

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ  
„СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“  
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ  
Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“

---

Стефан Пенков Велев

## **ПЕТРОЛОГИЯ НА ВУЛКАНСКИ КОМПЛЕКСИ ОТ ЗАПАДНО СРЕДНОГОРИЕ**

професионално направление: 4.4. Науки за земята

научна специалност: 01.07.04. Петрология

### **Автореферат**

за придобиване на

образователна и научна степен „доктор“

Научен ръководител:

проф. д-р Росен Недялков

Рецензенти:

доц. д-р Росица Иванова

доц. д-р Филип Мачев

София, 2017

Защитата на дисертацията ще се състои на.....2017 г. от..... в аудитория..... на СУ „Св. Климент Охридски“.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Геолого-географски факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, бул. Цар Освободител № 15, етаж 2, стая 254.

Изследванията по дисертационната работа са осъществени в Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“ към СУ, в лабораторията за лазерна аблация с масспектроскопия в индуктивно свързана плазма към Геологическия институт „Страшимир Димитров“, БАН и в лаборатория „Евротест“.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен катедрен съвет на Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“ на Геолого-географски факултет при СУ „Св. Климент Охридски“, проведен на 8.11.2016 г. и насочен за защита на заседание на Факултетния съвет на ГГФ на.....

**Научно жури:**

1. доц. д-р Филип Мачев
2. проф. д-р Борислав Каменов
3. доц. д-р Бануш Банушев
4. доц. д-р Росица Иванова
5. проф. д-р Росен Недялков

## **Характеристика на дисертационния труд**

Обемът на дисертационния труд е 200 страници основен текст със 126 фигури, 2 таблици и 12 страници литература (151 заглавия). Данните от анализите на скали и минерали са представени отделно в 2 таблични приложения.

Материалът на дисертацията е структуриран в следните глави:

- 1. Увод – 2 стр.**
- 2. Методика на работа – 3 стр.**
- 3. Изученост на Западносредногорската магматична област – 15 стр.**
- 4. Геоложки особености и палеовулкански реконструкции – 53 стр.**
- 5. Петрографска и минераложка характеристика на магмените скали – 37 стр.**
- 6. Минералогия на магмените скали от Западно Средногорие – 19 стр.**
- 7. Химичен състав на магмените скали от Западно Средногорие – 23 стр.**
- 8. Тектонска обстановка на протичане на магматизма – 5 стр.**
- 9. Условия на кристализация – 5 стр.**
- 10. Петрогенезис – 16 стр.**
- 11. Обобщен модел на магматизма в Западно Средногорие – 3 стр.**

**Изводи – 2 стр.**

**Приноси на автора – 2 стр.**

**Благодарности – 1 стр.**

**Литература – 12 стр.**

Използвани съкращения в автореферата:

Am – амфибол

Срх – клинопироксен

Pl - плагиоклаз

## ***1. Увод***

Горнокредният магматизъм и респективно вулканизъм, широко проявен на територията на България е обект на изследване от поколения български и чужди геолози. Вулканските райони, с които са свързани някои от големите находища на метални полезни изкопаеми са по-добре изучени, и за тях има голям обем от информация. За другите съществуват сравнително малко данни. Именно с такива, по-слабо изучени вулкански центрове се отличава Западното Средногорие (фиг. 1).

Главната цел на настоящето изследване е да се направи характеристика на магмените скали от различните дълбочинни фазиеси в този район, постигането на която минава през:

- 1) Теренно локализиране на вулканските постройки;
- 2) Минераложки и петрографски изследвания;
- 3) Установяване на петрохимичните и геохимични характеристики на магмените скали, изследване на химическите вариации на вулканитите, размахът и характера на магматичната еволюция;
- 4) Определяне на петрогенетичното значение на тези вариации от гледна точка на характеристиките на мантийния източник и процесите на магматична диференциация и еволюция;
- 5) Определяне на температурата и налягането на кристализация;
- 6) Установяване на пространствени и относителни времеви закономерности в изявата на вулканските процеси;
- 7) Определяне на тектонската обстановка;
- 8) Изготвяне на модел на магмогенериране и последвала еволюция;

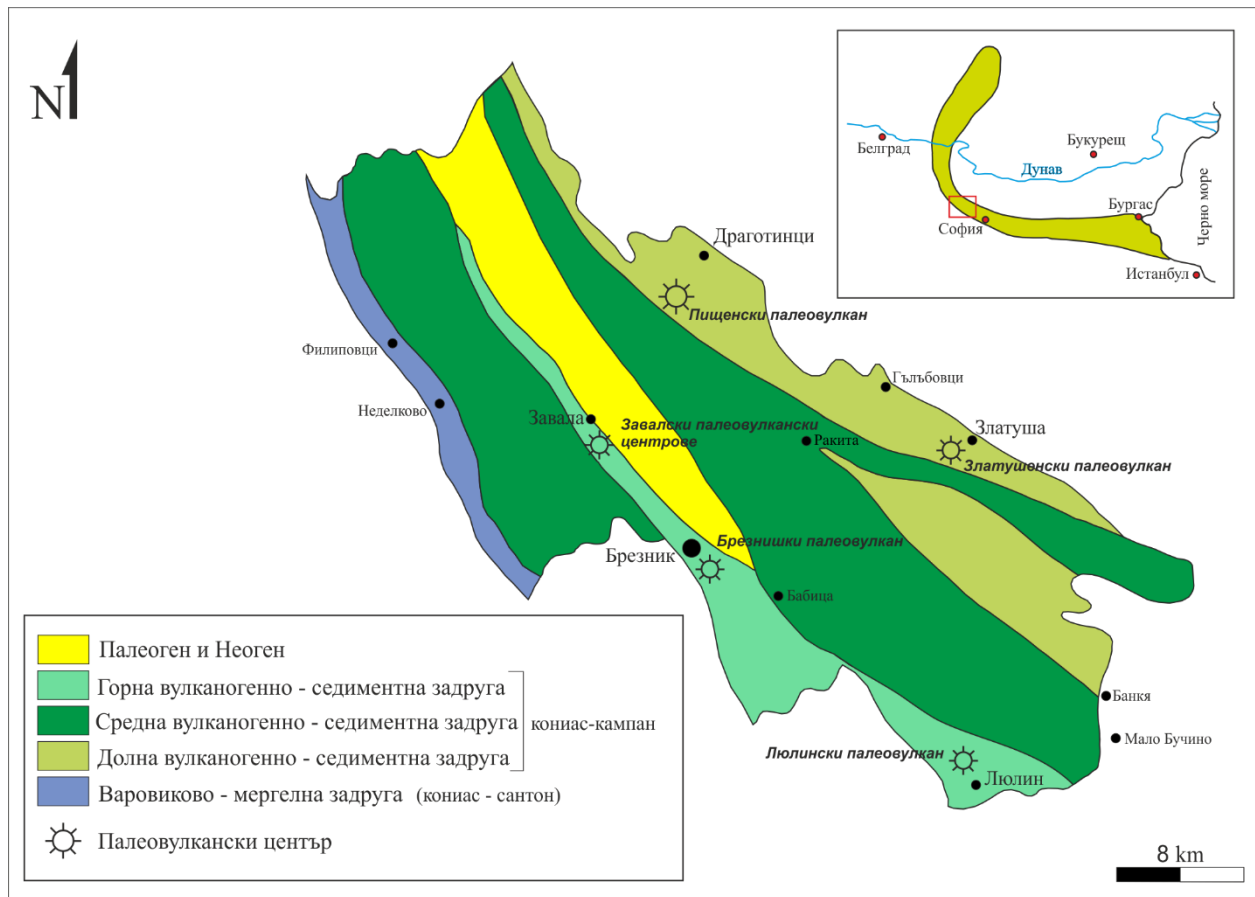
## ***2. Методика на работа***

### ***2.1. Теренни изследвания***

Теренната работа, за нуждите на това изследване, беше извършена от авторът и научният ръководител в периода 2010-2014 г.

Задачите изпълнени по време на теренните дейности могат да се формулират по следния начин:

- 1) полеви наблюдения по маршрути;
- 2) определяне центровете на вулканската дейност;
- 3) изясняване на регионалните геодинамични условия в изследвания район;
- 4) целенасочено вземане на образци
- 5) фотографиране и зарисоване на най-интересните взаимоотношения между скалите, макроскопския изглед на скалните тела, текстурните особености, охарактеризиране на вулканските морфоструктури в района.



**Фиг. 1.** Схематична геоложка карта на Западно Средногорие с разположение на изследваните палеовулкански центрове (по Дабовски и колектив, 2008, с изменения).

## 2.2. Кристалооптични методи

Изследвани са 176 броя микроскопски препарати с поляризационен микроскоп Ампливал.

## 2.3. Методи за изследване на скали и минерали

За по-обосновано отделяне на изследваните вулкански задруги и центрове, петрохимичната им класификация и трасиране на някои основни механизми на магматичната еволюция скалните образци са анализирани за главни петрогенни оксиди и елементи следи.

При изучаването на минералния състав на изследваните скали са направени микросондови анализи на скалообразуващи минерали.

## 3. Представи за магматизма в изследваната част от Западно Средногорие

Западносредногорската магматична област обхваща горнокредните вулкански и интрузивни скали, разкриващи се в пределите на голяма и нагъната синформна структура в Западното Средногорие (Бончев, 1970).

В настоящата работа се възприема схемата на Байрактаров (1989), с известни изменения, що се касае до местоположението на някои вулкански центрове. Според възприетата стратиграфска подялба, продуктите на Бурелския (Златушенски и Драготински вулкански център) и Витошкия палеовулкан кореспондират по време на образуване с фоновата седиментация на долната вулканогенно-седиментна задруга, тези на Ракитовския и Недялковския – със средната вулканогенно-седиментна задруга, а на Люлинския, Брезнишкия и Завалските центрове – с интервала на формиране на горната вулканогенно-седиментна задруга (фиг. 1).

### **3.1. Бурелски палеовулкански центрове**

Продуктите на Бурелските палеовулкански центрове се разкриват в две субпаралелни ивици. Северната изгражда южното бедро на Гълъбовската антиклинала, а южната – ядката на Радуловската антиклинала (фиг. 1).

Преобладаващи в строежа на двете ивици са пирокластичните и епикластични продукти. Добре застъпени са и секущите тела с преобладаваща СЗ-ЮИ ориентировка (Гочев и др., 1970). Приема се, че концентрацията на такива тела индикира центрoвете на вулканизма. От тях по-отчетливо се обособяват *Драготинския, Радуловския, Гълъбовския и Златушенски център* в северната ивица и *Клисурския* в южната.

### **3.2. Недялковски и Ракитовски палеовулкански центрове**

Продуктите на тези центрове бележат втория ритъм на магмената дейност в Западно Средногорие. Представени са от пирокластити, редки лавови потоци и силове, които се проследяват с флишките последователности в разреза на *средната вулканогенно-седиментна задруга*.

### **3.3. Люлински палеовулкански център**

Продуктите му изграждат билото и изцяло югозападните склонове на Люлин планина. Проследяват се като постепенно изтъняваща ивица по североизточните склонове на Висляр планина. Стратиграфската позиция на палеовулкана го определя като поставящ началото на предполагаемия трети ритъм на магмена активност в Западно Средногорие.

### **3.4. Брезнишки палеовулкански център**

Скалите на Брезнишкия палеовулкан изграждат югозападното и североизточното бедро на Красавската синклинала. Откъм североизток се постилат от *средната вулканогенно-седиментна задруга* и пирокластитите на Люлинския палеовулкан. Покриват се от скали на Завалските центрове или от горнокампанско-мастрихтски седименти..

