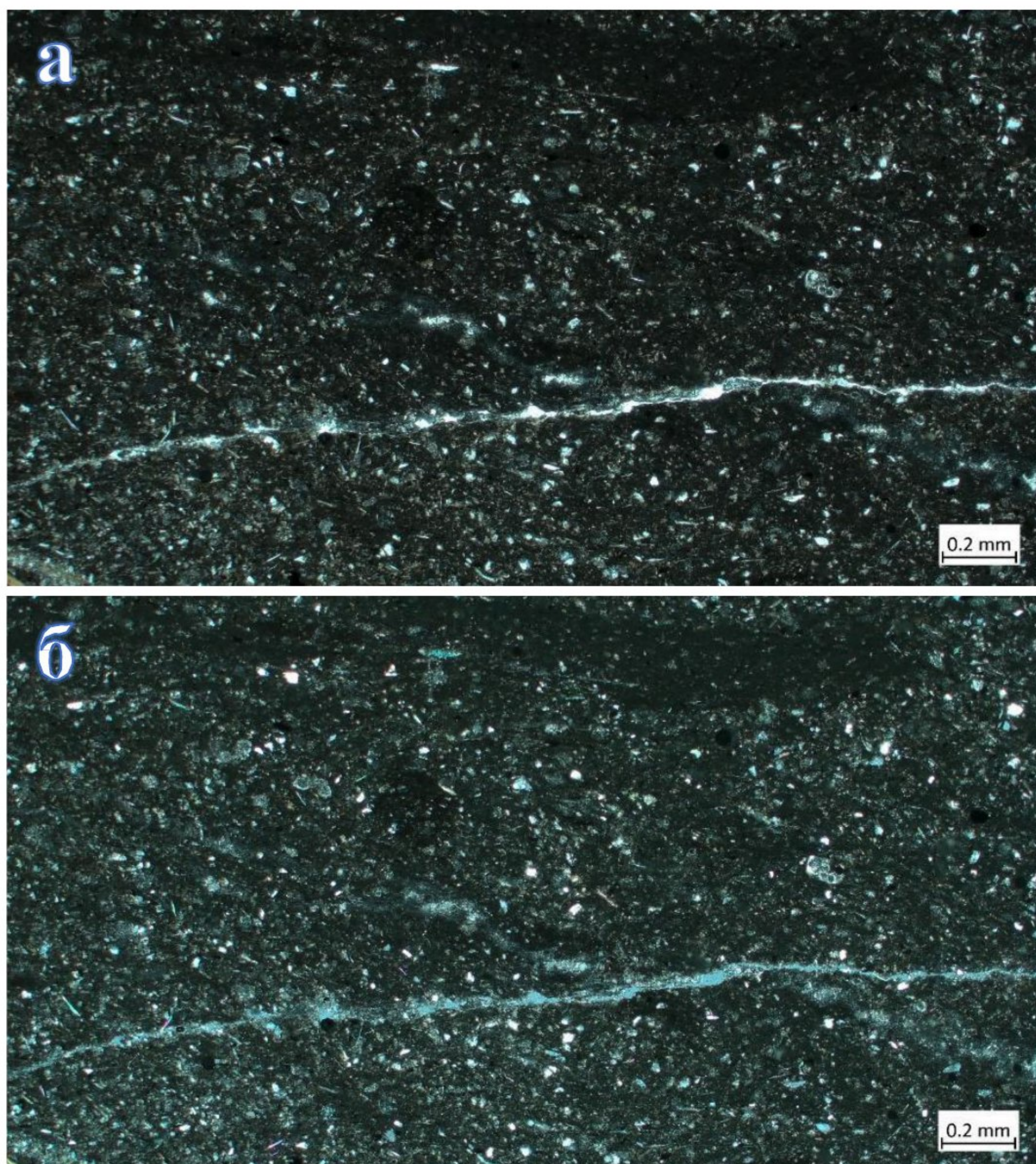
Из ове формације анализиран је један репрезентативни узорак који осликава развиће ове формације, као и одсуство хидротермалних промена у истој. Макроскопски посматрано, узорак је сиве до црвенкасте боје, видљиво кластичне финозрне структуре и масивне до ламиниране текстуре.

Посматрањем препарата лако се уочавају зрна теригеног кварца, плагиокласа и калцита, као и тања жица калцита. Величина зрна је мања од

0.05 mm те се узорак може окарактерисати као алевролит. У погледу хидротермалних промена, узорак је потпуно свеж.



Слика 3.2. *Макроскопски изглед узорка 1*



Слика 3.3. Микроскопски изглед узорка 1; свеж алевролит; а-паралелни николи (prpl) б-укрштени николи (xpl)

Формација Метовница - Узорак 2 (572.90-573.0 m)

Из формације Метовница, такође је анализиран један репрезентативни узорак, који у овом случају представља како епикластите Метовнице, тако и јединицу горњих андезита.

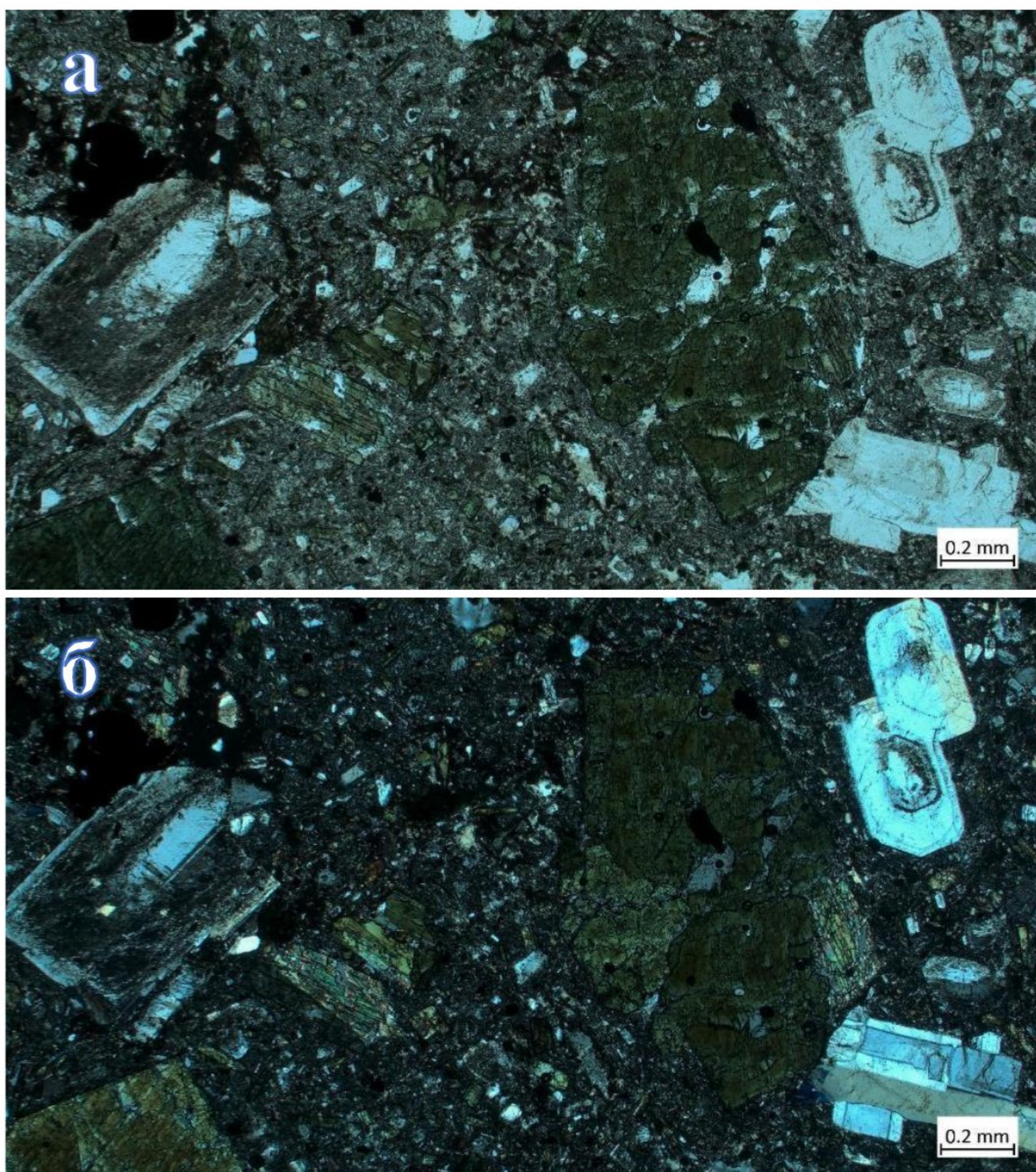
Макроскопски посматрано, узорак представља фрагмент андезитске брече, углавном мономиктне по саставу и то изграђене од класта већ поменутих горњих андезита. Узорак је тамно сиве боје, при чему су класти

нешто тамнији од подређеног светлијег матрикса. Андезитске класти имају порфирску структуру и масивну текстуру. Макроскопски се чини да је величина и бројност фенокристала хорнбленди и плагиокласа иста или приближна.

Микроскопски посматрано, препарат је обухватио класт андезита који се може има порфирску структуру и масивну текстуру. У погледу саставу ипак се запажа блага доминација у бројности фенокристала хорнбленде која се појављује у величини од 0.2-4 mm. Хорнбленда је претежно свежа до местимично благо хлоритисана. Плагиоклас се налази у фенокристалима приближно истих димензија (0.2-4 mm) и претежно је свеж до слабо аргилитисан. Местимично се појављују нешто мањи фенокристали биотита димензија 0.2-1 mm. Релативно су честа ситна зрна магнетита. Основна маса је холокристаласта, крупнозрна и изграђена од истих минерала. У погледу хидротермалних промена, рекло би се да је узорак претежно свеж, ако се занемари блага хлоритизација и аргилитизација који се могу везати за супергене услове.



Слика 3.4.Макроскопски изглед узорка 2



Слика 3.5. Микроскопски изглед узорка 2; неалтерисани андезит са свежим фенокристалима плагиокалса и хорнбленде; а-ppl, б-xpl

Доњи андезити – Узорци 3-7

Јединица доњих андезита проучавана је кроз пет узорака који осликавају постепено повећање интензитета хидротермалних промена са порастом дубине у оквиру овог члана.

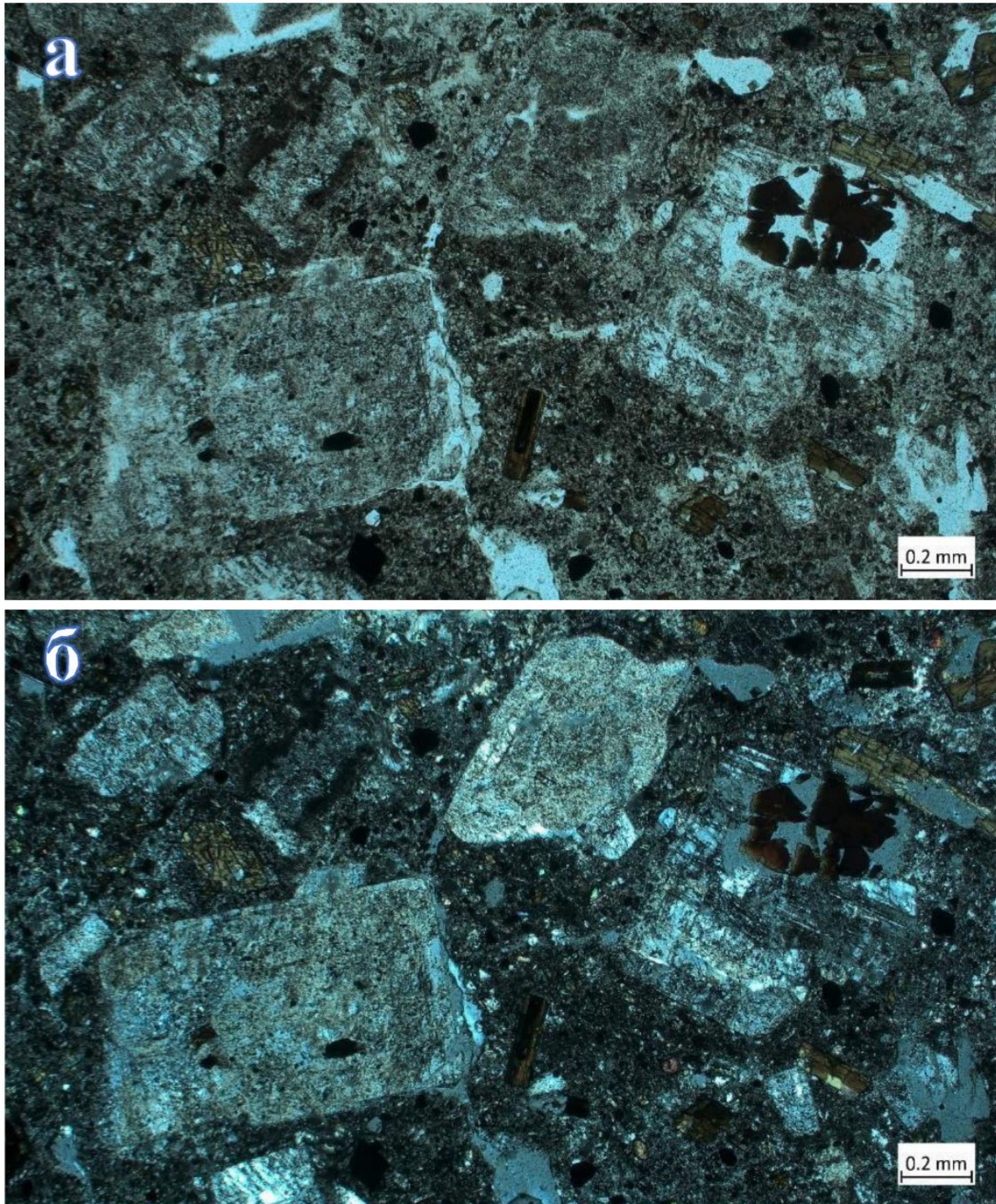
Узорак 3 (723.20-723.25 m)



Слика 3.5. *Макроскопски изглед узорка 3*

Узорак представља светло сиви крупнозрни кохерентни андезит изразите порфирске структуре и масивне текстуре. У узорку доминирају фенокристали плагиокласа над подређеним и ситнијим фенокристалима хорнбленде.

Посматрањем препарата потврђена је порфирска холокристаласта структура као и масивне текстура. Плагиокласи су претежно свежи до слабо аргилитисани, зонарни и доминирају у препарату са величином од 0.2-4 mm. Хорнбленде су знатно мање заступљене, величине су 0.2-2 mm и претежно свеже. Ретко се запажају мањи фенокристали биотита величине 0.2-1 mm који су потпуно неизмењени. Спорадично се појављују мала зрна магнетита. Узорак се такође може окарактерисати као свеж до благо аргилитисан.



Слика 3.6. Микроскопски изглед узорка 3; благо аргилитисани плагиокласи у андезиту; а-ррl, б-хрl

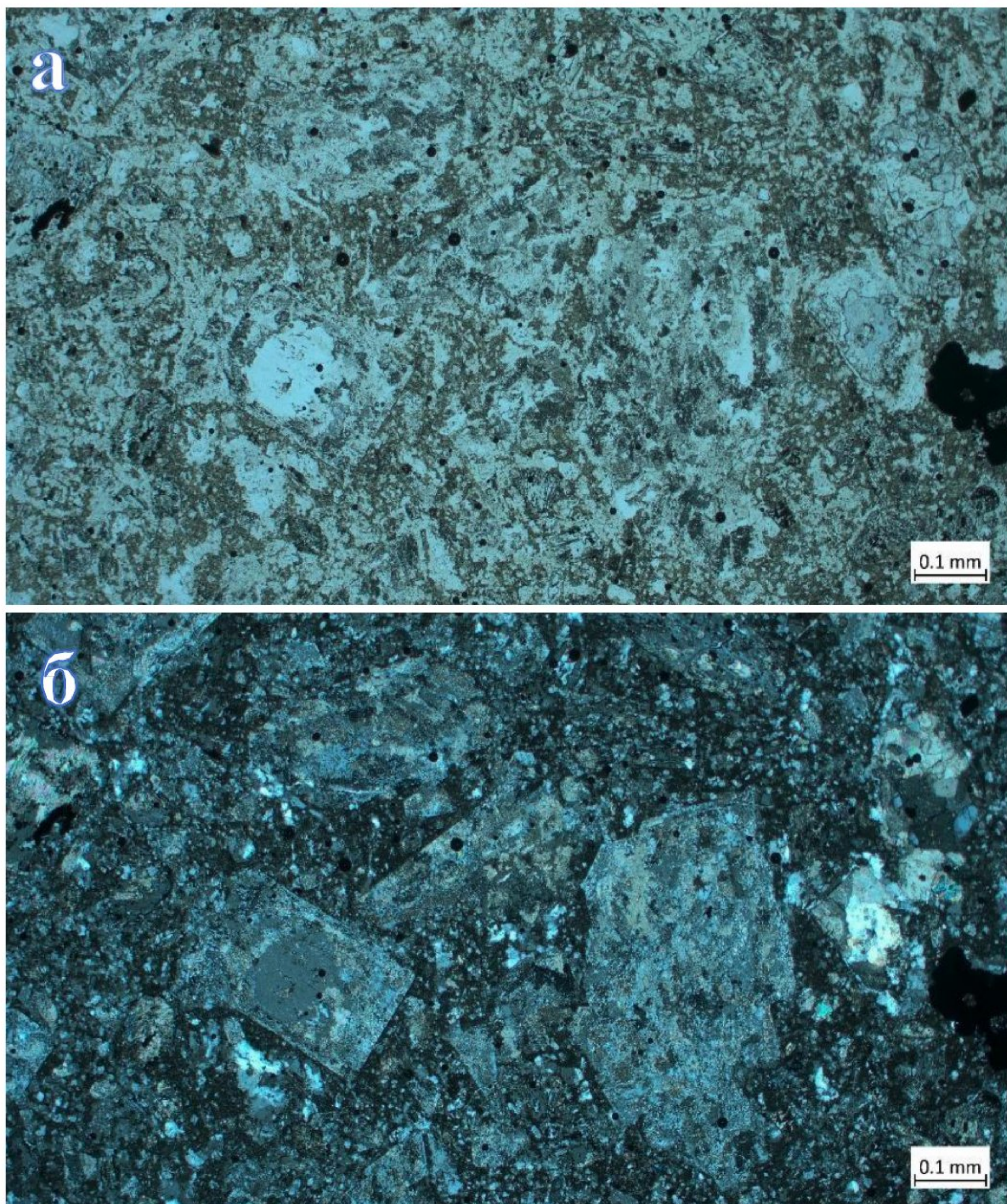
Узорак 4 (883.30-883.40 m)



Слика 3.7. *Макроскопски изглед узорка 4*

Макроскопски узорак сличан претходном, нешто тамније боје, изразито порфирске структуре са доминантним фенокристалима плагиокласа и са уочљивим почетком развитка хидротермалних промена.

Микроскопски је узорак такође сличан претходном, што говори у прилог да је истог порекла. Структура је порфирска, холокристаласта, док је текстура масивна. Плагиокласи величине 0.2-4 mm су аргилитисани, благо серицитисани и калцитисани, док је примарна форма потпуно очувана. Хорнбленде нешто мањих димензија (0.2-3 mm) су импрегнисане пиритом, калцитисане и ређе хлоритисане. Ређи су фенокристали биотита који је у највећој мери испран. Основна маса је нешто крупније кристалисала и врло слабо силификована. Спорадично се појављују мања зрна акцесорног апатита. Степен хидротермалних промена је слаб до средњи, док се тип може окарактерисати као аргилитизација.



Слика 3.8. Микроскопски изглед узорка 4; аргилитисани, серицитисани и калцитисани плагиокласи; а-ррl, б-хрl

Узорак 5 (1181.40-1181.45 m)

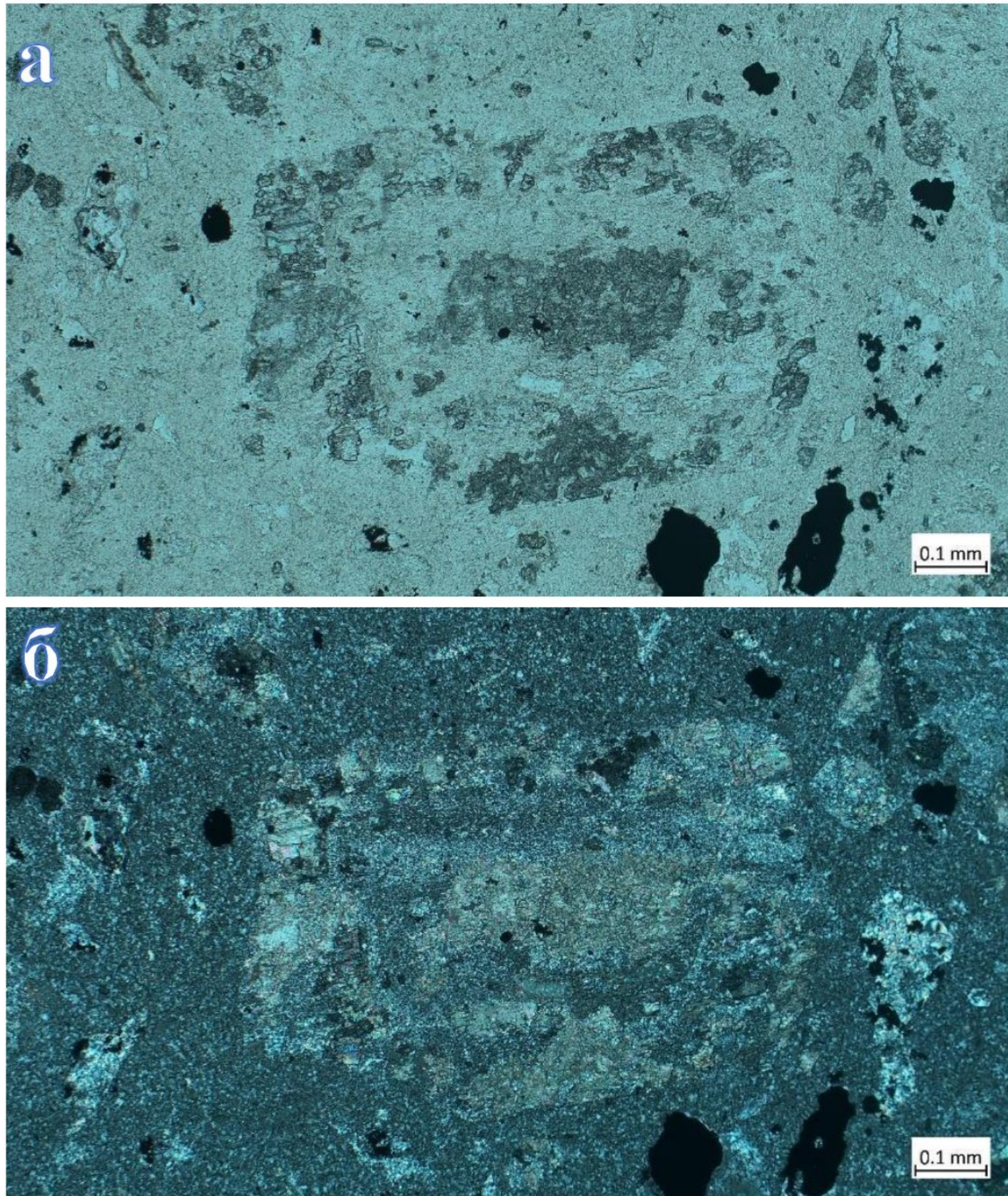


Слика 3.9. *Макроскопски изглед узорка 5*

Узорак је видно другачијих особина од претходних. Боја је светло сива до крем, са видљивим јачим степеном хидротермалних промена. Примарна порфирска структура је још увек препознатљива али је у значајној мери деструирана. У погледу састава такође доминирају фенокристали плагиокласа. Видљива су ситна зрна сулфидних минерала (пирита).

Посматрањем препарата јасно се уочава да се ради о андезиту порфирске структуре и масивне текстуре. Фенокристали плагиокласа 0.1-3 mm су потпуно замењени серицитом и донекле калцитом и врло ретко епидотом. Хорнбленде величине 0.2-2 mm су потпуно импрегнисане и делимично замењене металичном фазом (пиритом). Пирит се појављује у виду ситних импрегнација. Ретко се запажају мања зрна кварца неправилног облика која треба повезати са слабом силификацијом. Ређе се запажају танке жилице

калцита. Основна маса је врло финозрна и изграђена у највећој мери од микролита серицитисаног плагиокласа. Ретко се појављује испран биотит димензија до 1 mm. Као и у претходном узорку, апатит се налази у виду врло ситних зрна и нагомилања. Степен хидротермалних промена је јачи и може се окарактерисати као серицитизација (QSP).



Слика 3.10. *Микроскопски изглед узорка 5; слабо очувана форма серицитисаног плагиокласа; а-ррl, б-хрl*

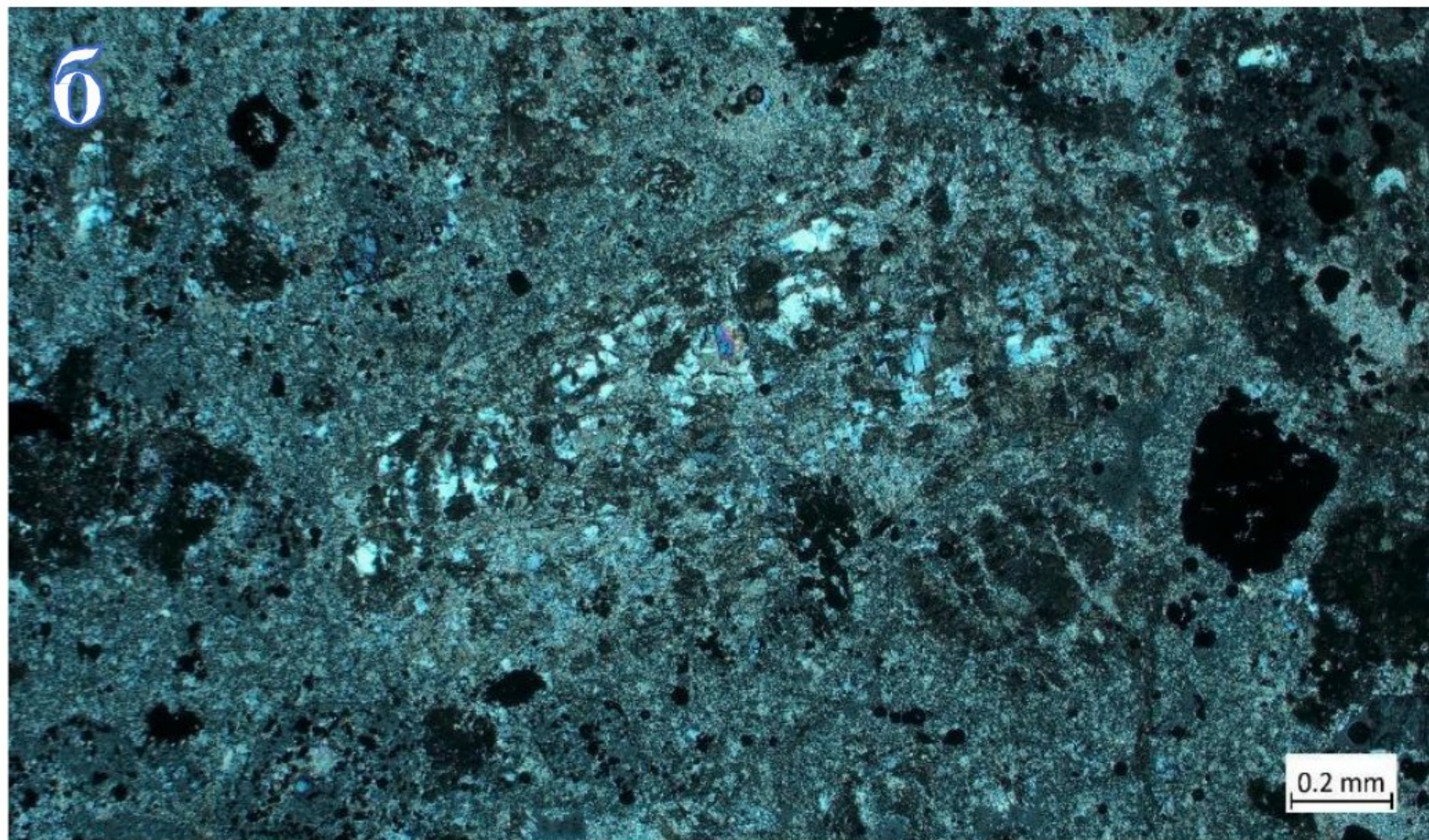
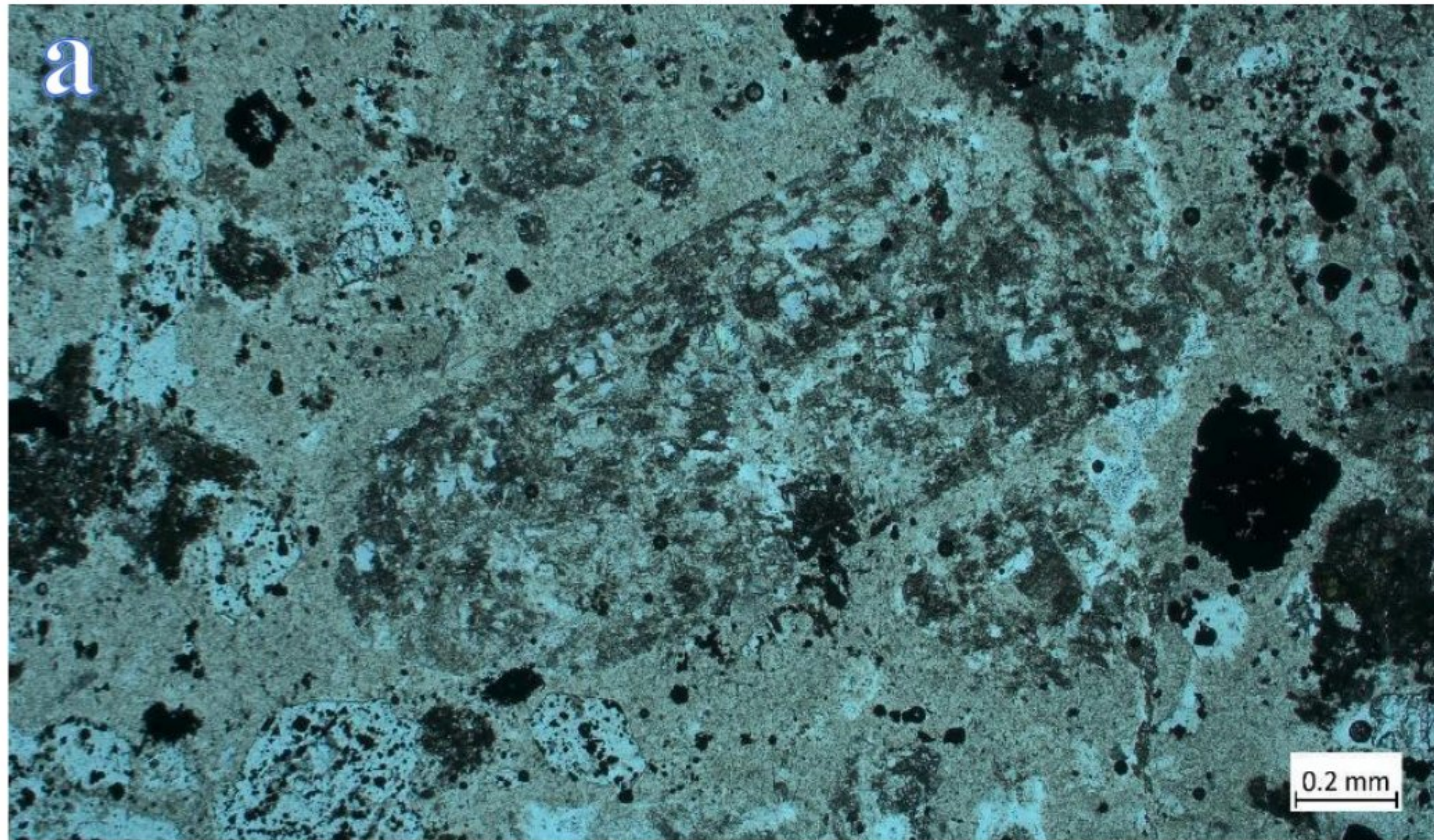
Узорак 6 (1243.10-1243.15 m)