### **3.5. Завалски палеовулкански центрове**

Продуктите им изграждат най-високите нива на горнокредния вулканогенен разрез в Западно Средногорие. Разкриват се като тясна ивица в югозападното бедро на Красавската синклинала откъм с. Видрица (СЗ от Брезник) на северозапад докъм с. Бутроинци. Постилат се от пирокластитите на Брезнишкия палеовулкан и материали на *средната вулканогенно-седиментна задруга*, а се покриват с ерозионна граница от горнокампанско-мастрихтски седименти.

#### 4. Геоложки особености и палеовулкански реконструкции

В настоящата глава ще се представят геоложките особености, резултат от новопроведените теренни работи в изследваната част от Западно Средногорие.

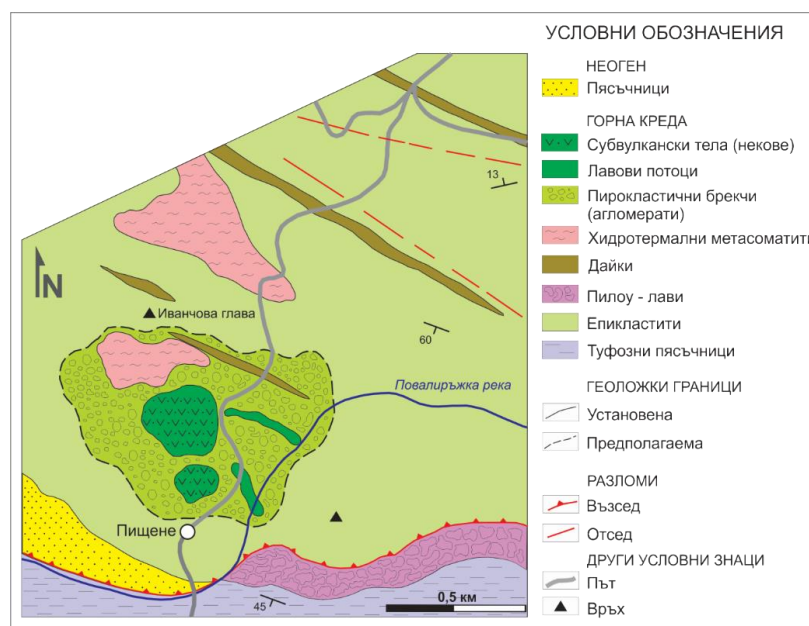
##### 4.1. Долна вулканогенно-седиментна задруга (Бурелски палеовулкански центрове)

Според Байрактаров (1989) Бурелските центрове са представени от пет индивидуални палеовулкански постройки: Драготински (Пищенски), Радуловски, Гълъбовски, Златушенски и Клисурски палеовулкан.

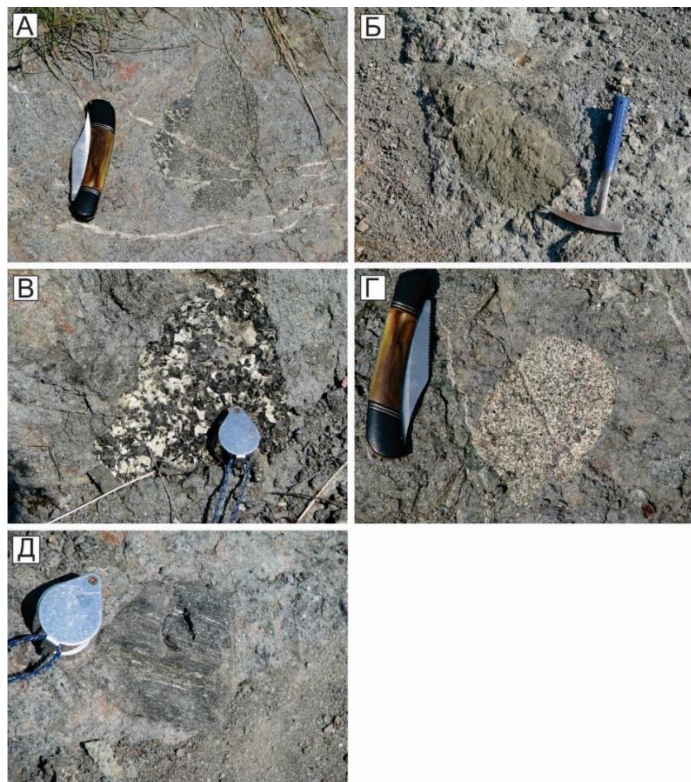
##### 4.1.1. Пищенски (Драготински) палеовулкански център

Драготинският (Пищенският) палеовулкан е един от относително добре разкриващите се и консервирани вулкански апарати в Западно Средногорие. От физико-географска гледна точка заема хълмистите местности около с. Драготинци и махалите Брусник, Пищене и Повали рѝж (фиг. 2). Пищенският палеовулкан е сложна и стратифицирана постройка. В строежа на вулканската постройка участват: магмопроводящи структури (некове), лавови потоци, пирокластични и епикластични отложения и по-късни дайки. Пирокластичните продукти се разполагат концентрично около магмопроводящите структури (некове).

Особен интерес предизвикаха установените сред пирокластичните скали кумулативни ксенолити. Такова разнообразие от дълбочинни, кумулативни ксенолити се докладва за пръв път в България. Представени са от интрузивни магмени и от метаморфни скали (фиг. 3). Честотата им на срещане е най-голяма в близост до магмопроводящите канали, което доказва, че именно експлозивната дейност ги е транспортирала на повърхността. Магмените ксенокѝсове са представени от кумулативни пироксенити, хорнблендити и различни по зърнометрия габра. Повечето от ксенолитите показват кумулативни структури, типични за разслоените интрузивни магматични комплекси. Кумулативните процеси на образуване се доказват от субпаралелната ориентировка на изграждащите ги призматични и плочести минерали.



Фиг. 2. Геоложка схема на Пищенския палеовулкански център.

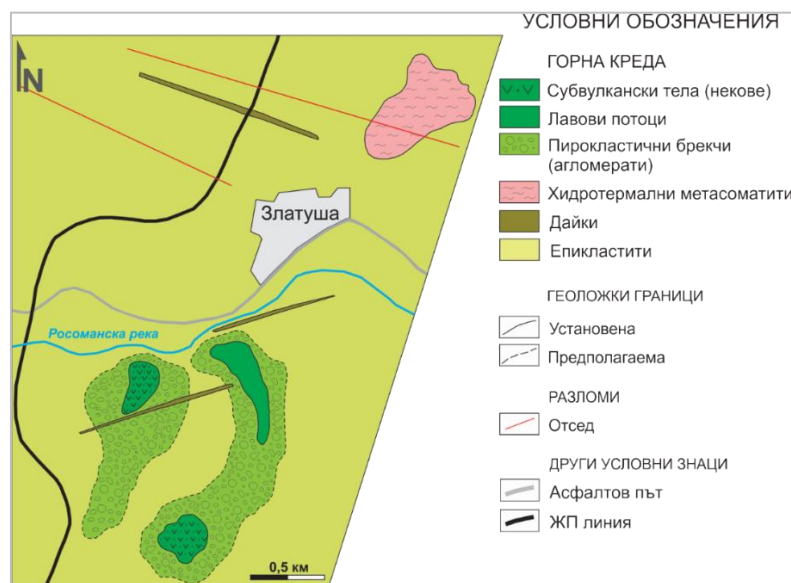


**Фиг. 3.** Ксенолити сред пирокластичните брекчи от Пищенския вулкански център (Долна вулканогенно-седиментна задруга).

- А) кумулативни хорнблендити
- Б) кумулативни пироксенити
- В) едрозърнести габра
- Г) дребно до среднозърнести габра
- Д) метаморфити (амфиболити)

#### 4.1.2. Златушенски палеовулкански център

Районът, разполагащ се юг-югозападно от с. Златуша е другият, който може с по-голяма достоверност да бъде интерпретиран като център на вулканската дейност в пределите на долната вулканогенно-седиментна задруга и част от Бурелските палеовулкански центрове. (фиг. 1). На около 1 km югозападно от селото се наблюдава концентрация на лавови потоци, груба пирокластика и дайки (фиг. 4). Това дава основание именно в този район да бъде по-конкретизирано поставянето на вулканският център, наричан Златушенски палеовулкан.



**Фиг. 4.** Геоложка схема с продуктите на Златушенския палеовулкански център.



Малка кариера, разположена югозападно от с. Златуша предоставя възможност да се проследят взаимоотношенията между един от изливите и постилащите го скални разновидности. Разкриващият се лавов поток лежи върху пирокластични продукти, които от своя страна се разполагат върху пакет от епикластити. За дайковите скали са характерни магматичните включения (фиг. 5). Имат малки размери, не надвишаващи 5-6 cm и сферична до елипсовидна форма.

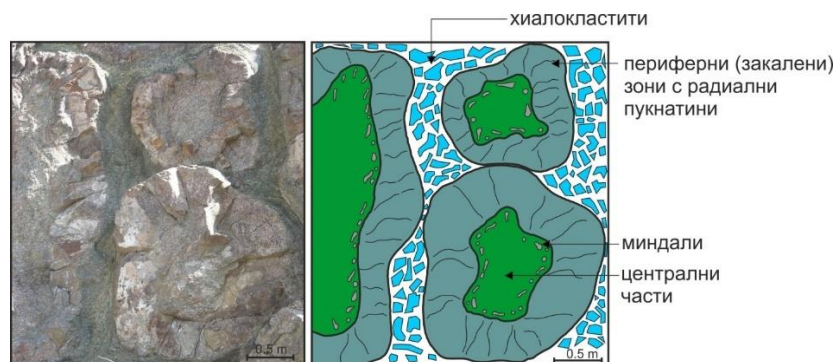


**Фиг. 5.** Магматични включения сред дайките от Златушенския палеовулкан (Долна вулканогенно-седиментна задруга).

#### 4.2. Средна вулканогенно-седиментна задруга (Ракитовски и Неделковски палеовулкански центрове)

Средната вулканогенно-седиментна задруга е представена от различни по фацииес вулканити и вулканокластити, редуващи се с относително тънки пакети от мергели и алевролити. Според възприетата схема, продуктите на тези центрове бележат втория ритъм на магмената дейност в Западно Средногорие, като стратиграфски се разполагат над скалите изграждащи долната вулканогенно-седиментна задруга. В строежа им основно място заемат аквалните лавови потоци тип „пилоу лави“, в подчинено количество присъстват субвулкански тела (дайки и силове). За фон на изброените продукти служат вулканогенно-седиментни и седиментни скали. Според проведените теренни изследвания, разпространението на аквалните пилоу лавови потоци значително надвишава считаното до сега.