Слика 3.11. *Макроскопски изглед узорка 6*

Макроскопски узорак сиве до зеленкасте боје, са очуваном порфирском структуром и масивном до благо флуидалном текстуром. Фенокристали плагиокласа доминирају, мада је јасно да је њихов примарни састав измењен.

Препарат потврђује да се ради о јако алтерисаном андезиту порфирске структуре и масивне до флуидалне текстуре. Фенокристали плагиокласа 0.2-3 mm потпуно су замењени серицитом, калцитом и епидотом, док је кристална форма плагиокласа добро очувана. Видљиви су ретки фенокристали 1-3 mm испраног биотита. Фенокристали хорнбленде 0.2-4 mm су потпуно импрегнисани са издвојеном металичном фазом (пиритом), ређе хлоритисани. Апатит се као споредни минерал појављује ретко и то у димензијама до 1 mm. Хидротермална промена која је захватила узорак се може окарактерисати као пропилитизација, док је њен интензитет висок до средњи.



Слика 3.11. Микроскопски изглед узорка б; интензивно серицитисани и епидотисани плагиокласи; а-ррl, б-хрl

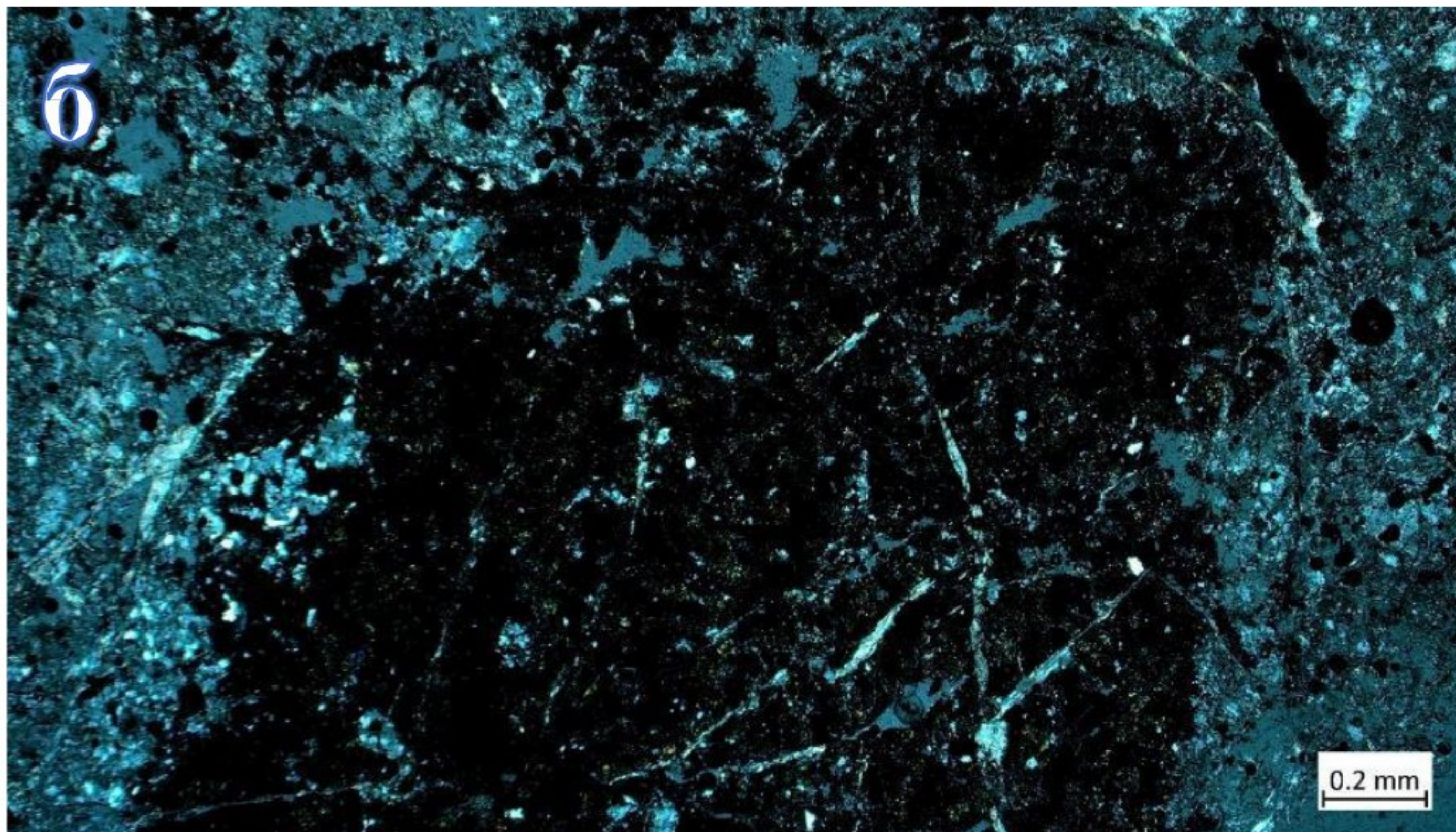
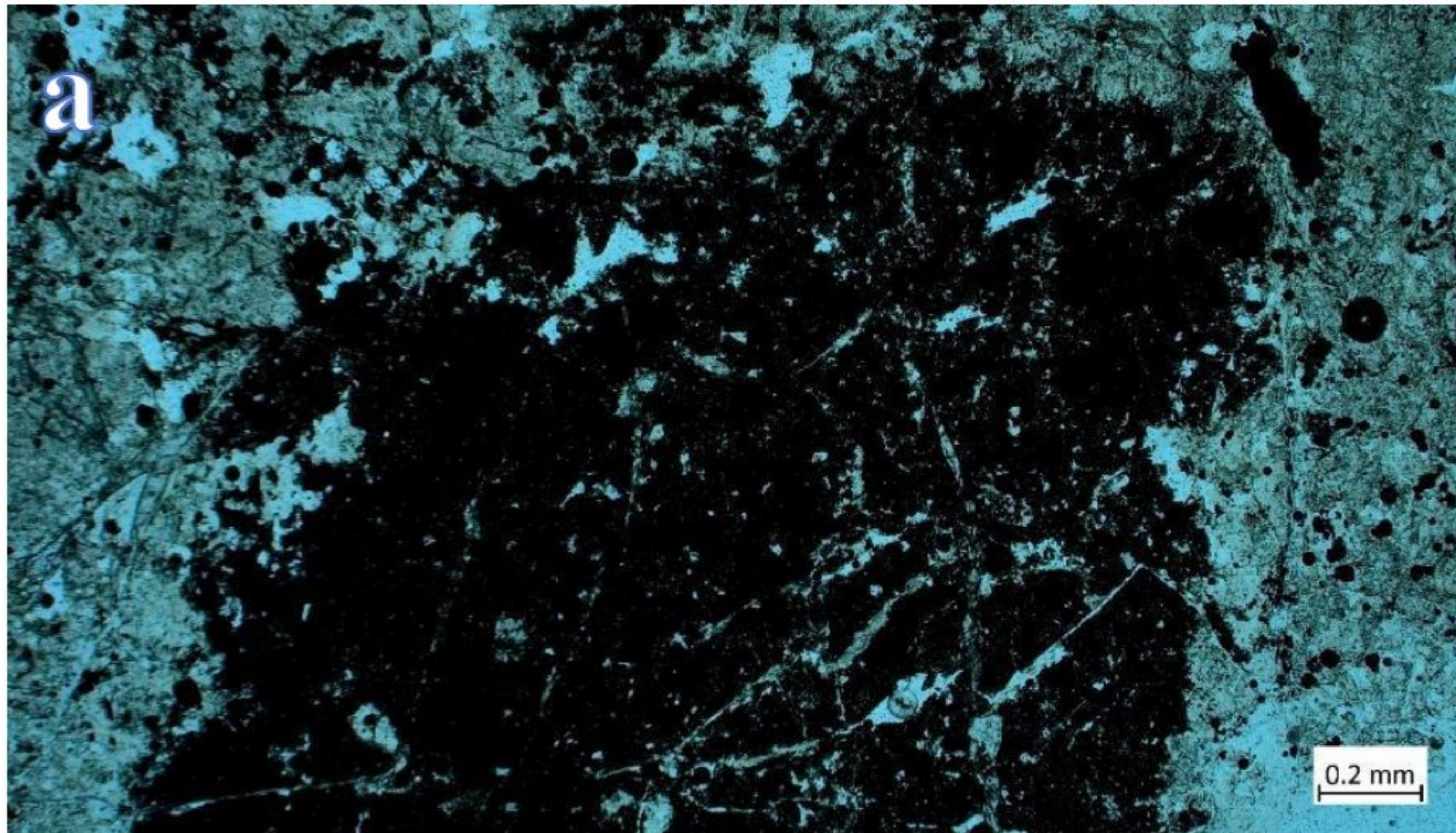
Узорак 7 (1469.0-1469.10 m)



Слика 3.12. *Макроскопски изглед узорка 7*

Макроскопски посматрано, тешко је дефинисати врсту стене коју представља узорак. Светло браон до зеленкасте је боје, без јасно дефинисане структуре и текстуре. Узорак је релативно трошан и има повећан садржај глиновитих минерала по системима пукотина.

Посматрањем препарата, постаје јасније да узорак представља интензивно деформисан и могуће катаклазиран андезит. Примарна порфирска структура у великој мери је маскирана накнадном деформацијом али се виде очувани фенокристали плагиокласа који су величине 0.1-3 mm, и који су у великој мери су аргилитисани и замењени епидотом (делимично до потпуно). Ретки реликти мафичних минерала (хорнбленде) су потпуно импрегнисани металичним минералима (пиритом). Врло су честа већа нагомилања епидота (и преко 5 mm), мада се поред њих запажају и мања зрна. Пирит се појављују у виду импрегнација различитих величина. Врло значајан садржај у препарату имају жилице и жице калцита дебљине 0.1-1 mm. Као споредан минерал, чест је апатит у виду зрна различитих димензија. Стена се може дефинисати као јако епидотисани катаклазирани андезит.

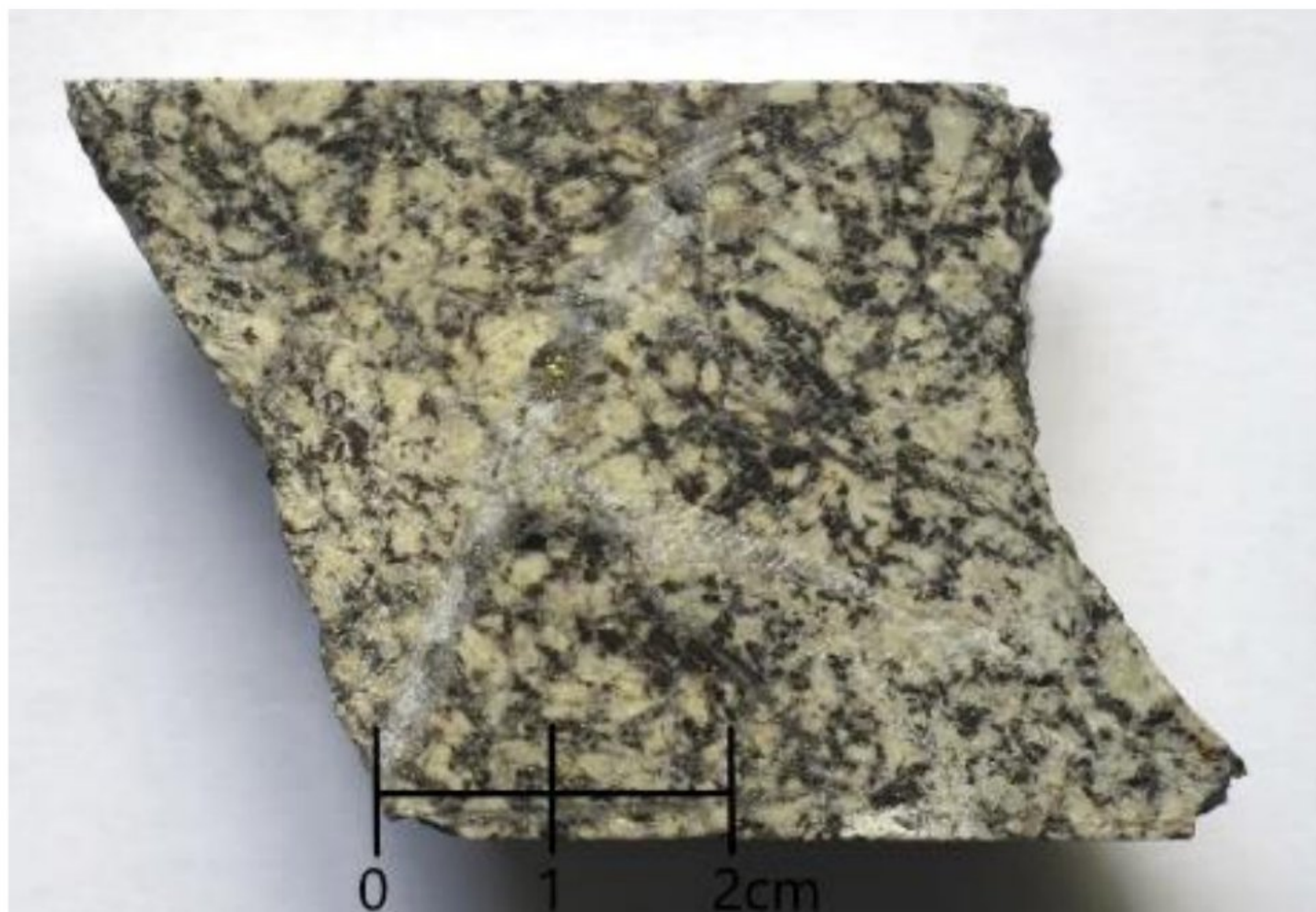


Слика 3.12. Микроскопски изглед узорка 7; велико нагомилање епидота у јако катаклазираној маси ; а-ррl, б-хрl

Андезит порфир – Узорци 8-15

Анализа андезит порфира обухватила је седам узорака који међу собом петрографски показују бројне сличности, али и разлике. Сви узорци су претрпели интензивне хидротермалне промене и неретко су носиоци порфирског типа минерализације.

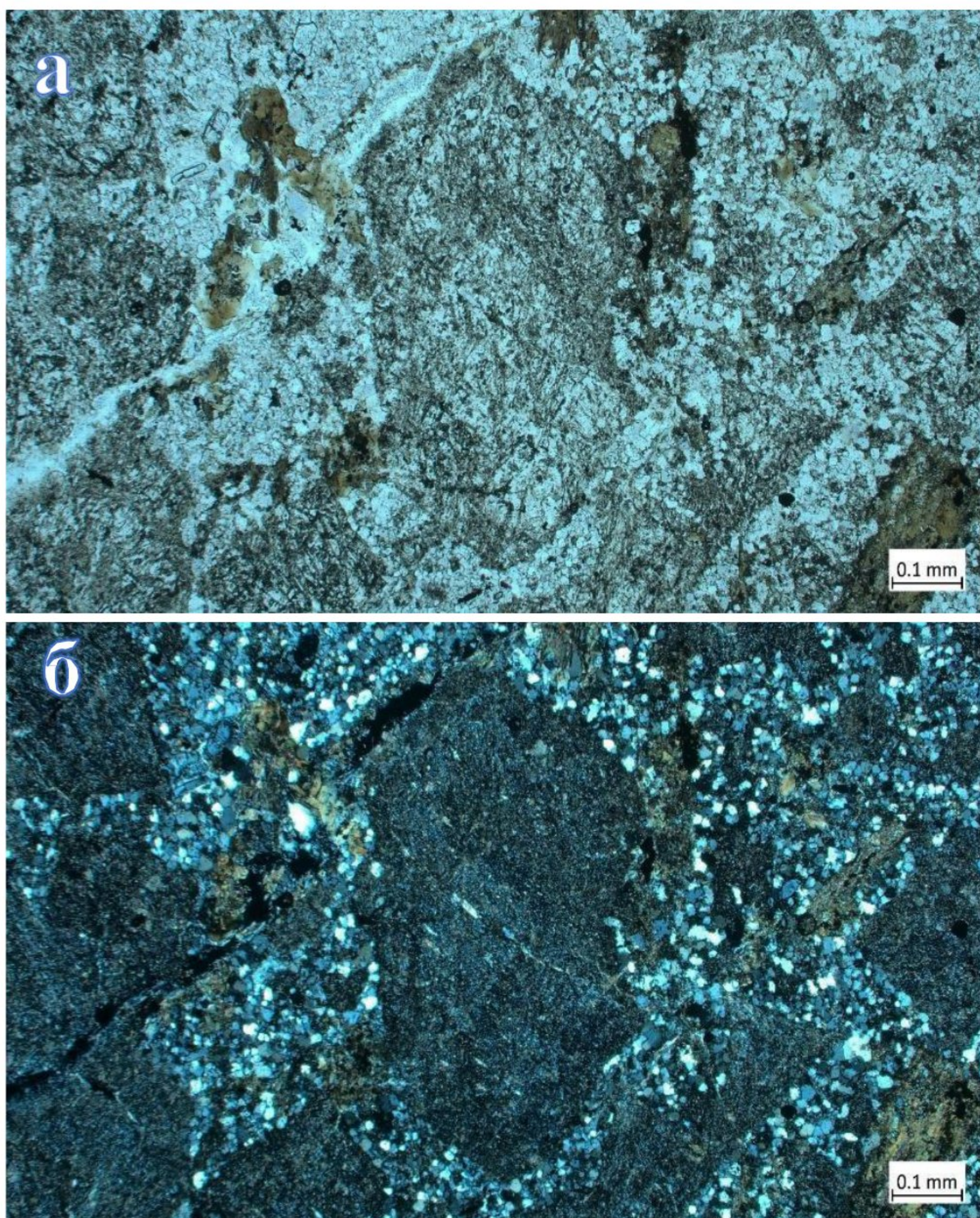
Узорак 8 (1581.0-1581.05 m)



Слика 3.13. *Макроскопски изглед узорка 8*

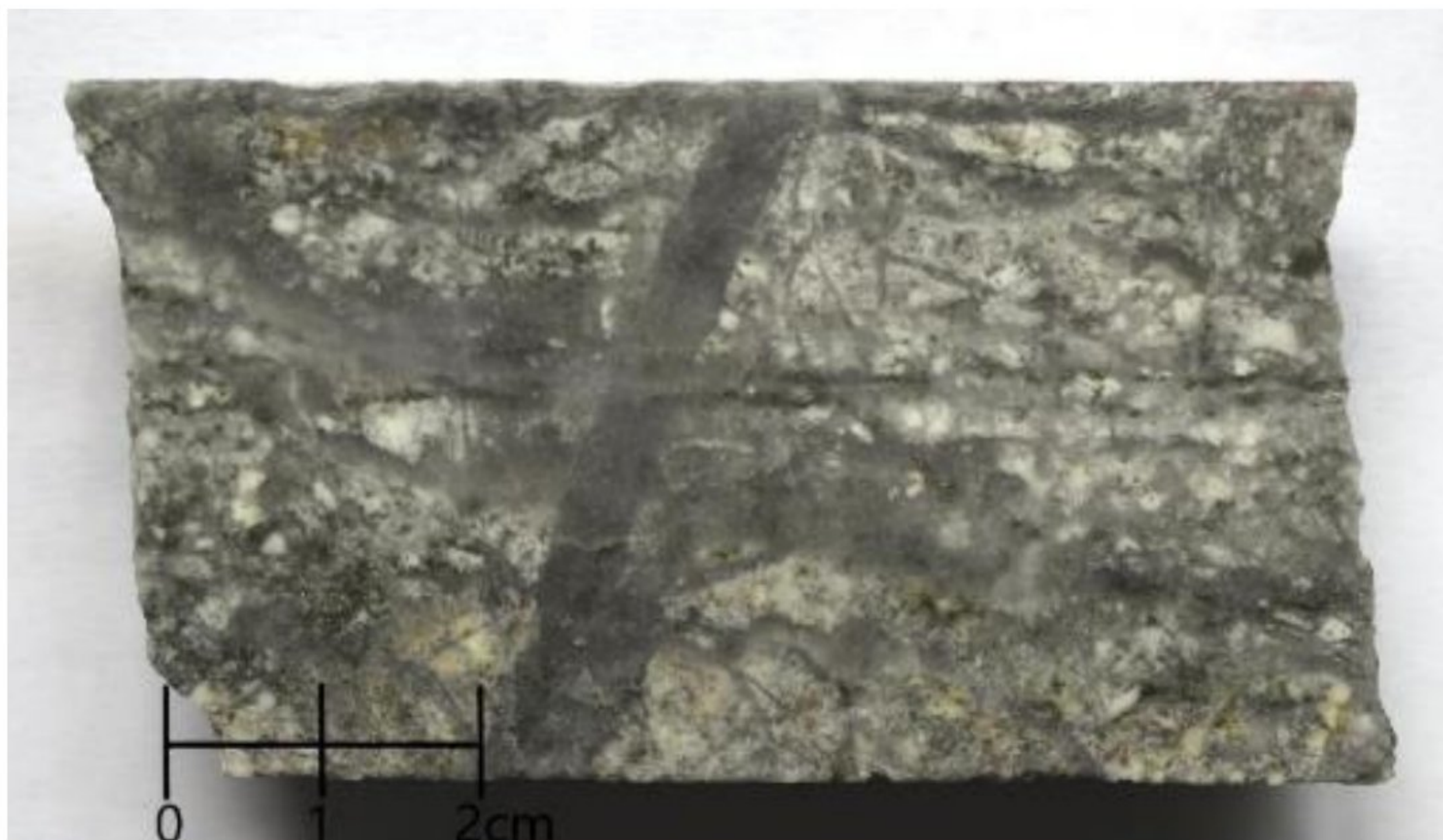
Узорак је светлије боје, наизглед потпуно другачији него претходни, при чему је структура такође порфирска, врло густо пакована. У погледу садржаја, чини се да плагиокласи доминирају у односу на мафичне минерале.

Препарат представља густо пакован андезит порфирске структуре и холокрystalасте основне масе. Плагиокласи величине 0.5-4 mm потпуно су замењени серицитом, глином и калцитом(анхидритом?), док је првобитна форма добро очувана. Зрна првобитне хорбленде величине 0.5-2 mm потпуно су замењена необиотитом. Ређе се појављују и зрна примарног биотита величине 1-3 mm. Основна маса је потпуно силификована (доминира ситнозрни кварц). Стену пресеца кварц-калцитна жица дебљине 5 mm. Металични минерали су знатно ређи. Честа су ситна правилна зрна апатита. Структура је полифирска. Стена се може дефинисати као биотитски андезит који је претрпео калијску метасоматозу, и накнадно супергену аргилитизацију.



Слика 3.14. Микроскопски изглед узорка 8; серицитисани и аргилитисани
плагикласи са ситним нагомилањима необиотита; а-ррl, б-хрl