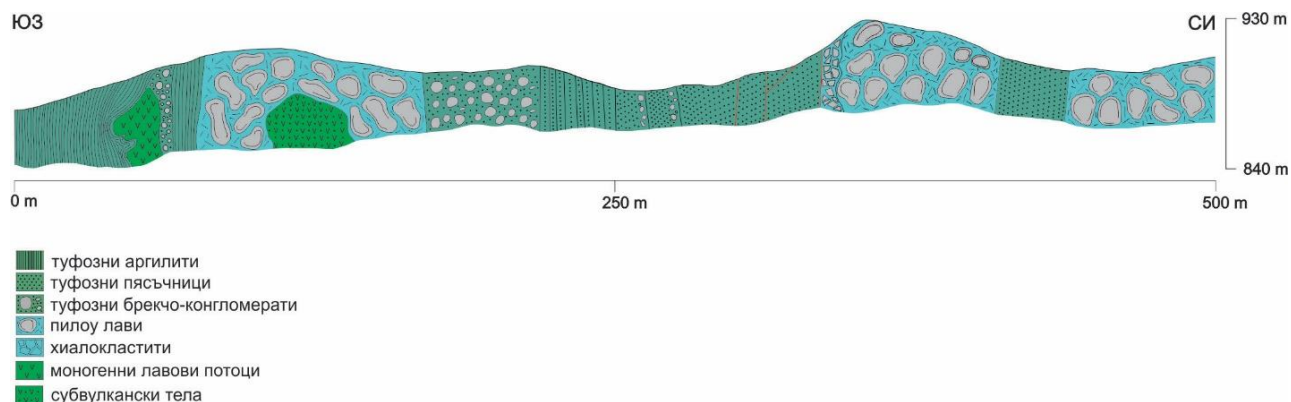
На територията на изследваната площ са отделени над десет отделни аквални лавови излива тип „пилоу лави“. Към *Ракитовските центрове* се причисляват потоците в районите на селата Ракита и Мало Бучино, а към *Неделковските* тези от селата Бабица, Неделково и Филиповци (фиг. 1). В разкритията напречни на удължението им пилоу лавите показват типичната за тях зоналност (фиг. 6).



**Фиг. 6.** Зоналност на пилоу лави в напречен пререз.

#### 4.2.1. Ракитовски палеовулкански центрове

В пределите на *Ракитовските вулкански центрове* са локализирани седем отделни пилоу лавови потока, алтерниращи с различни по зърнометрия вулканогенно-седиментни скали (фиг. 7). Аквалните потоци изграждат тела издължени в северозапад-югоизточна посока.



**Фиг. 7.** Геоложки разрез по автомагистрала „Люлин“ (*Ракитовски палеовулкански центрове – Средна вулканогенно-седиментна задруга*).

#### 4.2.2. Неделковски вулкански центрове

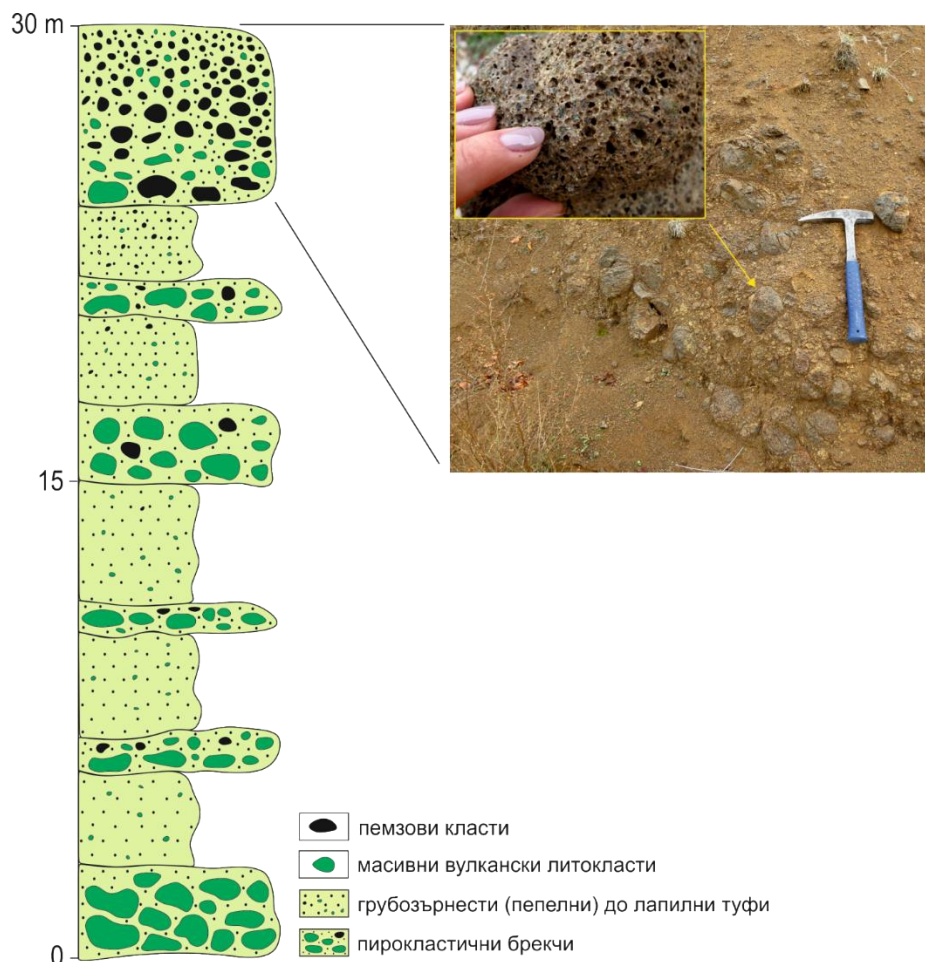
Принадлежащи към *Неделковските палеовулкански центрове* са пилоу лавите разкриващи се около селата Бабица, Неделково и Филиповци (фиг. 1). Морфоложки аквалните изливи от Неделковските центрове са сходни с тези от Ракитовските. Основна петрографска особеност при пилоу лавите от Неделковските центрове, която ги разграничава от Ракитовските е наличието на малки количества черна слюда и калиев фелдшпат в състава им. Потоците от Неделковските центрове са определени като порфирни по плагиоклаза и клинопироксена латити.

В сравнение с вулканските центрове от долната вулканогенно-седиментна задруга, пирокластичните скали от *Ракитовските и Неделковски центрове (средна вулканогенно-седиментна задруга)* са значително по-слабо разпространени.

Разкритията в района на с. Бабица позволяват детайлна характеристика на пирокластичните материали. Пирокластичните скали вероятно бележат началото на субаквалния вулканизъм в тази част от изследвания район, изграждайки последователност с дебелина около 30 m (фиг. 8).

В основата на пирокластичния профил се разполага ниво (слой), съставено от ювенилни късове (бомби, блокове и лапили) с дебелина 3,5 m (фиг. 8). Изграждащите го късове са слабо сортирани, като се достига до почти кластподдържана текстура. В рамките на нивото се наблюдава нормална градационна слоестост. Над него се разполага интервал с дебелина 15-20 m, сред който ритмично през около 2-3 m се открояват пластообразни нива с концентрация на вулкански лапили и бомби в основата им, бележещи отделни пулсации (импулси) в експлозивната дейност. Най-високо в пирокластичния разрез, непосредствено под първия поток се разполага ниво изградено от вулкански късове, споени от псамитен,

туфозен матрикс. Спойващият материал количествено не надвишава 10%. Късовете са представени от ювенилни фрагменти с добре изразена мехурчеста текстура (фиг. 8).



**Фиг. 8.** Разрез през пирокластичните последователности от района на с. Бабица (Неделковски палеовулкански центрове – Средна вулканогенно-седиментна задруга).

#### **4.2.3. Модел на субаквалния вулканизъм от Средната вулканогенно-седиментна задруга.**

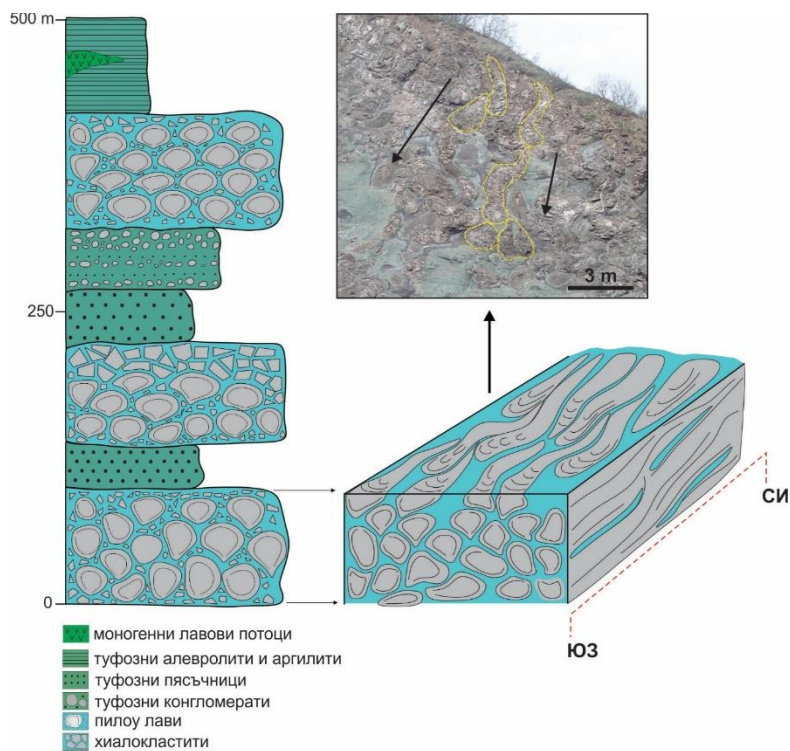
Чрез използването на различни характеристики на разкриващите се пилоу лави е възможно да бъдат направени изводи за условията и средата, в която са формирани.

Един от основните фактори, контролиращ нарастването на пилоу лавите е скоростта на охлаждане. При субаквални палеовулкански обекти, тя може относително да бъде определена чрез дебелината и отчетливостта на закалените (периферни) зони на отделните възглавници. Добре изразените и отчетливи периферии при изследваните пилоу лави са индикаторни за сравнително бързо охлаждане (Dimroth et al., 1978).

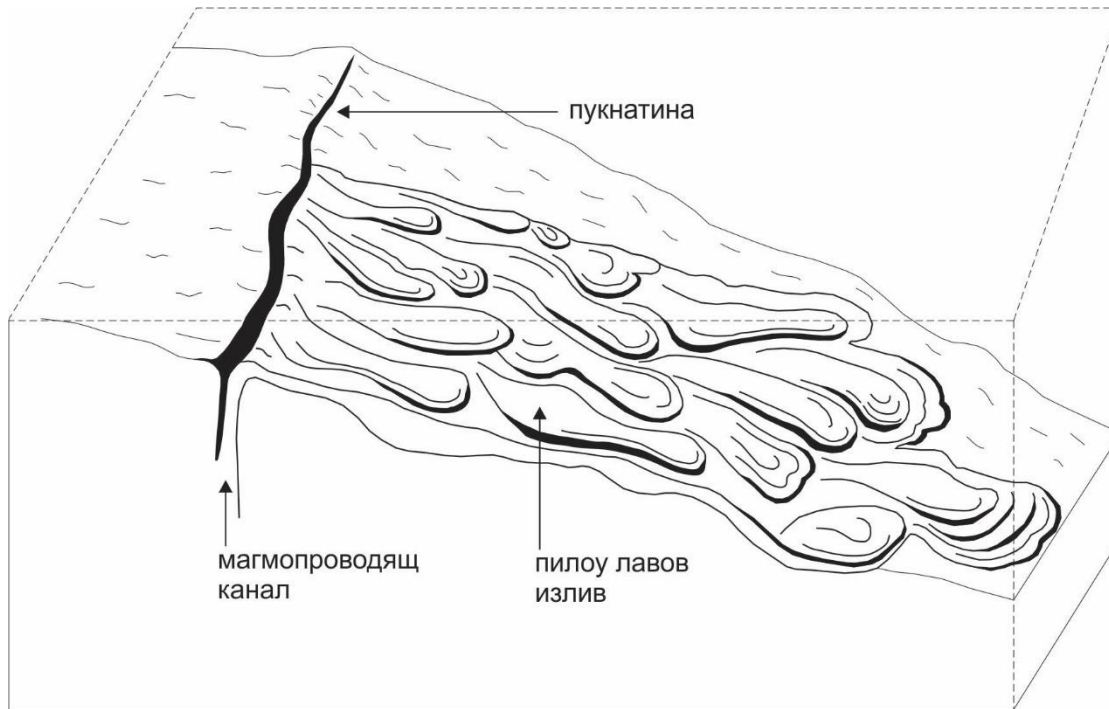
Формата и размера на отделните възглавници до голяма степен зависи и от наклона на склона, по който се е стичала лавата. Влияния върху морфологията имат също дебита, скоростта на течене и вискозитета. Големите вариации в размерите на изследваните пилоу лави не позволяват достоверна интерпретация, касаеща наклона на склона. Вероятно е да е бил силно изменчив.

За дълбочината на басейна, при която са образувани пилоу лавите по-достоверно може да се съди по наличието и размера на газовите празнини (мехури). За всички наблюдавани в Западно Средногорие пилоу лави са характерни газови празнини. При някои възглавници те са съсредоточени в перифериите на централните части, разполагайки се субпаралелно на контура на закалените външни зони. Според Jones (1969) това разположение на газовите празнини е типично за дълбочини в порядъка на 350-400 m.

В разкритията югозападно от с. Мало Бучино, чрез използването на стратиграфски критерии за определяне долнище и горнище на пластореда е възстановено нормално му положение (фиг. 9). След това, на базата на взаимоотношенията между отделните възглавници е определена посоката на движение на лавата – от североизток на югозапад. Определената посока на течение, в комбинация с регионалното и пространствено разпространение на лавовите тела дават основание вулканизма да се определи като пукнатинен. Вероятно се касае за многоетапно изливане на лава от километрови, северозапад-югоизток ориентирани регионални разломни структури (фиг. 10).



**Фиг. 9.** Схема, показваща нормалното положение на аквалните вулкански продукти в района на с. Мало Бучино и интерпретация на посоката на течение на най-долния поток.



**Фиг. 10.** Модел на субаквалния вулканизъм от Средната вулканогенно-седиментна задруга.

### **4.3. Горна вулканогенно-седиментна задруга**

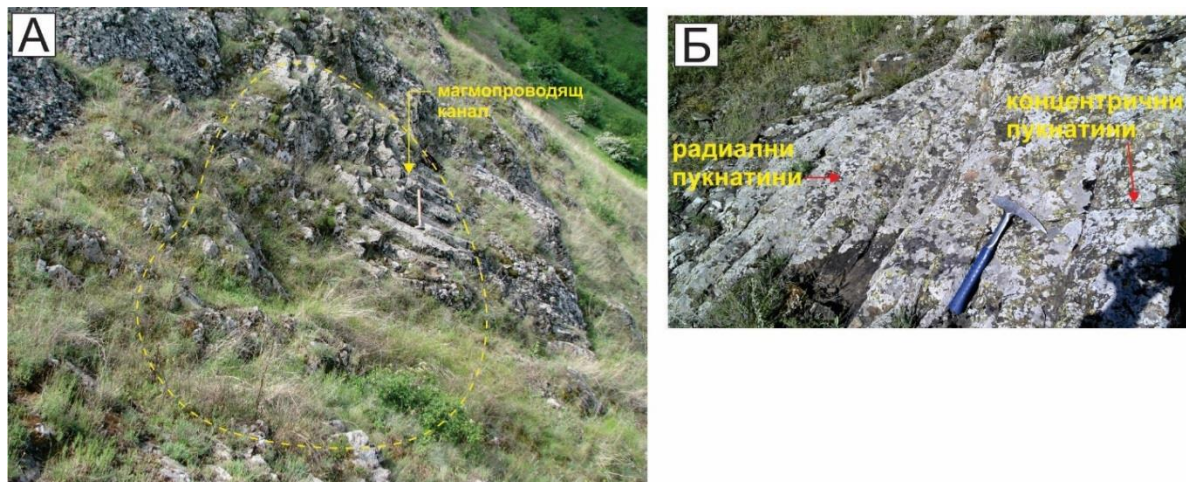
Като принадлежащи към горната вулканогенно-седиментна задруга в Западно Средногорие се възприемат три палеовулкански постройки – *Люлински, Брезнишки и Завалски вулкански центрове* (Байрактаров, 1989).

#### **4.3.1. Люлински вулкански център**

Продуктите на *Люлинския палеовулкан* изграждат част от билото и югозападните склонове на Люлин планина. Преобладаващи в строежа на палеовулкана са вулканокластичните разновидности, в т.ч. пирокластити и епикластити. Северно от с. Люлин сред вулканокластичните материали се разполагат няколко тънки и разпокъсани лавови излива. Дебелините им не надвишават 3 m.

#### **4.3.2. Брезнишки вулкански център**

Скалите на *Брезнишкия палеовулкан* изграждат югозападното и североизточно бедро на Красавската синклинала. На около 1 km юг-югозападно от гр. Брезник сред грубите вулканокластити (епо- и пирокластични разновидности) се разполагат няколко добре открояващи се субвулкански тела. Пространствено оформят верига от изометрични в напречно сечение тела, със североизток-югозападно направление (фиг. 11). Морфоложки се характеризират с елипсоидни очертания и диаметър на най-голямото от тях около 10 m. Добре изразени текстури са концентричните и радиални пукнатини на изстиване (фиг. 11). Тези им особености дават основание да бъдат интерпретирани като магмопроводящи канали, индикиращи малки гърла, свързани с развитието на Брезнишкия палеовулкан.



**Фиг. 11.** Теренни снимки на магмопроводяща структура (нек) от Брезнишкия палеовулкански център (Горна вулканогенно-седиментна задруга).

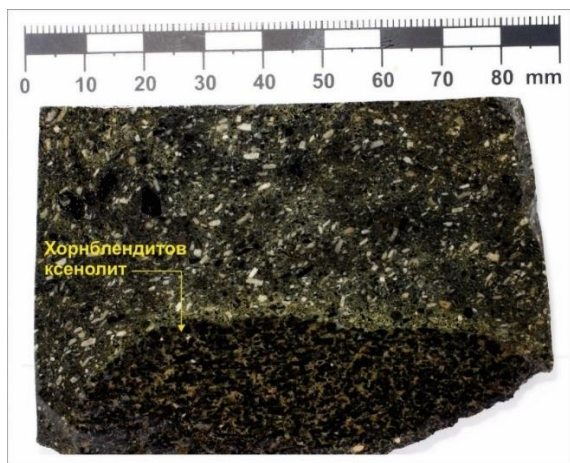
А) Общ изглед и форма

Б) Концентрични и радиални пукнатинни структури

#### 4.3.3. Завалски вулкански центрове

Продуктите на *Завалските центрове* изграждат тясна ивица, разполагаща се североизточно от селата Гърло и Билинци, достигайки до с. Бутроинци на северозапад.

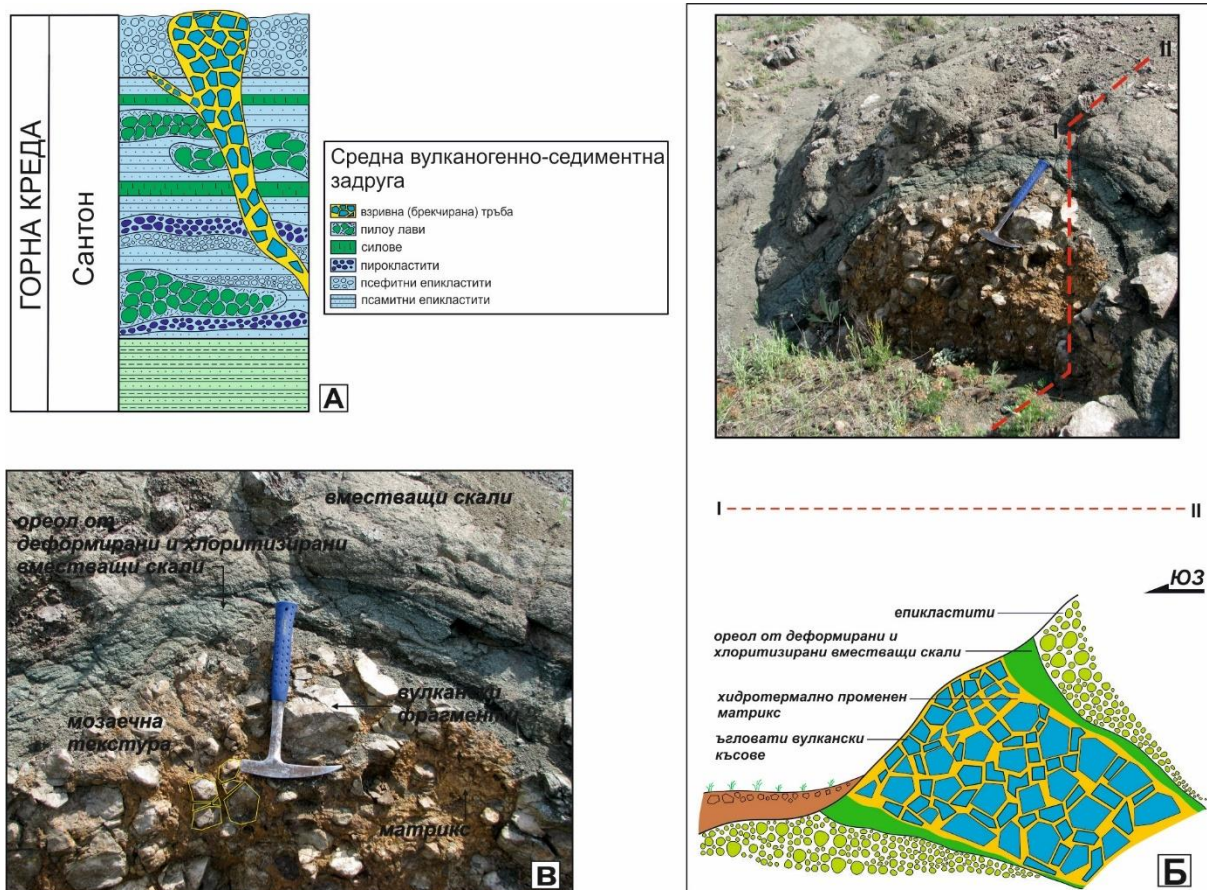
И тук, както при предходните два центъра, вулканският фациес е предимно пирокластичен, продуцирал блоково – бомбени и бомбени туфи. Ефузивният и субвулкански фациес са слабо застъпени. Запад-северозападно от с. Видрица се разкриват няколко сблизени субвулкански тела, които могат да бъдат интерпретирани като магмопроводящи. Субвулканското тяло между селата Завала и Билинци вероятно маркира друг център. Интерес предизвикват констатираните сред субвулканското тяло кумулативни хорнблендитови ксенолити. Ксенолитите показват добре изразена кумулативна текстура, оформяща се от паралелно ориентирани едни на други амфиболови кристали (фиг. 12).



**Фиг. 12.** Кумулативен хорнблендитов ксенолит сред субвулкански скали от Завалските палеовулкански центрове (горна вулканогенно-седиментна задруга).