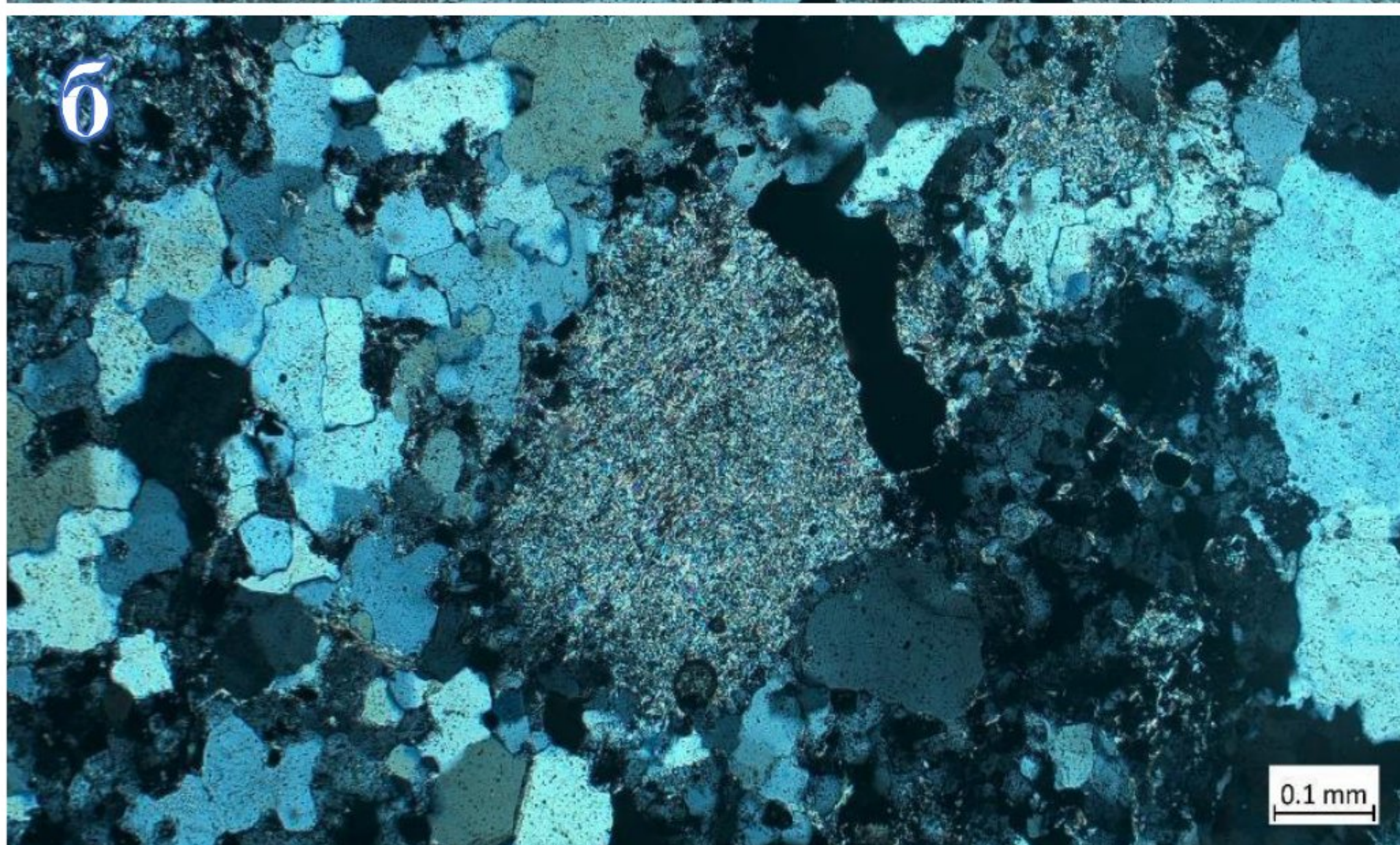
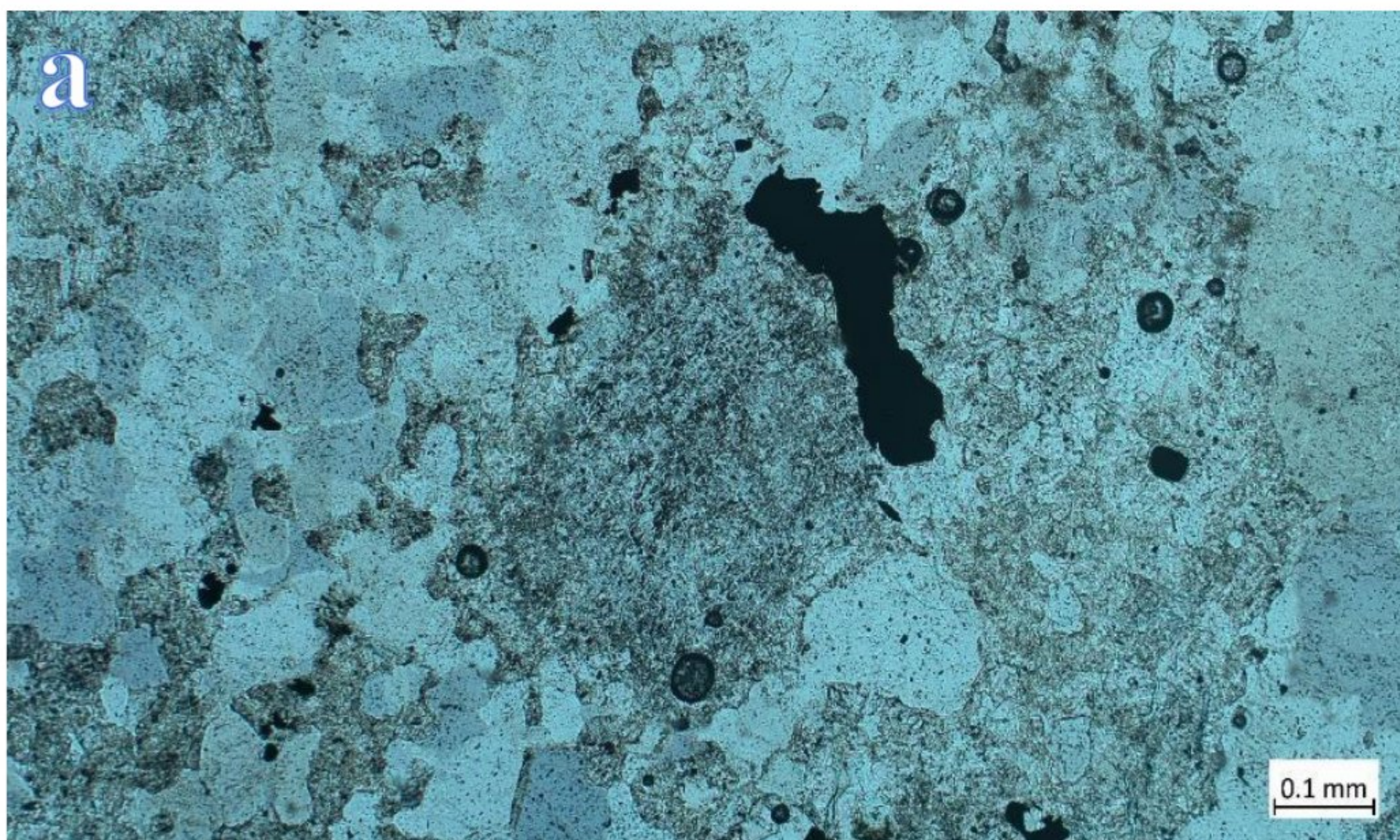
Узорак 9 (1623.40-1623.50 m)



Слика 3.15. *Макроскопски изглед узорка 9*

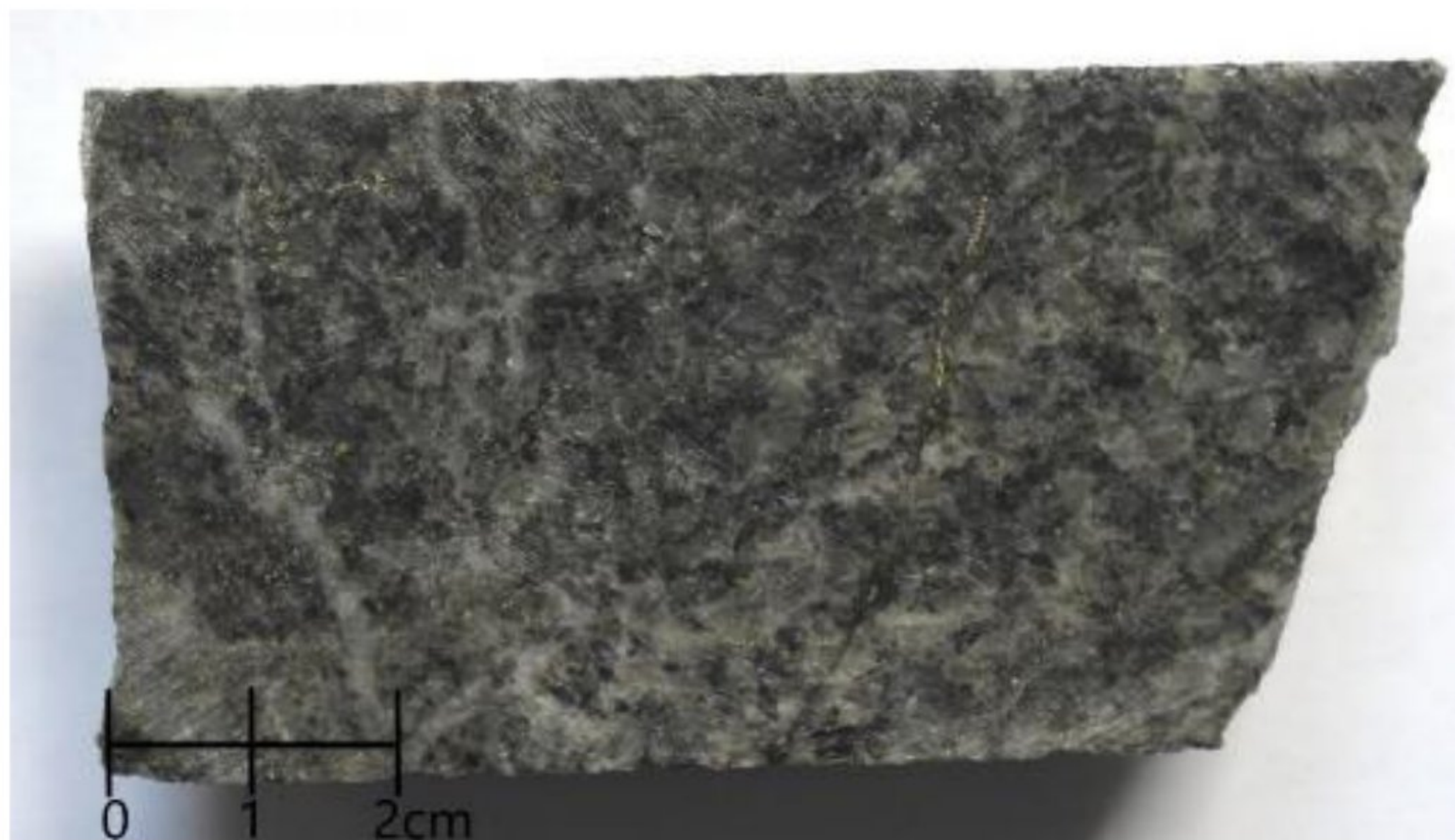
Узорак знатно светлији него претходни, представљен је андезитом у коме доминирају фенокристали плагиокласа док је мафична фаза подређена. Кроз цео интервал којем узорак из бушотине припада добро је развијен штокверк кварцних жица.

Препарат представља изузетно јако силификован андезит прожет кварцним жицама. Плагиокласи величине 0.5-4 mm потпуно су замењени серицитом и врло ретко алунитом. Основна маса потпуно је замењена кварцом. Мафични минерали су потпуно импрегнисани и непрепознатљиви. Металични минерали су ретки, и чине око 3% вол. стене у нивоу препарата. Основна маса је у највећој мери изграђена од кварца и серицита са врло ретком појавом алунита, док је врло честа појава издвајања Fe скрама у њој. У препарату се запажа врло мали кристал доломита величине око 0.5 mm. Хидротермална промена која је захватила узорак је прелаз између серицитизације и напредне аргилитизације, праћен силификацијом.



Слика 3.16. Микроскопски изглед узорка 9; интензивно силификована основна маса са појавом алунита; а-ррl, б-хрl

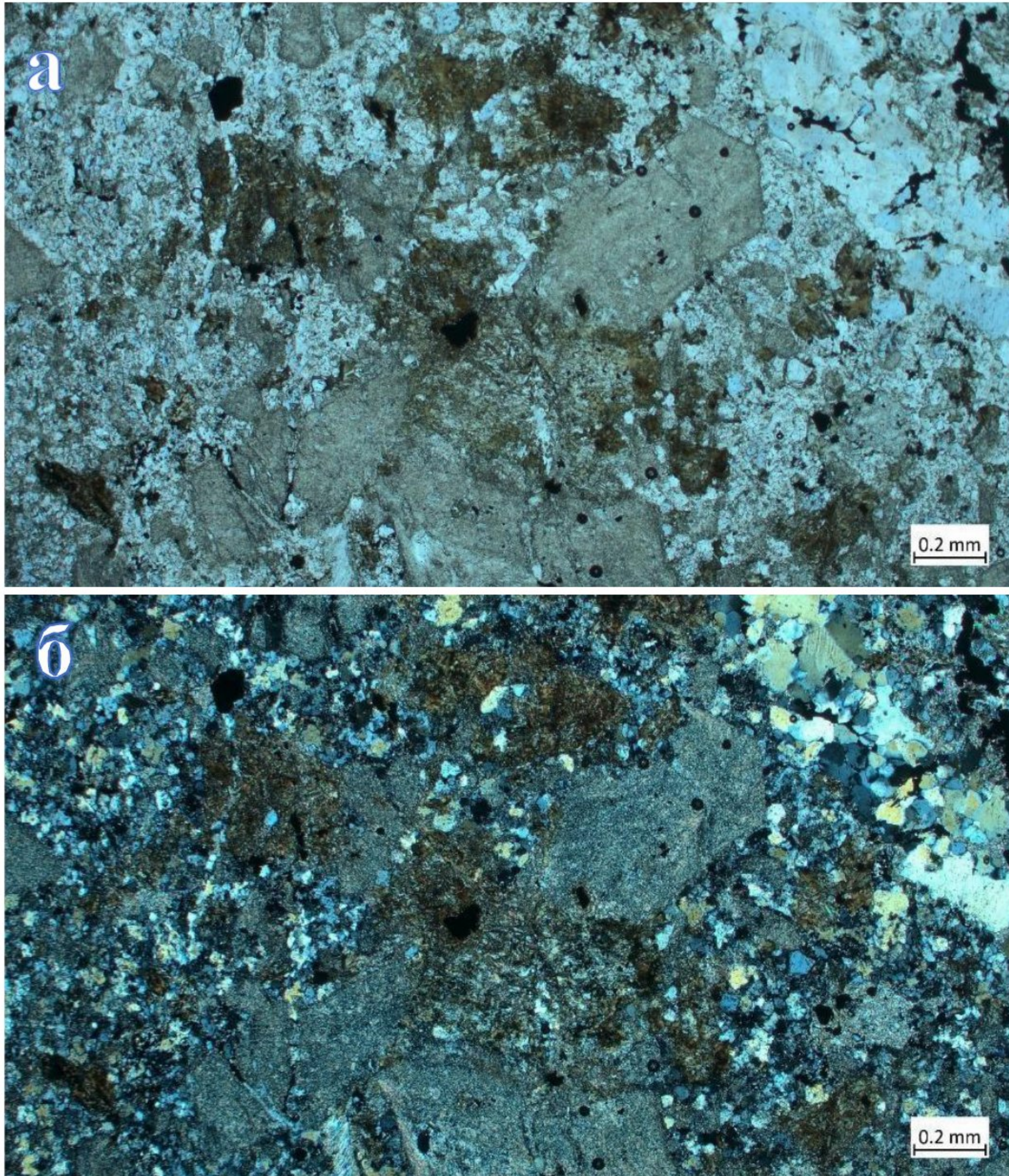
Узорак 10 (1643.70-1643.80 m)



Слика 3.17. *Макроскопски изглед узорка 10*

Макроскопски узорак је знатно тамнији него претходни. Структура је порфирска, густо пакована, (чини се готово зрнастом), при чему доминирају мафични минерали над плагиокласом. Текстура је хомогена, масивна.

Микроскопским посматрањем лакше се уочавају како сличности, тако и разлике у односу на претходни узорак. Стена се може дефинисати као хорнбленда-биотит андезит порфирске структуре и холокристаласте основне масе. Плагиокласи величине 0.5-4 mm потпуно су аргилитисани и серицитисани. Хорнбленда и биотит су нешто мањих димензија и мање заступљени од кристала плагиокласа. Хорнбленде су потпуно замењене нео- биотитом и ређе импрегнисане металичном фазом. Примарни биотит углавном је очувао оригиналну форму. Основна маса је у великој мери изграђена од кварца, серицита и биотита. Пирит је нешто више заступљен (5%) док се запажа и тања жилица дебљине 2 mm. Алтерација се може дефинисати као калијска метасоматоза, асоцирана са накнадном аргилитизацијом.