#### 4.3.4. Други вулкански структури в обхвата на горната вулканогенно-седиментна задруга

В Западно Средногорие се разкрива част от вулканска взривна тръба, с привидно близък до кръгъл напречен разрез, пространствено разполагаща се сред продуктите на Средната вулканогенно-седиментна задруга (фиг. 13), на около 300–400 m северно от село Расник. Съставена е от ъгловати фрагменти от вулкански скали и хидротермално променен, ръждив на цвят матрикс (фиг. 13). Непосредствено до контакта с взривната тръба вместиците скали са деформирани, нашистени и оформят сиво-зелен ореол (хлоритизиран) с дебелина 20–50 cm. Сходни взривни тръби често са свързани с образуването на някои медно-порфирни системи (Silitoe, 1985, 2010).



**Фиг. 13.** А) местоположение на взривната тръба сред Средната вулканогенно-седиментна задруга от западно Средногорие; Б) моделен, надлъжен пререз и екстраполация в дълбочина; В) вътрешен строеж.

## 5. Петрографска и минераложска характеристика на магмените скали

### 5.1. Долна вулканогенно-седиментна задруга

#### 5.1.1. Пищенски палеовулкански център

##### Хаваити и мѓдѓиерити

Скалите с този състав изграждат магмопроводящите структури (некове), лавовите потоци и част пирокластитите от Пищенския палеовулкански център. Макроскопски имат масивни текстури и сиво-зеленикав цвят, до черен при изливите. *Структурите* са порфирни по плагиоклаза, клинопироксена и амфибола, като фенокристалите се разполагат сред микролитова, почти цялостно разкристилизираща основна маса. Сравнително слабо са засегнати от вторични процеси, предимно глиняване на плагиоклазите.

##### Андезитобазалти и андезити

Като андезитобазалти и андезити се определят част от продуктите на експлозивната дейност на Пищенския палеовулкан. *Структурата* на вулканските бомби и блокове е порфирна, с фенокристали от плагиоклаз, клинопироксен и амфибол. *Основната маса* е почти изцяло разкристилизираща. В редки случаи около по-големите фенокристали е запазено черно-кафеникаво вулканско стъкло.

##### Андезити и трахиандезити (латити)

Като андезити и латити са определени дайковите и субвулкански скали от Пищенския палеовулкански център. *Структурата* на дайковите скали е средно до гъстопорфирна по плагиоклаза, пироксена и амфибола. *Структурата на основната маса* е микролитова, дребнозърнеста, цялостно разкристилизираща. Изградена е от различни по морфология (иглести, изометрични и късопризматични) плагиоклазови микролити, съставляващи по-голямата част от нея. В по-малки количества се срещат дребни, идиоморфни амфиболи, пироксени и непрогледни (рудни) минерали.

Сред дайковите скали от Пищенския вулкански център се срещат *магматични включения* (фиг. 14). Преобладаващата им форма е елипсовидна, но се срещат и неправилни такива. Размерите им са от милиметри до 10x5 cm.



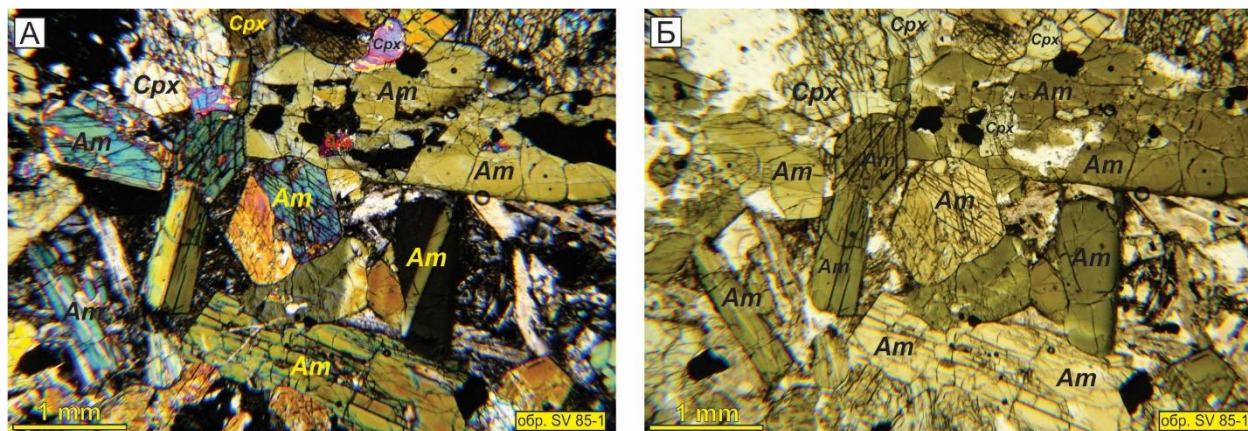
**Фиг. 14.** Магматично включение сред дайкови скали от Пищенския вулкански център (Долна вулканогенно-седиментна задруга).



### Кумулативни хорнблендита

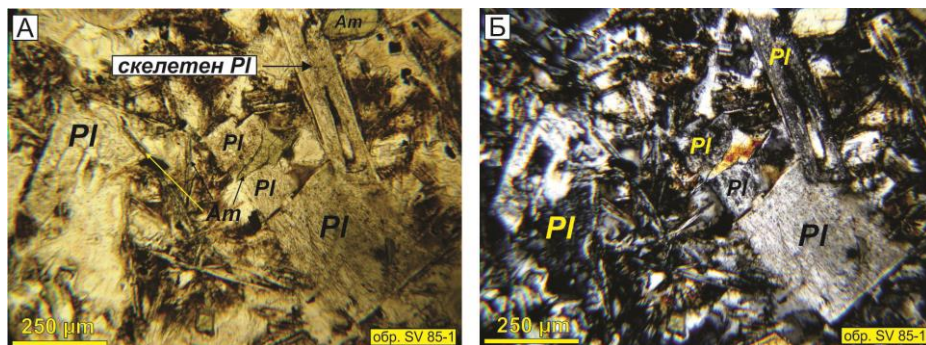
Кумулативните хорнблендита са почти мономинерални скали, изградени от над 90% амфиболови кристали. Както макроскопски, така и микроскопски те показват типични структури, характерни за кумулативните магматични разновидности. Наличието на кумулативни кристални фази (амфибол и клинопироксен) и междукумулативни, по-ниско температурни минерали определя хорнблендитите като ортокумулати (Wager et al., 1960).

Кумулативни минерални фази са амфибол и пироксен (фиг. 15). Кристализацията на плагиоклаз, клинопироксен и непрогледни минерали предопределя пространството между кумулативните фази.



**Фиг. 15.** Микроскопски снимки, илюстриращи минералния състав и структурата на хорнблендитовите ксенолити.

Доминиращ минерал сред междукумулативната маса е плагиоклаза. Среща се като призматични кристали, различни напречни прерези и иглести разновидности. Специфични са скелетните нараствания (фиг. 16), които заедно с иглестите морфологии подсказват за бързата кристализация на остатъчната топилка. Структурните особености на междукумулативното пространство и на изграждащите го минерали вероятно са резултат от бърза кристализация, осъществена по време на изнасянето на кумулатите във по-високи корови нива.

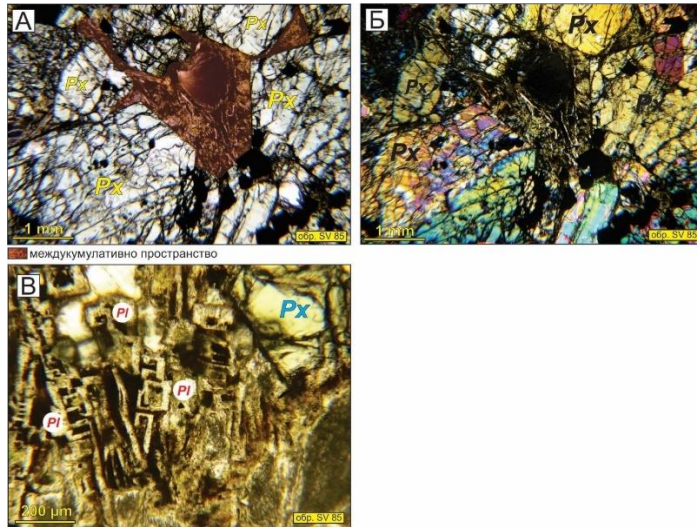


**Фиг. 16.** Структура и минерален състав на междукумулативното пространство при хорнблендитите.

### Кумулативни пироксенити

Ксенолитите от пироксенити показват сходни с хорнблендитите кумулативни структури, но обусловени от утаяване на пироксенови кристали (фиг. 17). Наличието на малък процент междукумулативна маса (около 5%), изградена от по-ниско температурни минерални фази определя мезокумулативната разновидност.

Първично утаени, кумулативни минерали са пироксен и амфибол. Фазите изграждащи интеркумулативното пространство са предимно плагиоклаз и повсеместно разпределени непрогледни минерали.



**Фиг. 17.** Микроскопски снимки на пироксенитови кумулати от Пищенския палеовулкан (Долна вулканогенно-седиментна задруга).

- А) Кумулативни пироксенови кристали и междукумулативно пространство, II N
- Б) Кумулативни пироксенови кристали и междукумулативно пространство, x N
- В) Скелетни плагиоклазови кристали, изграждащи междукумулативното пространство, II N

### Кумулативни габра

Образуването на тези скални разновидности вероятно също се дължи на процеси на кристална акумулация, въпреки, че кумулативните структури не са толкова добре изявиени, както при хорнблендитите и пироксенитите.

Габрата са средно до едрозърнести, пълнокристалинни скали. Главни скалообразуващи при тях са плагиоклаз, амфибол и клинопироксен. Интеркумулативното пространство процентно съставя много малка част от тях, не повече от 2-3%.

#### **5.1.2. Петрографска и минераложка характеристика на вулкански скали от Златушенския палеовулкански център**

### Андезити и дацити

Като андезити и дацити се определят две дайкови тела от района на Златушенския палеовулкан. Типична за тях е порфирната структура, с фенокристали от плагиоклаз, амфибол и пироксен. Сред едната дайка са установени множество магматични включения с елипсовидна форма. Дайковите скали са рядкопорфирни, като порфирната фаза не изгражда повече от 15% от обема им. Основната маса е почти цялостно разкристализирала, въпреки

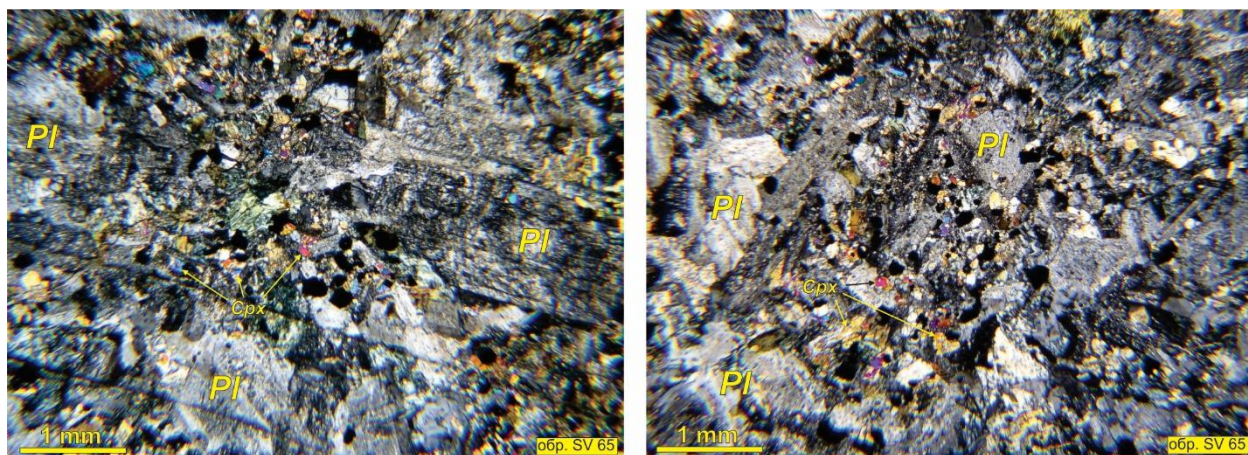
че в някои участъци е запазено кафеникаво-червено вулканско стъкло. Микролитите изграждащи основната маса са от плагиоклаз и по-рядък амфибол.

### Пироксен-амфиболови до амфибол-пироксенови трахиандезити (латити)

Структурата на скалите от лавовите потоци и на магмопроводящите структури от Златушенския палеовулкански център е порфирна по плагиоклаза, амфибола и клинопироксена. В преобладаващите случаи основната маса е цялостно разкristализирала. В случаите, когато тя е непълно разкristализирала се наблюдава запазено вулканско стъкло, разположено в интерстиционното пространство между микролитите.

### Габро-порфирити (субвулкански скали)

Габро-порфиритите имат масивна текстура и порфирна структурата (фиг. 18). Порфирите са предимно от плагиоклаз. Характерна за основната маса е офитовата структура, изразяваща се в наличието на идиоморфни плагиоклазови кристали, в пространството, между които се разполагат хипидиоморфни до ксеноморфни фемични минерали (клинопироксен). Главни скалообразуващи минерали са плагиоклазът и клинопироксенът, и по-рядко амфибол и биотит. Акцесорни са апатит и непрогледни (рудни) минерали.



**Фиг. 18.** Микроскопски снимки на габро-порфирит от Златушенския палеовулкански център (Долна вулканогенно-седиментна задруга).

## **5.2. Средна вулканогенно-седиментна задруга (Ракитовски и Неделковски вулкански центрове)**

### **5.2.1. Базалти и андезитобазалти**

Като базалти и андезитобазалти са определени масивния (моногенен) лавов излив от кариерата при с. Мало Бучино (Ракитовски палеовулкански центрове) и вулканските бомби и блокове от пирокластичните скали, разполагащи се под пилоу лавите при с. Бабица (Неделковски палеовулкански центрове). Структурите са гъстопорфирни при моногенния поток и по-рядкопорфирни при вулканските бомби и блокове. Типични фенокристали за пирокластитите са плагиоклаз, клинопироксен и променен оливин, а при потока от Мало Бучино вместо оливин се среща ортопироксен, който в повечето случаи е обвит от клинопироксен. За лавовия поток е характерна и сериалнопорфирната структура. И

пирокластичните късове, и масивният поток показват миндална текстура, изразяваща се в наличието на овални и елипсовидни газови празнини, запълнени с вторични минерали (карбонати, зеолити, халцедон и др).

### ***5.2.2. Трахиандезитобазалти (шошонити и муджиерити)***

Скалите с трахиандезитобазалтов състав са представени от различни по морфология субвулкански тела. С най-голяма гъстота се срещат в района около с. Неделково, където са описани дайки, силове и тела с неясни и неразкрити взаимоотношения с вместващите ги скали. *Структурите* им са порфирни по плагиоклаза и пироксена. В някои микроскопски препарати са констатирани и напълно променени оливинови фенокристали. Процентът на порфирната фаза варира в широки граници. *Основната им маса* е цялостно разкristализирала, като в много случаи сравнително бързо прехождат от по-финна и дребнозърнеста до интерсертална към относително по-едрозърнеста. Изградена е от безпорядъчно ориентирани плагиоклазови кристали, които в определени участъци имат субпаралелна ориентировка.

### ***5.2.3. Андезити и трахиандезити (латити)***

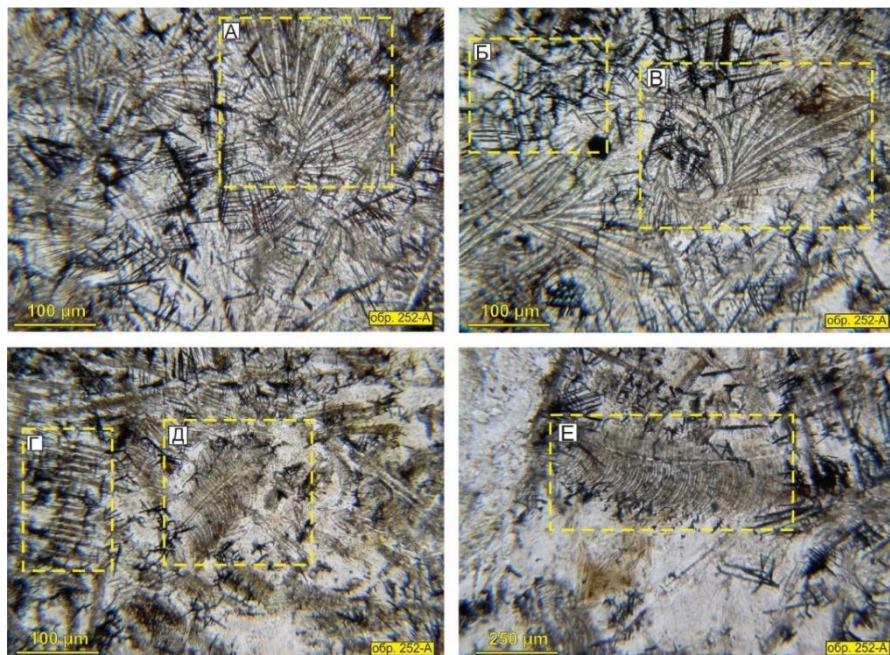
Изследваните образци от пилоу лави се определят като андезити и трахиандезити (латити). Аквалните изливи от Ракитовските вулкански центрове (Мало Бучино и Ракита) имат андезитов състав, докато тези от Неделковските (Бабица и Неделково) се отличават с по-високи съдържания на алкални елементи, и попадат в полето на трахиандезитите. При пилоу лавите от Бабица и Неделково (*Неделковски вулкански центрове*), като скалообразуващ минерал се появява черна слюда (флогопит), кристализирал от по-богатите на калий магми от Неделковските центрове. Завишените концентрации на калий са и причина за образуването на калиеви фелдшпати.

#### **Вътрешни части на пилоу лавите**

*Структурата* на централните части на пилоу лавите е порфирна по плагиоклаза и клинопироксена. Порфирите са хаотично и неравномерно разпределени, като на места образуват гломеропорфирни струпвания. Общо изграждат около 20% от обема на скалата. *Структурата на основната маса* е микролитова, напълно разкristализирала. Изградена е от хаотично разположени и взаимно пресичащи се плагиоклазови микролити, клинопироксен, непрогледни (рудни) и вторични (променителни) минерали. Плагиоклазовите микролити са удължени, с иглест хабитус. Непрогледните минерали присъстващи сред основната маса имат изометрични или дендритовидни очертания.

#### **Периферни части на пилоу лавите**

*Структурата* на перифериите при всички пилоу лави е порфирна по плагиоклаза и клинопироксена. *Основната маса* при пилоу лавите от Мало Бучино (Ракитовски палеовулкански центрове) е съставена от скелетни, перести и дендритовидни пироксенови, плагиоклазови и непрогледни (рудни) минерали (фиг. 19). Всички компоненти на основната маса притежават много специфични характеристики, показателни за бързата скорост на кристализация (фиг. 19).



**Фиг. 19.** Минералого-структурни характеристики на микролити от пилуо лавите от Ракитовските вулкански центрове.

А) и В) Спираловидно огънати, гребенчати пироксенови структури тип „петльов гребен“.

Д) и Е) Перести пироксенови структури

Б) Скелетни структури на непрогледни (рудни) минерали.

Г) Скелетни пироксенови микролити

### 5.3. Горна вулканогенно-седиментна задруга

#### 5.3.1. Люлински палеовулкански център

##### Клинопироксенови андезити

Клинопироксеновите андезити изграждат лавовите потоци и късове, участващи в строежа на епикластитите от района на Люлинския палеовулкански център. Структурата на тези скали е порфирна по плагиоклаза и клинопироксена. Лавовите изливи показват флуидални текстури на течение, оформящи се от редуването на ивици с различен цвят.

#### 5.3.2. Брезнишки палеовулкански център

##### Клинопироксенови трахибазалти и трахиандезитобазалти

Лавовите потоци, магмопроводящите структури и вместиците ги вулканокластични скали в обхвата на Брезнишкия палеовулкан показват трахибазалтов и трахиандезитобазалтов състав (калиеви трахибазалти и шошонити). Скалите са сиво-черни с порфири от плагиоклаз и пироксен. Типична е сериалнопорфирната структура. Чести са гломеропорфирните скупления от клинопироксенови кристали.

#### 5.3.3. Завалските палеовулкански центрове

##### Клинопироксен-амфиболови трахиандезитобазалти (муджиерити)

Скалите с този състав изграждат голямо субвулканско тяло в района на Билински манастир. Отличителна за тези скали е едропорфирната структура с фенокристали от плагиоклаз, клинопироксенпироксен и амфибол (фиг. 19). Основната маса е напълно

разкристализирала и дребнозърнеста. Изградена е от призматични и иглести плагиоклазови микролити и по-малко фемични минерали. В строежа ѝ участват и непрогледни (рудни) минерали.

## **6. Минералогия на вулкански скали от Западно Средногорие**

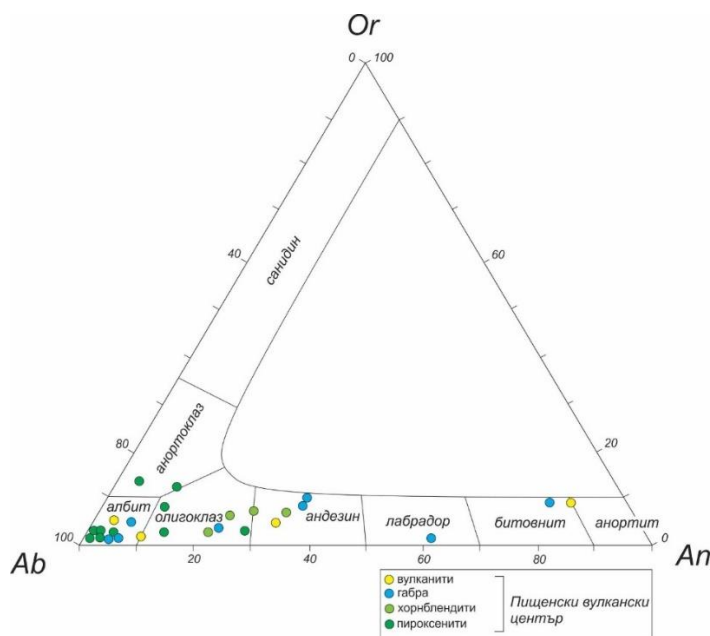
### **6.1. Плагиоклази**

#### **6.1.1. Плагиоклази от долната вулканогенно-седиментна задруга**

В обхвата на задругата са разгледани особеностите на плагиоклази от Пищенския и Златушенския палеовулкански център.