Слика 3.18. *Миркоскопски изглед узорка 10; аргилитисани плагиокласи са бројним нагомилањима необиотита; а-ррl, б-хрl*

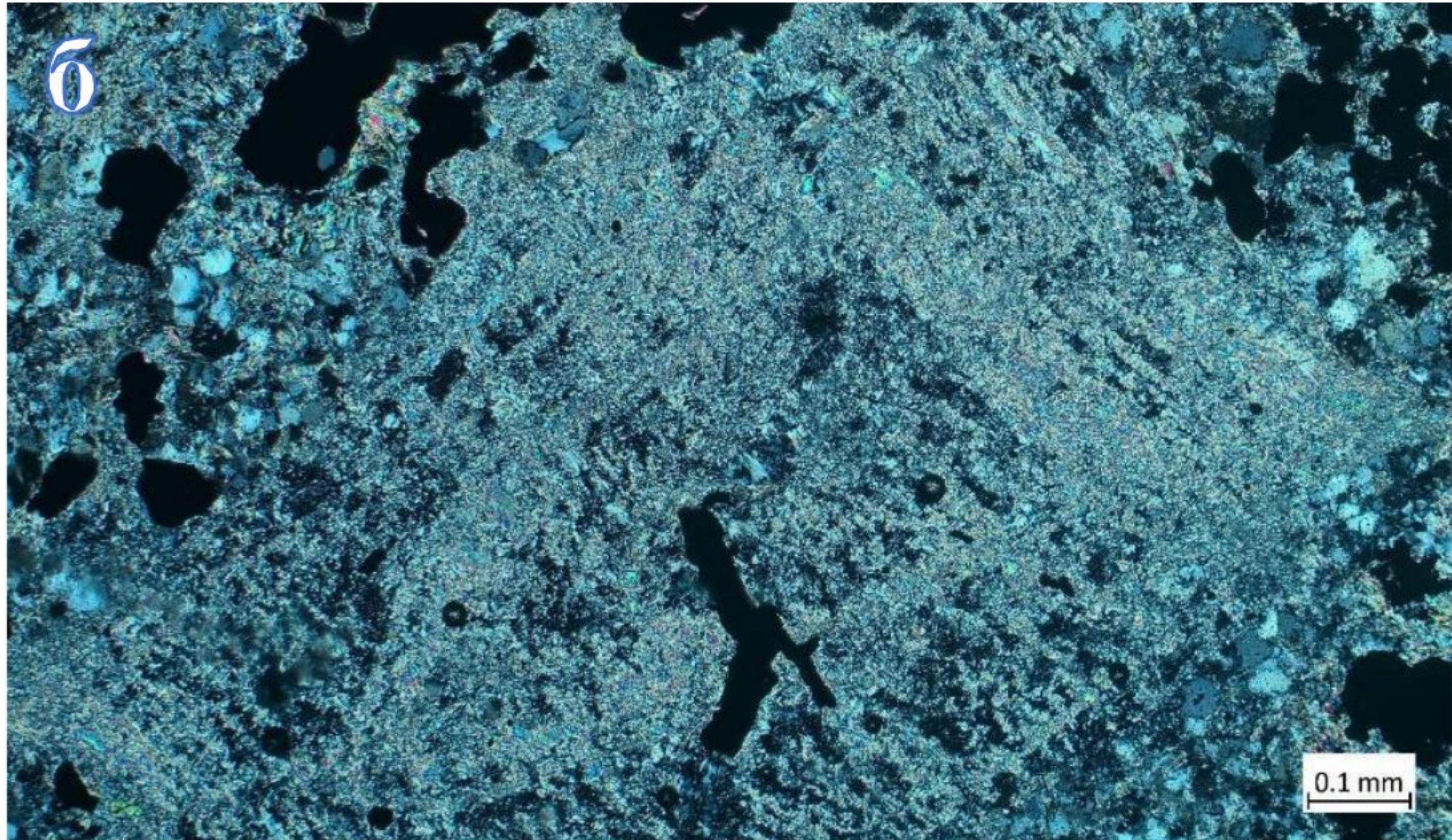
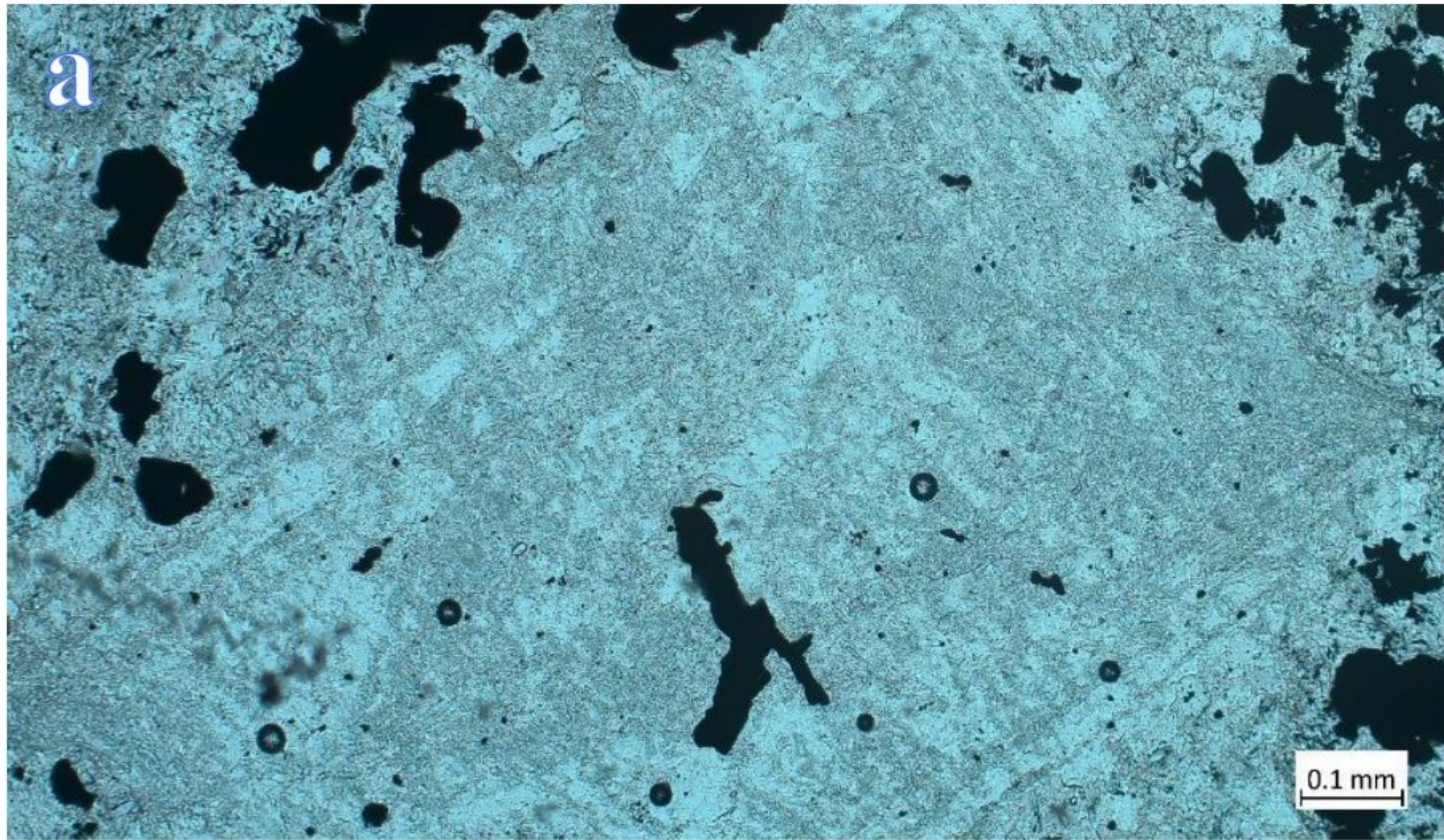
Узорак 11 (1678.70-1678.80 m)



Слика 3.19. *Макроскопски изглед узорка 11*

Макроскопски узорак је светло браон боје, порфирске структуре и флуидалне текстуре. Видљиви су плагиокласи који показују одређену усмереност, док се чини како мафични минерали доминирају, како у погледу броја фенокристала, тако и у основној маси. Кроз узорак пролази танка пиритска жица око које се види ореол (*енг. halo*).

Посматрањем препарата јасније је да се ради о биотитском-андезиту порфирске структуре, холокристаласте основне масе. Плагиокласи величине 0.5-4 mm су потпуно замењени серицитом. Биотит величине 0.5-4 mm је потпуно импрегнисан металичним минералима (пирит) или је интензивно испран. Хорнбленде су потпуно импрегнисане. Основна маса је кристаласта, јако силификована. Нешто је већи садржај пирита (5-10%). Врло је чест апатит као акцесорни минерал, и то поред уобичајено ситних кристала, и у формама већим од 1 mm. Хидротермална промена је серицитизација.



Слика 3.20. Микроскопски изглед узорка 11; потпуно серицитисани фенокристал плагиокласа; а-ррl, б-хрl

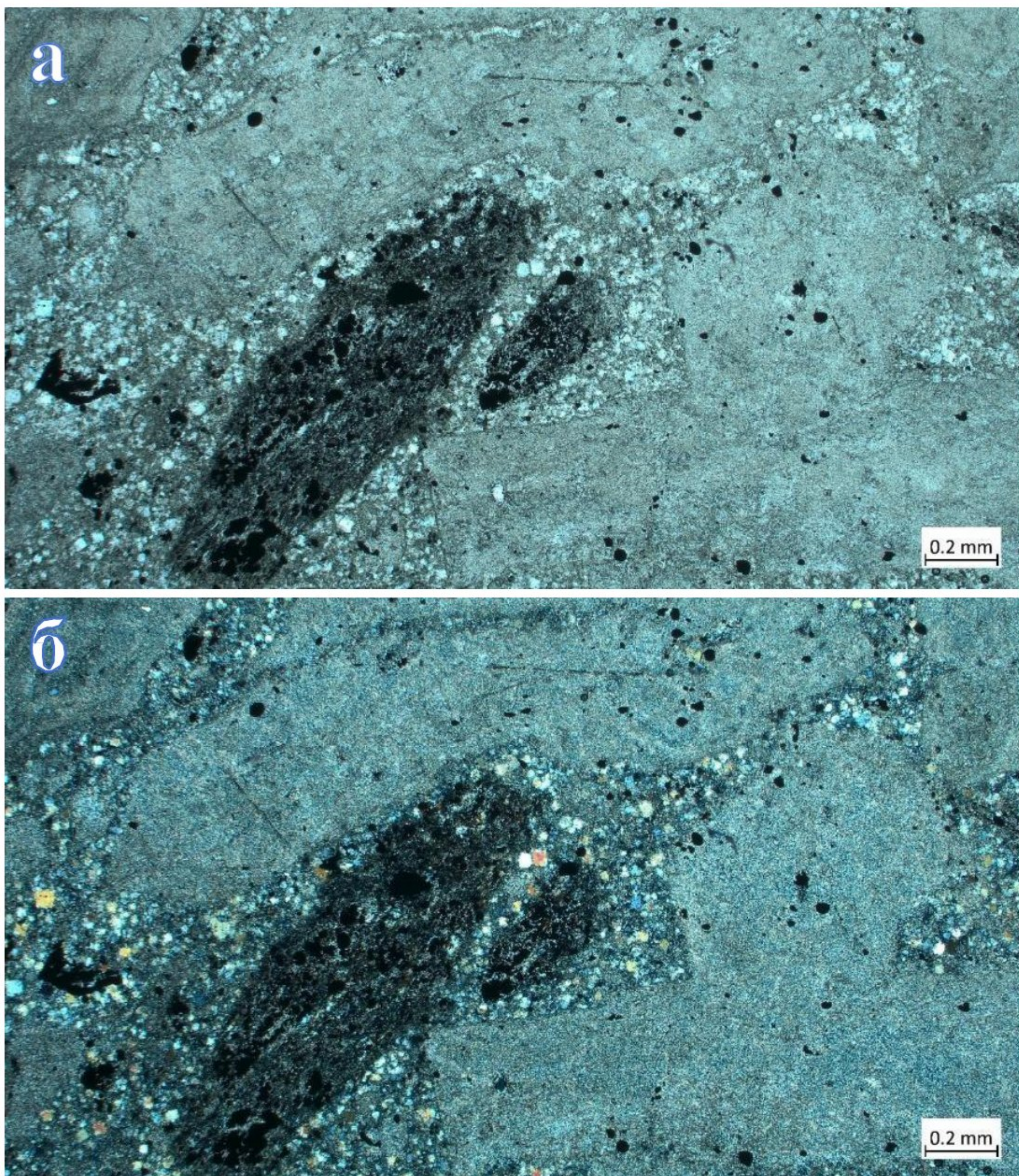
Узорак 12 (1706.40-1706.50 m)



Слика 3.21. *Макроскопски изглед узорка 12*

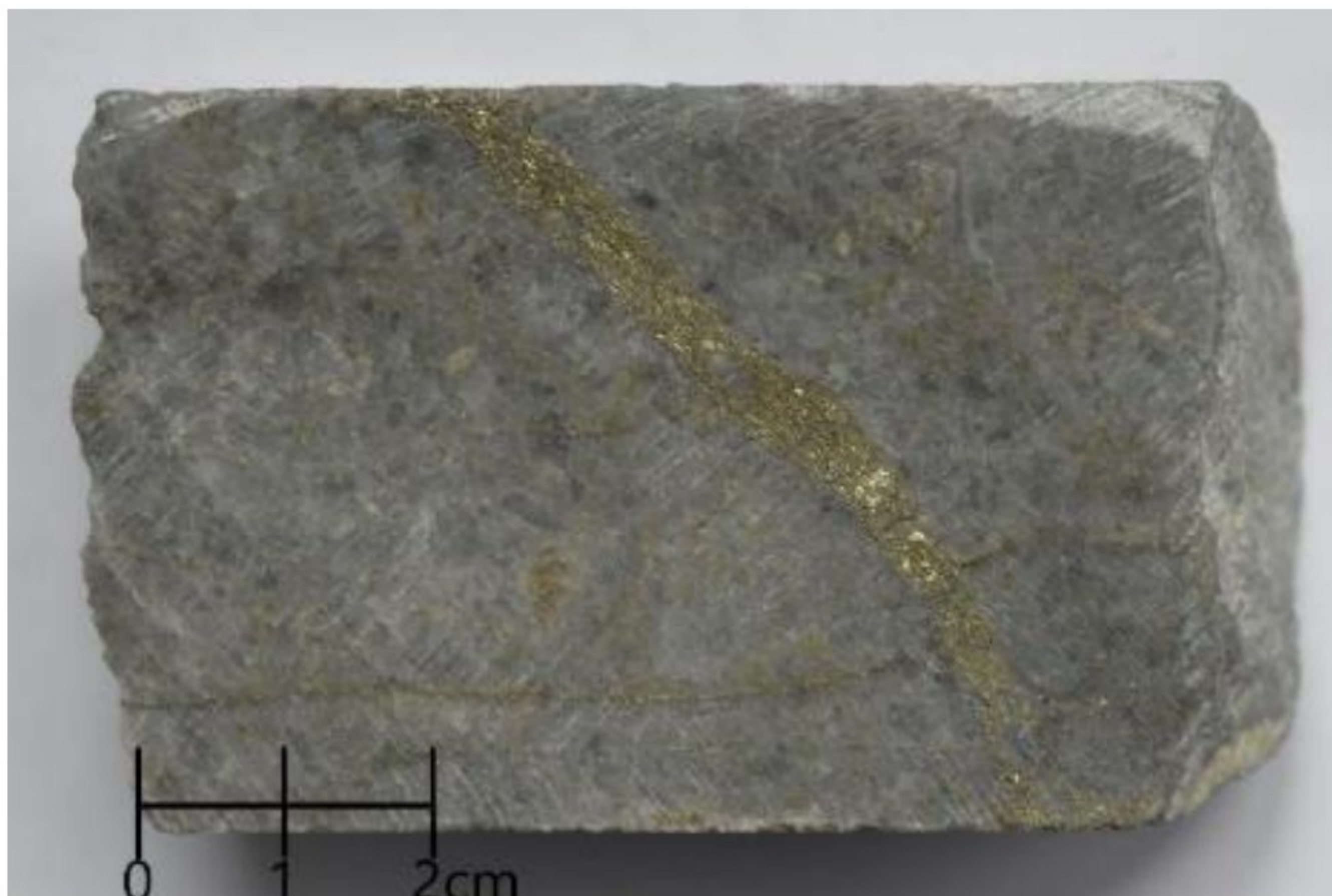
Узорак је сиви, интензивно хидротермално измењен андезит, још увек видљиве порфирске структуре. У погледу састава, запажају се реликти фенокрстала плагиокласа као и мафичних минерала, преко којих су честе импрегнације пирита.