#### **Пищенски палеовулкански център**

На класификационната триъгълна диаграма Ab-An-Or (фиг. 20) химичните анализи на плагиоклазите от вулканските разновидности (предимно хаваити и муджиерити) попадат в полетата на албит, олигоклаз и андезин. Анортитовото съдържание варира в широки граници, но все пак по-голямата част от плагиоклазите показват анортитов компонент в порядъка на An<sub>5</sub>-An<sub>35</sub>. Натриевите състави на анализиранияте плагиоклази вероятно са резултат от кристализация на фелдшпати от обогатена на натрий магма.



**Фиг. 20.** Класификационна триъгълна диаграма Ab-An-Or за състава на фелдшпатите от Пищенския вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга).

#### **Златушенски палеовулкански център**

Всички анализирани фелдшпати от Златуша се разполагат в полетата на андезин, лабрадор и битовнит. Фелдшпатите от вулканските скали (лавови потоци, пирокластити и епикластити) показват малко по-големи вариации по отношение на анортитовия компонент – An<sub>42</sub>-An<sub>71</sub>, докато при дайковите скали той е в порядъка на An<sub>51</sub>-An<sub>72</sub>.

При вулканските разновидности плагиоклазите показват обратна зоналност, с по-богати на Са периферии. Дайките демонстрират обратната тенденция, а именно по-богати

на Са ядра, и по-бедни на анортитов компонент периферии. Коментираниите зоналности успешно могат да се обяснят с процеси на смесване на магми, при които базични топилки се смесват с по-еволуирани. Плагиоклазите от мафичните включения се определят като лабрадор и битовнит, като показват по-богати на Са състави от тези при вулканитите.

### ***6.1.2. Плагиоклази от средната вулканогенно-седиментна задруга***

#### **Ракитовски вулкански центрове**

На триъгълната диаграма Ab-An-Or анализите на плагиоклази от Ракитовските центрове се разполагат в полетата на олигоклаз, андезин, лабрадор и битовнит. Наблюдават се разлики в химизма на плагиоклазите от пилоу лавите и моногенните потоци. Анортитовото съдържание при моногенните изливи варира от An<sub>65</sub> до An<sub>78</sub>, докато при пилоу лавите той е в порядъка на An<sub>12</sub> – An<sub>55</sub>, т.е. моногенните изливи се отличават с по-богати на калций плагиоклази. Характерна е нормалната зоналност, с по-богати на калций ядра, и по-кисели периферии. Тази тенденция се запазва както при пилоу лавите, така и при моногенните изливи.

#### **Неделковски вулкански центрове**

По-голямата част от анализите на фелдшпати от *Неделковските центрове* попадат в полето на олигоклаза.

Анализираните фелдшпати от Ракитовските вулкански центрове се отличават с по-висок анортитов компонент в сравнение с тези от Неделковските центрове. Описаните вариации са в унисон с химизма на скалите от двата центъра, а именно – калиево алкални вулканити при Неделковските и нормално алкални при Ракитовските. Това обяснява и присъствието на калиеви фелдшпати при Неделковските пилоу лави.

### ***6.1.3. Плагиоклази от горната вулканогенно-седиментна задруга***

На диаграмата Ab-An-Or съставите на фелдшпатите попадат в полетата на олигоклаз, андезин и лабрадор. Всички плагиоклази от взривната тръба са определени като андезин, както и тези от субвулканските тела от Завалските центрове. Плагиоклазите, участващи в строежа на субвулканските тела се отличават с по-висок албитов компонент, определящи ги като андезин.

## ***6.2. Клинопироксени***

### ***6.2.1. Клинопироксени от долната вулканогенно-седиментна задруга***

#### **Пищенски палеовулкански център**

Според класификацията на пироксените на Morimoto et al. (1989) клинопироксените от Пищенския вулкански център се определят като авгитов и диопсидов тип със състав En<sub>60-40</sub> Fs<sub>10-20</sub> Wo<sub>35-52</sub>.

Клинопироксеновите фенокристали от вулканските скали (хаваити и муджиерити) попадат в полетата на авгит и диопсид, като по-голямата част от тях се определят като

авгити. Като диопсид са определени клинопироксени от вместишките кумулативните хорнблендити скални разновидности.

Клинопироксените от кумулативните пироксените, хорнблендити и габра се определят като авгити и диопсиди, като все пак по-голямата част от анализите попадат в полето на диопсид.

### **Златушенски палеовулкански център**

В обхвата на Златушенския вулкански център са анализирани клинопироксени от вулканските разновидности, дайките и магматичните включения. На диаграмата En-Fs-Wo клинопироксените се определят като авгитов и диопсидов тип. Както при вулканитите, така и при дайковите скали перифериите на клинопироксеновите фенокристали химически се отличават със завишена магнезиалност. Обратната зоналност на клинопироксените от Златушенския вулкански център успешно би могла да се обясни с процеси на смесване на магми.

#### ***6.2.2. Клинопироксени от средната вулканогенно-седиментна задруга***

Според класификационната диаграма клинопироксените от Ракитовските вулкански центрове се определят като авгитов тип. Авгитите от моногенните лавови изливи се отличават със завишеният си властонитов компонент, спрямо тези от пилоу лавите. Всички анализирани клинопироксени имат нормална зоналност.

Анализираните пироксените от Неделковските вулкански центрове също се определят като авгити.

#### ***6.2.3. Клинопироксени от горната вулканогенно-седиментна задруга***

На триъгълната диаграма En-Fs-Wo клинопироксените от субвулканските тела и от кумулативните хорнблендити се определят като диопсидов тип.

Една част от клинопироксените от вулканитите в тези центрове са авгити, а друга диопсиди. Ортопироксените са редки и обрастнали с клинопироксенови обвивки. Ортопироксенът е енстатит.

Клинопироксените от Брезнишкия вулкански център попадат в полето на авгита. Аналогични са и клинопироксените от експлозивната брекча, но са с по-ниски Са съдържания.

Всички анализирани клинопироксени се класифицират като авгитов или диопсидов тип. За преходно алкалните вулканитите от натриевата серия (Пищенски вулкански център и Завалски вулкански центрове) са характерни предимно диопсидовия тип клинопироксени, с високи съдържания на алуминий и калций. Клинопироксените от Средната вулканогенно-седиментна задруга попадат в полето на авгита. При всички центрове, за които има доказателства за процеси на фракциониране на клинопироксени в дълбоки корови нива е характерен завишен властонитов компонент, докато останалите клинопироксени се определят като авгитов тип.



### **6.3. Амфибол**

Амфиболът присъства в порфирната генерация на вулканите от *долната и горна вулканогенно-седиментна задруга*, и отсъства при магмените продукти от средната вулканогенно-седиментна задруга. Той е главен скалообразуващ при кумулативните хорнблендитови и габрови ксенолити характерни за Пищенския палеовулкански център, като при хорнблендитите изгражда над 90% от тях. Като второстепенен се явява в пироксенитовите кумулативни ксенолити.

#### **6.3.1. Амфиболи от долната вулканогенно-седиментна задруга**

Според класификационната схема на Leake et al. (1997) всички анализирани амфиболи от Пищенския вулкански център са от групата на калциевите амфиболи. Спрямо Si формулни единици и магнезиалността се отнасят към подгрупите на паргасит, магнезиев обикновен амфибол и чермакит. Чермакитов състав показват една част от амфиболите от кумулативните хорнблендити с преобладаваща Mg# в интервала 81 – 99, останалите се определят като паргасит с по-ниска Mg# 60 до 73. Амфиболите участващи в строежа на кумулативните пироксенити и габра се отличават с по-висока магнезиалност и се класифицират като паргаситов тип. Амфиболовите фенокристали сред вулканските разновидности са паргасит.

Сред кумулативните ксенолити с най-високи съдържания на  $Al_2O_3$  са амфиболите от кумулативните пироксенити (11 – 18%) следвани от хорнблендитите (13-15%), и най-ниски са при кумулативните габра (12-14%). При габрата се отделят два типа амфиболи. Едните са с по-ниски концентрации на  $Al_2O_3$  и изграждат едрозърнестите (пегматоидни) разновидности, докато амфиболите от среднозърнестите габра имат по-високи съдържания на  $Al_2O_3$ . Това разграничаване предполага различни хипсометрични нива, в които се е осъществявала кристализация на амфиболи от кумулативните габра. По отношение на съдържанията на  $Na_2O$  се наблюдава постепенно увеличаване на концентрациите от кумулативните хорнблендити (0-1,5%), през пироксенитите (0-2,9%) до габрата (2,5-4,2%).

Амфиболовите фенокристали от Златушенския център се класифицират като паргасит, обикновен магнезиален амфибол и чермакит. Анализите на амфиболи от магматичните включение ги определят като чермакит и паргасит.

#### **6.3.2. Амфиболи от горната вулканогенно-седиментна задруга**

Сред продуктите на горната вулканогенно-седиментна задруга амфиболът се среща като порфирен минерал при Завалските вулкански центрове и много рядко при Брезнишкия палеовулкан. Той е главен скалообразуващ в ксенолитите от кумулативни хорнблендити от Завалските центрове.

Според използваната класификационна схема анализираните амфиболи от Завалските вулкански центрове са от групата на калциевите амфиболи. Съставите им съответстват на паргасит, магнезиохейстингсит, хейстингсит.

Амфиболовите фенокристали сред вулканитите са паргаситов тип. Кумулативните амфиболи са определени като магнезиохейстингсит, а от субвулканските тела – магнезиохейстингсит и хейстингсит.

#### **6.4. Черни слюди**

От магматичните минерали от групата на слюдите е констатиран единствено флогопит. Характерен е за пилоу лавите от Неделковските вулкански центрове от средната вулканогенно-седиментна задруга. Сред тях флогопитът се среща като дребни люспици включени в плагоклазовите фенокристали.

#### **7. Химичен състав на магмените скали**

##### **7.1. Химичен състав на магмените скали от долната вулканогенно-седиментна задруга (Пищенски и Златушенски вулкански центрове)**

###### **7.1.1. Макрохимичен състав**

На диаграмата  $K_2O-SiO_2$  (Pecserillo and Taylor, 1976), използвана за подялба на скалните серии (фиг. 21), скалите попадат в полетата на калциево алкалната, високо-калиево калциево-алкалната и шошонитова серия.

За класифициране на вулканските скали и за определяне на наименованията им е използвана TAS-химична класификационна диаграма (Le Bas et al., 1986) (фиг. 21).

Вулканитите от Пищенския вулкански център попадат в полетата на андезитобазалта, андезита, трахибазалта, трахиандезитобазалта и трахиандезита, при доминиране на трахиразновидностите. Образците попадащи в полето на трахибазалта са определени като хаваити, а тези попадащи в полето на трахиандезитобазалта като муджиерити, т.е. принадлежащи към натриевата серия. На базата на това съотношение два от анализите се определят като шошонити.

Фигуративните точки на вулканитите от района на Златушенския вулкански апарат попадат предимно в полетата на трахиандезитобазалта и трахиандезита. Двете анализирани дайкови скали са определят като андезити и дацити. Въз основа на съотношението  $K_2O - Na_2O$ , скалите които попадат в полетата на трахи-разновидностите са определени като шошонити и латити.



фракциониране на фемични минерали (оливин, клинопироксен, ортопироксен, ±амфибол, ±биотит). Отрицателните линейни трендове при CaO се предизвикват от фракциониране на пироксен и амфибол.

По отношение на TiO<sub>2</sub> при съставите от Пищенския вулкански център се наблюдава закономерно намаляване на съдържанията му с увеличаване съдържанието на SiO<sub>2</sub>, докато една част от вулканитите от Златушенския палеовулкан показват обратната тенденция, увеличават се съдържанията на TiO<sub>2</sub> с напредването на магматичната еволюция. Отрицателните корелации между TiO<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> подсказват за фракциониране на Fe-Ti оксиди, особено при Пищенския вулкански център, където са най-добре проявени.