Микроскопско посматрање потврђује да се ради о биотит-хорнбленда андезиту, порфирске структуре и масивне текстуре. Плагиокласи величине 0.5- 3 mm потпуно су серицитисани до аргилитисани, док су биотит и хорнбленда исте величине, потпуно испрани или импрегнисани пиритом. Основна маса је изграђена од кварца и серицита. Релативно су честе млађе жилице кварца дебљине 0.5-1.5 mm које неретко пресецају поједине фенокрстале биотита и плагиокласа. Запажају се зрна и кластери аксесорног апатита . Садржај пирита знатно је повећан (око 10%) док је начин појављивања углавном у виду импреганција различитих димензија. Врло су ретка ситна зрна хематита која ређе граде жилице. Хидротермална промена се може дефинисати као јака серицитизација (QSP), са делимичном накнадном аргилитизацијом.



Слика 3.22. Микроскопски изглед узорка 12; серицитисани фенокристали плагиокласа и потпуно импрегнисани фенокристали хорнбленде ; а-ррl, б-хрl

Узорак 13 (1736.20-1736.25 m)

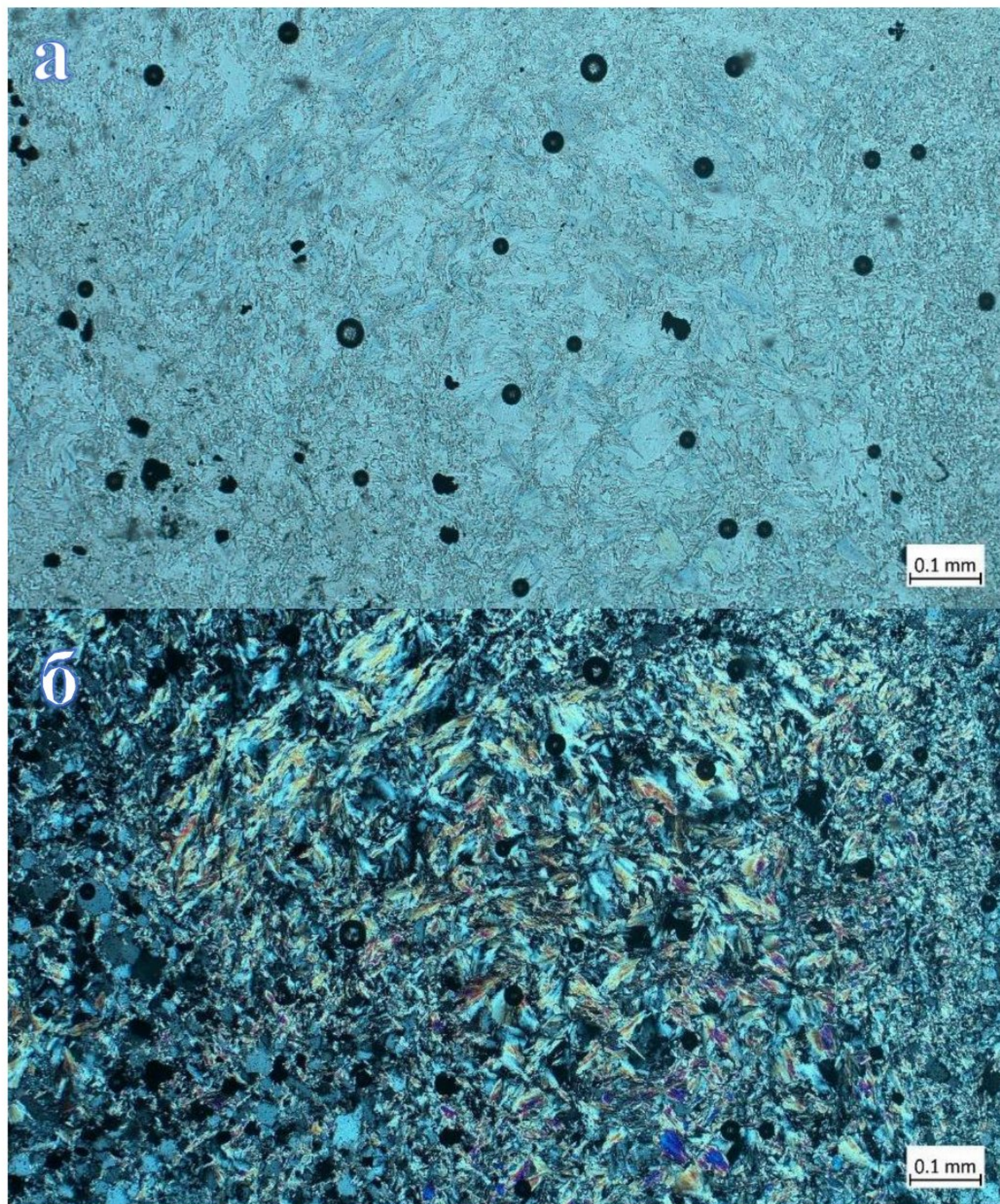


Слика 3.23. *Макроскопски изглед узорка 13*

Узорак визуелно подсећа на узорак 11, при чему је у овом случају боја сива. Такође се ради о јако хидротермално измењеном андезиту препознатљиве порфирске структуре и масивне до флуидалне текстуре. Садржај пирита знатно је већи и макроскопски се истиче пиритска жица дебљине 5 mm.

Микроскопски препарат такође представља андезит порфирске структуре и холокристаласте основне масе. Фенокристали плагиокласа такође доминирају, међутим интензитет алтерације је значајно виши па је форма фенокристала плагиокласа местимично потпуно изгубљена. Величина фенокристала је такође 0.5-3 mm. Основна маса је изграђена од ситнозрног кварца, серицита и алунита. Садржај пирита је знатно већи, јавља се у виду правилних и неправилних зрна 0.02-0.05 mm као и танких жилица. Примећују се реликти фенокристала хорнбленде величине 1-3 mm делимично замењени пиритом, магнетитом и врло финозрним хлоритом, као и ређи фенокристали испраног биотита сличних димензија. Поред тога појављују се нагомилања финозрног алунита лепезастих форми до 2mm.

Запажени су и ситни кристали 0.02-0.05 mm епидота. Хидротермална промена која је обухватила узорак је напредна аргилитизација.



Слика 3.24. Микроскопски изглед узорка 13; велико нагомилање алуниита праћено силификацијом; а-ррl, б-хрl

Узорак 14 (1753.40-1753.50 m)

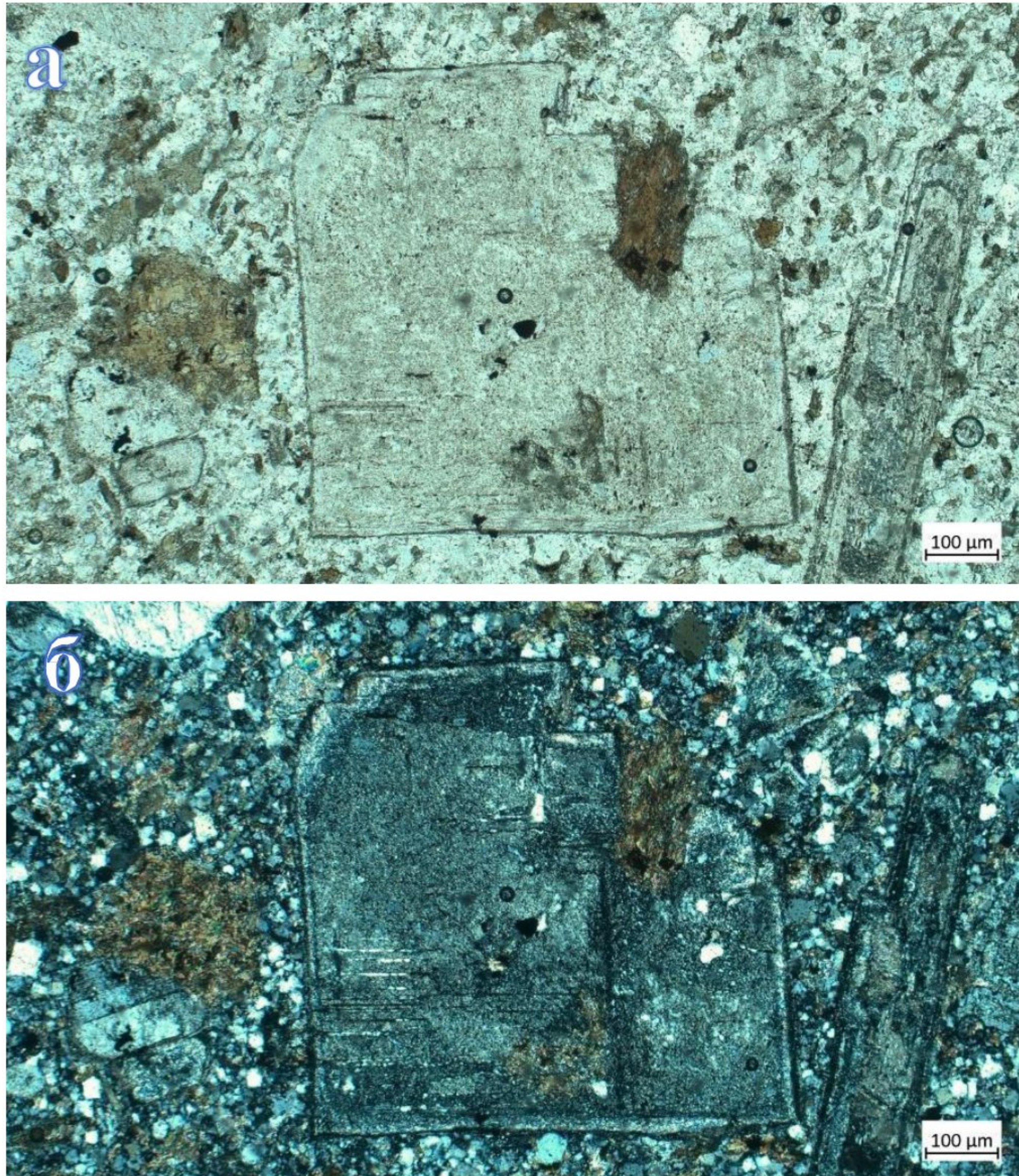


Слика 3.25. *Макроскопски изглед узорка 14*

Тамно сиви узорак андезита порфирске структуре и масивне до флуидалне текстуре. Фенокристали плагиокласа, потпуно очуваних форми, доминирају у узорку, док су мафични минерали замењени и стопљени са основном масом.

Препарат представља андезит порфирске структуре, холокристаласте основне масе и масивне до флуидалне текстуре. Фенокристали су представљени плагиокласима величине 1-4mm. Поједини кристали показују очувану форму са зонарношћу и ламеларним ближњењем док је већи број, углавном мањих зрна, потпуно замењен серицитом. Поред плагиокласа, у стени доминира биотит који се појављује у фенокристалима величине 1-2 mm. Често уклапа ситне кристале апатита и спорадично је хлоритисан. Поред примарног биотита који се појављује у виду фенокристала правилних форми, у препарату се запажа појава нео биотита који се појављује у формама врло ситних љуспи. Основна маса је изграђена од финозрног ситно кристаластог кварца, серицита и биотита. Поред петрогених минерала, у мањој мери заступљени су металични минерали (пирит), у виду мањих углавном неправилних зрна величине 0.5mm.

Узевши у обзир степен замењености плагиокласа серицитом, садржај кварца и пирита, као и појаву нео биотита, може се закључити да је стена претрпела калијску метасоматозу, делимично маркирану серицитизацијом.



Слика 3.26. Микроскопски изглед узорка 14; појава необитита преко примарног фенокрстала плагиокласа; а-ppl, б-xpl

Узорак 15 (1816.50-1816.55 m)

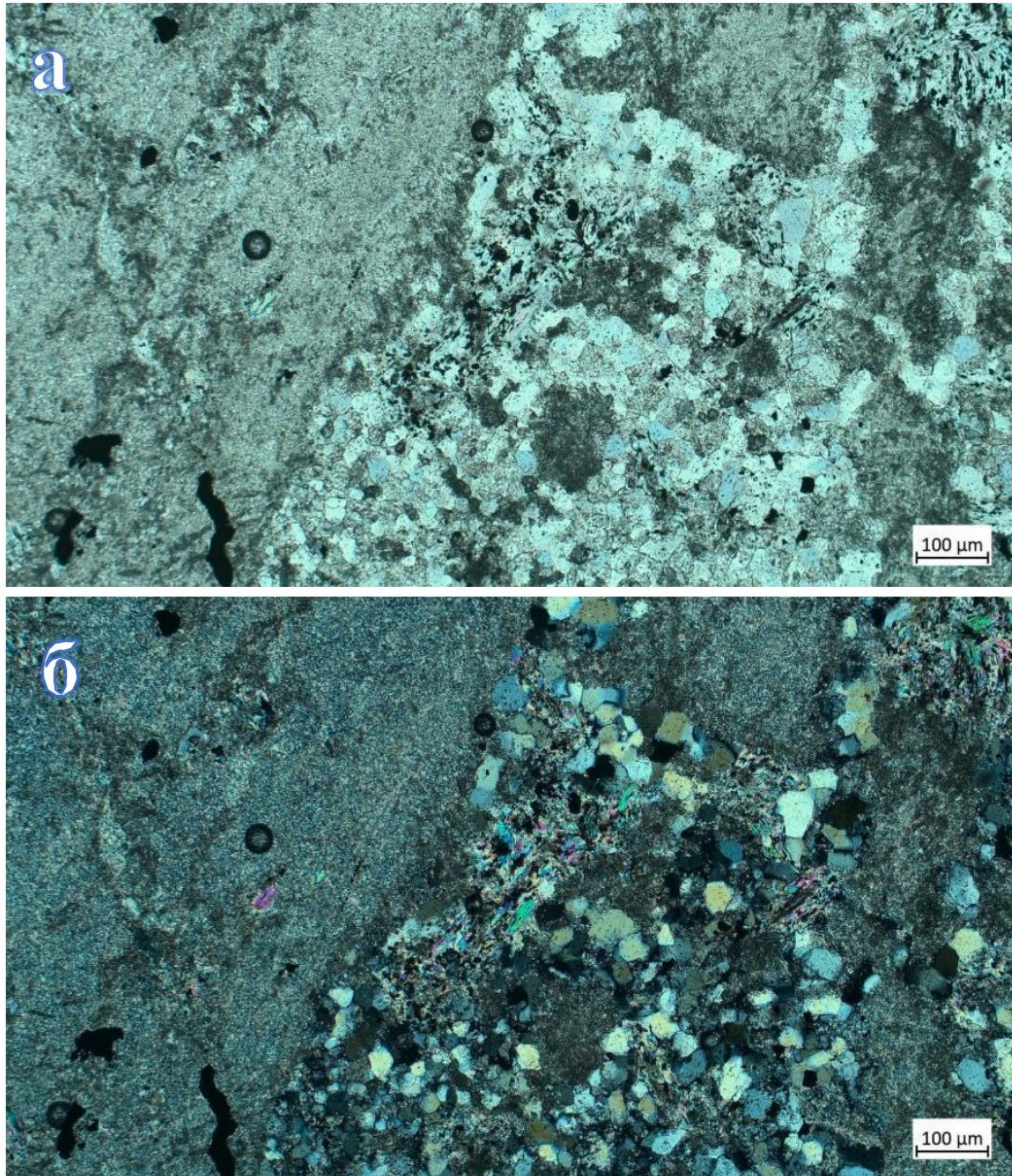


Слика 3.27. *Макроскопски изглед узорка 15*

Узорак светло браон до беж боје, интензивно хидротермално измењен са тешко препознатљивим примарним склопом. Препознају се фенокристали плагиокласа као и мафичних минерала, мада је тешко рећи да ли се ради о порфирској или зрнастој структури.

Препарат представља андезит порфирске структуре, холокристаласте основне масе, при чему су фенокристали густо паковани и доминирају. Фенокристали плагиокласа величине 0.5-3 mm потпуно су замењени серицитом и минералима глине. Форма примарних фенокристала је очувана мада су потпуно измењени. Пирит је заступљен са око 3% и представљен је малим нагомилањима и жилицама. Поред плагиокаласа, врло је чест тзв испрани биотит димензија 0.2-2 mm, док је импрегнисана хорнбленда знатно ређа. У основниј маси релативно је чест ситнозрни кварц.

Стена је претрепела јаку серицитизацију и аргилитизацију.



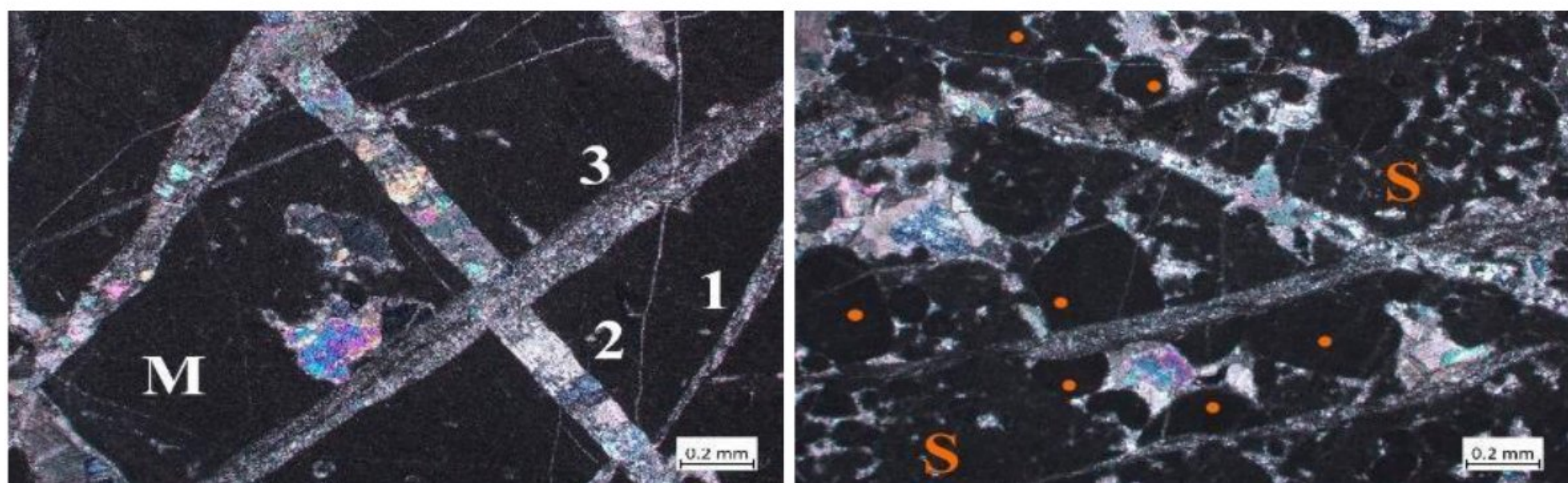
Слика 3.28. *Микроскопски изглед узорка 15; испрани кристали биотита асоцирани са аргилитисаним плагиокласом; а-ррl, б-хрl*

Јединица названа „Кречњаци подине“ није обухваћена овом студијом, првенствено из разлога потпуног одсуства хидротермалних промена, али и из разлога што је била у фокусу интерне биостратиграфске студије професора Небојше Васића, која је имала за циљ датирање овог члана. Том приликом анализирани су узорци из више бушотина у оквиру истражног простора, при чему је закључено да се јединица може сместити у

временски оквир беријас-валендина (145.0-132.6 Ма). Узорак из бушотине која је обрађена овим радом је дефинисан као кречњак са микритском и интраспаритском микрофацијом.



Слика 3.29. *Макроскопски изглед узорка кречњака подине*



Слика 3.30. *Микроскопски изглед узорка кречњака подине; xpl*

4. ДИСКУСИЈА

Непосредном анализом петнаест узорака из изабране бушотине, утврђене су хидротермалне промене (алтерације) које прате њене стратиграфске чланове. Интензитет алтерација прогресивно се повећава са порастом дубине.

Утврђено је да су прва два, односно три стратиграфска члана, тј представници формација Оштрељ, Метовница и горњих андезита, у погледу хидротермалних промена свежи до слабо супергено алтерисани, као и да не носе минерализацију.

Јединица доњих андезита показује класично развиће алтерација које се сусреће у ободним зонама порфирских лежишта. Постепена аргилитизација узорака до дубине од око 1000 m, прелази у серицитизацију и пропицитизацију. Ове околорудне промене маркирају дисталне делове порфира, који иако ретко минерализовани, представљају добру индикацију потенцијалне минерализације у непосредној близини. До ових промена довели су кисели флуиди (pH ~ 5-6) чије температуре су биле од око 240-250°C до 300°C, што су минималне температуре потребне за образовање серицита и епидота (Corbett and Leach, 1998; Reyes, 1990). Горња температурна граница хидротермалних флуида дефинисана је присуством хлорита у зони пропицитизације, а одсуством актинолита.

Минерализована зона, представљена масивно сулфидним типом минерализације, налази се између два стратиграфска члана, доњих андезита и андезит порфира. Како метода поларизационе микроскопије у пропуштеној светлости не може бити коришћена за потребе проучавања минерализације, само проучавање ове зоне захтевало би употребу и поларизационе микроскопије у одбијеној светлости, односно нешто другачију припрему препарата. Генеза овог орудњења очито остаје предмет неког будућег рада, мада се чињенично може закључити извор

хидротермалних флуида који су до ње довели.

Чланови јединице андезит порфира, са свим својим петрографским варијацијама, представљају фазе блиске центру порфирског система са специфичним карактеристикама хидротермалних промена и пратеће минерализације, карактеристичне за порфирска лежишта, пре свега бакра. Доминантан тип алтерације који прати ову јединицу је калијска метасоматоза, заједно са серицитизацијом, напредном аргилитизацијом, и неректо супергеном аргилитизацијом. Овакав развој хидротермалних промена указује на вишефазно деловање високотемпературних хидротермалних флуида променљивих физичко – хемијских карактеристика, као и на разлике међу протолитима. Појава алунита у узорцима са дубине испод 1600 m поред високог садржаја анјона SO_4 у флуидима, указује и да се ради о варијететима са повећаним садржајем алуминијума, што је и потврђено макроскопским и микроскопским проучавањима. Наиме, ради се о светлим стенама у којима плагиокласи преовлађују у односу на бојене минерале, па су те стене подлегле напредној аргилитизацији до серицитизацији. Тамнији варијетети андезит порфира, са више биотита и хорнбленде, подлегли су калијској метасоматози. Свакако је температура флуида временом опадала, али је била далеко изнад $370^{\circ}C$, што је минимална температура образовања необиотита (Reyes et al., 2003). Орудњење у оквиру ових чланова се пре свега огледа у класичном порфирском типу минерализације са честим кварцним жицама и импрегнацијама најчешће пирита и халкопирита. Порекло горе поменуте минерализоване зоне треба тражити управо у хидротермама пореклом из порфирског система којем јединица "андезит порфир" директно припада.

5. ЗАКЉУЧАК

Хидротермалне промене у стратиграфским члановима набушеним изабраном бушотином директно осликавају развиће порфирског Cu система, заједно са минерализацијом која представља главни разлог обимних истраживања овог подручја. Алтерације су зонарно распоређене, при чему аргилитизација, серицитизација и пропилитизација маркирају ободне, а калијска метасоматоза са спорадичном серицитизацијом и напредном аргилитизацијом централне нивое система.

Развој алтерације, заједно са минерализацијом, у дубљим нивоима бушотине потпуно је покривен дебелим горњим пакетом свежих до супергено измењених чланова. Такво развиће искључује могућност уобичајене геохемијске проспекције и указује на потребе коришћења модерних геофизичких метода у циљу проналаска сличних лежишта. Узевши у обзир готово правилно распростирање бројних лежишта у Тимочком магматском комплексу, са генералним правцем пружања север – југ, орудњење којем припада обрађена бушотина, отвара могућност и поставља питање потенцијалности терена јужно од Бора.

Изабрана бушотина која представља орудњење најјужније екстензије Борске металогененске зоне, након открића недалеко удаљеног лежишта светских размера – Чукару Пекија, поново указује на потенцијалност ове зоне и потребе за њеним даљим и детаљним истраживањем.

6. ЛИТЕРАТУРА

Banješević M., Cvetković V., Quadt A., Ljubović Obradović D., Vasić N., Pačevski A., Peytcheva I., 2019., New Constrains on the Main Mineralization Event Inferred from the Last Discoveries in the Bor Metallogenic Zone (BMZ, East Serbia)., *Minerals*, 9, 672, str. 1-23.

Banješević, M., 2010., Upper Cretaceous magmatic suites of the Timok Magmatic Complex, *Геолошки анали Балканског полуострва*, 71, стр. 13-22.

Corbett, G.J., and Leach, T.M., 1998, Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization: Special Publication 6, Society of Economic Geologists, 238 p.

Erić S., 2019. *Primenjena mineralogija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 180 str.

Kalenić M., Đorđević M., Krstić B., Bogdanović P., Milosaković R., Divljan M., Čičulić M., Džodžo R., Rudolf Lj., Jovanović Lj., 1976., Tumač za list Bor (OGK 1:100000 SFRJ), Savezni geološki zavod, Beograd, str. 29-38.

Reyes, A.G., 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 43, issues 1-4, p. 279–309

Reyes, A.G., Trompeter, W.J., Britten, K., and Searle, J., 2003, Mineral deposits in the Rotokawa geothermal pipelines, New Zealand: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 119, p. 215–239

Robb L. 2005. *Introduction to ore forming processes*, Blackwell Science Ltd, Malden USA

Sillitoe R., 2010., Porphyry Copper Systems, *Economic Geology*, 105, str. 3-

Veselinović M., Divljan M., Đorđević M., Kalenić M., Milašković R., Rajčević D., Popović R., Rudolf Lj., 1967., Tumač za list Zaječar (OGK 1:100000 SFRJ), Savezni geološki zavod, Beograd, str. 26-40.

Zimmerman A., Stein H., Hannah J., Koželj D., Bogdanov K., Berza T., 2007., Tectonic configuration of the Apuseni – Banat – Timok – Srednogorie belt, Balkans – South Carpathians, constrained by high precision Re-Os molybdenite ages, *Miner Deposita* (2008), 43, str. 1-21.

Захвалност

Овим путем захваљујем се ментору, проф. др Даници Срећковић-Батоћанин на великој помоћи око израде овог рада, али и пре свега на стрпљењу и разумевању.

Такође велику захвалност дугујем компанији Serbia Zijin Mining, на уступљеном материјалу коришћеном за потребе овог рада.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента Павле Јовичић

Број индекса Г626/22

Изјављујем

да је завршни рад под насловом

Хидротермалне промене у издвојеним
стратиграфским јединицама у Букотини
јужно од Бора

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 24.09.2024.

Потпис студента

ИЗЈАВА
О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента Павле (Ворислав) Јовичић
Број индекса Г 626/22
Студијски програм Геологија
Наслов рада Хидротермалне промене у издвојеним
стратиграфским јединицама у Буџотини
јужно од Бора
Ментор Даница Срећковић - Ђутопашић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, 24.09.2024.

Потпис студента



ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Хидротермалне промене у издвојеним стратиграфским
јединицама у јужној југозападној области Бора

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је (заокружити једну од две опције):

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)

У Београду, 24.09.2024.

Потпис ментора

Потпис студента