Измененията на Na<sub>2</sub>O спрямо тези на SiO<sub>2</sub> са различни за двата изследвани вулкански апарата. При Пищенския център те се увеличават с увеличаване съдържанията на SiO<sub>2</sub>, като най-ниски концентрации на Na<sub>2</sub>O показват кумулатите. При вулканитите от Златушенския център съдържанията на Na<sub>2</sub>O намаляват.

### **7.1.2. Елементи-следи на скалите**

#### *Литофилни елементи*

Елементите следи с малки йонни радиуси Sc, V, и Ni показват добре изразени отрицателни корелации със SiO<sub>2</sub>, предизвикани вероятно от фракциониране на фемични минерали. *Алкалните и алкалоземни елементи* (Rb, Sr, Ba) имат различни съдържания при двата изследвани вулкански апарата от Долната вулканогенно-седиментна задруга. Магматичните продукти от Златушенският вулкански център се отличават с по-високи съдържания на тези елементи в сравнение с тези от Пищенския, поради по-еволуираният характер на скалите от Златушенския център.

*Високорядните елементи-следи* (HFSE – Nb, Ta, Zr и Hf) имат сходно поведение. Съдържанията им нарастват в по-еволуиралите скали. Тези елементи имат тенденция на относително по-високи съдържания във вулканитите от Златушенския вулкански апарат.

U и Th, които от една страна са елементи с висока валентност, а от друга – имат относително по-голям йонен радиус, също показват положителна корелация със SiO<sub>2</sub> и по-високи съдържания в района на Златушенския вулкански център.

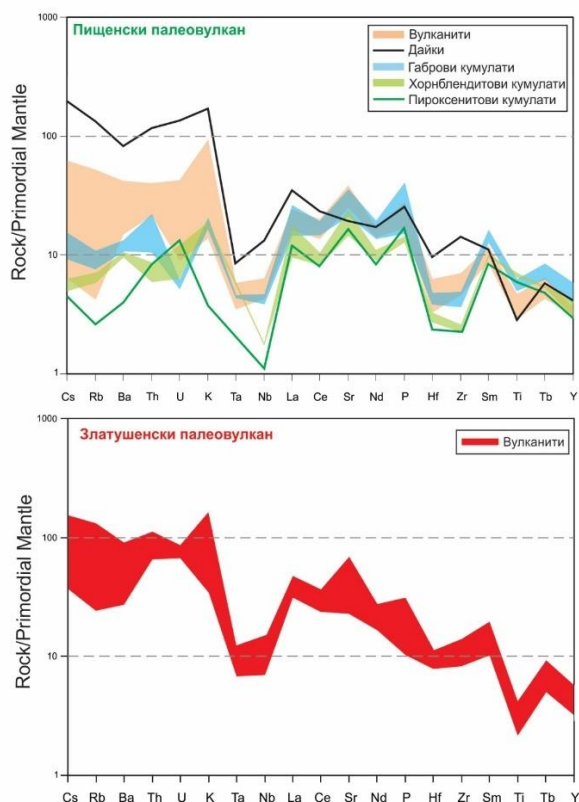
Като цяло, магмените продукти (кумулати и вулканити) от Пищенския вулкански апарат се характеризират с по-високи съдържания на някои съвместими елементи (Sc, V, Cr, Ni) и относително по-ниски на несъвместимите (Zr, Ba, La, Ce, Nb, Hf, Th, U).

*Мултиелементните диаграми* (фиг. 22) на несъвместимите елементи на магмените скали от Долната вулканогенно-седиментна задруга, нормализирани спрямо примитивна мантия, показват отчетливо обогатяване на елементи с големи йонни радиуси (Cs, Rb, Ba, Th, U, K) и обедняване на високорядни елементи (Nb, Ta, Ti). Тази типична особеност за генерираните в субдукционни обстановки магми е по-добре изразена при Златушенския палеовулкан.

На спайдерграмите с нормализирани към примитивна мантия състави се открояват няколко типични отрицателни аномалии. Вулканитите от Пищенския и Златушенския център, както и кумулатите показват добре изразени Ta-Nb негативни аномалии. Всички

магматични разновидности, с изключение на пироксенитите и хорнблендитите показват добре изразена отрицателна Ti аномалия, резултат от остатъчен рутил в източника.

За вулканитите и кумулативните разновидности от Пищенския вулкански център е характерна Hf-Zr негативна аномалия, която отсъства при Златушенските вулканити. Добре изразената Hf-Zr аномалия вероятно е резултат от остатъчен (резидуален) циркон в източника подложен на топене.



**Фиг. 22.** Нормирани по примитивна мантия (Wood et al., 1979) диаграми за скали от Долната вулканогенно-седиментна задруга (Пищенски и Златушенски палеовулкан).

Хондрит-нормираните диаграми на скалите от долната вулканогенно-седиментна задруга (Пищенски и Златушенски вулкански център) се характеризират с обогатяване на леките спрямо средните и тежки редкоземни елементи. Всички магматични разновидности показват много слабо проявена отрицателна Eu аномалия, което доказва незначителната роля на плагиоклаза като фракционираща минерална фаза. Спектрите на разпределение на редкоземните елементи демонстрират съществената роля на фракционирането на амфибол и пироксен.

## 7.2. Химичен състав на магмените скали от Средната вулканогенно-седиментна задруга (Ракитовски и Неделковски вулкански центрове)

### 7.2.1. Макрохимичен състав на скалите

На стандартната диаграма, използвана за подялба на скалните серии  $K_2O-SiO_2$  скалите попадат в полетата на калциево алкалната, високо-калиево калциево-алкалната и шошонитова серия. Образците от Неделковските вулкански центрове се отличават от Ракитовските по завишените съдържания на  $K_2O$ , попадайки в полето на шошонитовата

серия. Магмите продуцирали Неделковските вулканити първично са били обогатени на калий, в резултат на което е и кристализацията на черна слюда (флогопит) и калиев фелдшпат.

Класификационно скалите от Ракитовските вулкански центрове попадат в полетата на базалта, андезитобазалта, андезита, трахиандезитобазалта и трахиандезита. Моногенните лавови изливи се определят като базалти и андезитобазалти, докато аквалните лавови потоци тип „пилоу лави“ като андезити.

Субвулканските тела, разкриващи се сред средната вулканогенно-седиментна задруга имат трахиандезитобазалтов състав, а вулканокластитите трахиандезитов. Трахиразновидностите допълнително са подразделени въз основа съотношенията  $K_2O - Na_2O$ . На базата на това отношение субвулканските тела са шошонити, а вулканокластитите – латити. Фигуративните точки на вулканитите от Неделковските вулкански центрове попадат предимно в полетата на трахиандезитобазалта и трахиандезита. Въз основа на съотношението  $K_2O - Na_2O$ , скалите които попадат в полетата на трахи-разновидностите са определени като шошонити (субвулкански тела) и латити (пилоу лави). Вулканокластитите от Неделковските центрове попадат в полетата на андезитобазалта и трахиандезита.

На диаграмите  $SiO_2$  – главен петрогенен оксид (Харкеров тип),  $FeO_t$ ,  $MgO$  и  $CaO$  се установяват относително добре изразени отрицателни линейни трендове спрямо  $SiO_2$ . Съдържанията на тези елементи в скалите от Ракитовските центрове са по-високи от тези в Неделковските.  $FeO_t$  и  $MgO$  насочват към фракциониране на фемични минерали, докато  $CaO$  към фракциониране пироксен и/или амфибол.

По отношение на  $TiO_2$  при съставите от Неделковските и Ракитовски вулкански центрове се наблюдава закономерно намаляване на съдържанията му с увеличаване съдържанието на  $SiO_2$ , което показва фракционитане на  $Fe-Ti$  оксиди.

Образците и от двете вулкански групи показват ясни тенденции на увеличаване на съдържанията на  $K_2O$  с напредване на магматичната еволюция.

### **7.2.1. Елементи-следи на скалите.**

Съвместимите елементи следи ( $Sc$ ,  $V$ , и  $Ni$ ) показват отрицателна корелация с  $SiO_2$ . Намаляването на съдържанията им вероятно се дължат на процеси на фракциониране на фемични минерали (оливин, клинопироксен, ортопироксен, ±амфибол, ±биотит)

*Алкалните и алкалоземни елементи* ( $Rb$ ,  $Sr$ ,  $Ba$ ) имат различни съдържания при Ракитовските и Неделковски вулкански центрове. Продуктите от действието на Неделковските апарати се отличават с по-високи съдържания на  $Rb$  и  $Ba$  спрямо тези от Ракитовските. Харкеровите диаграми и за двата елемента показват ясни положителни корелации с  $SiO_2$ .

*Високорядните елементи-следи* (HFSE –  $Nb$ ,  $Ta$ ,  $Zr$  и  $Hf$ ) при Неделковските вулкански центрове нарастват от по-примитивните към по-еволюираните магматични състави.

*Мултиелементните диаграми* на несъвместимите елементи на магмените скали от Средната вулканогенно-седиментна задруга, нормализирани спрямо примитивна мантия, показват отчетливо обогатяване на елементи с големи йонни радиуси (Cs, Rb, Ba, Th, U, K) и обедняване на високоразрядни елементи (Nb, Ta, Ti).

*Хондрит-нормираните диаграми* на скалите от Средната вулканогенно-седиментна задруга (Ракитовски и Неделковски вулкански центрове) се характеризират с обогатяване на леките спрямо средните и тежки редкоземни елементи. Всички магматични разновидности показват много слабо изразена отрицателна Eu аномалия.

### **7.3. Химичен състав на магмените скали от горната вулканогенно-седиментна задруга.**

#### **7.3.1. Макрохимичен състав на скалите**

На диаграмата  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  (Peccerillo and Taylor, 1976) скалите попадат в полетата на толеитовата, калциево алкалната и шошонитова серия.

Анализираните състави от Люлинския вулкански център се определят като андезити. Брезнишките вулканити като преходноалкални (калиеви трахибазалти и шошонити), а тези от Завалските вулкански центрове се разполагат на границата на полетата на трахиандезитобазалта и трахиандезита, като за всички тях  $\text{Na}_2\text{O} - 2 > \text{K}_2\text{O}$ , съответно трахиразновидностите могат да се определят като муджиерити и бенморейти.

По химизъм скалите от Завалските центрове значително се различават от Брезнишкия и Люлинския с принадлежността си към натриевата серия. Наличието на ксенолити от кумулативни хорнблендити сред магмените скали от Завалските центрове позволява интерпретации сходни с тези, които са направени за Пищенските вулканити.

*Мултиелементните диаграми* за вулканити от горната вулканогенно-седиментна задруга (Люлински, Брезнишки и Завалски центрове), нормализирани спрямо примитивна мантия показват отчетливо обогатяване на елементи с големи йонни радиуси (Cs, Rb, Ba, Th, U) и обедняване на високоразрядни (Ta, Nb, Ti). Добре проявени и при трите вулкански центъра са Ta, Nb и Ti отрицателни аномалии.

На *хондрит нормираните диаграми* скалите от трите вулкански района показват спектри с по-силно обогатяване на LREE по отношение на HREE. Вулканитите от Брезнишкия и Завалските центрове са по-обогатени на REE в сравнение с тези от Люлинския. Скалите показват слаба европиева аномалия, която е по-добре изразена при Люлинския вулкански център.

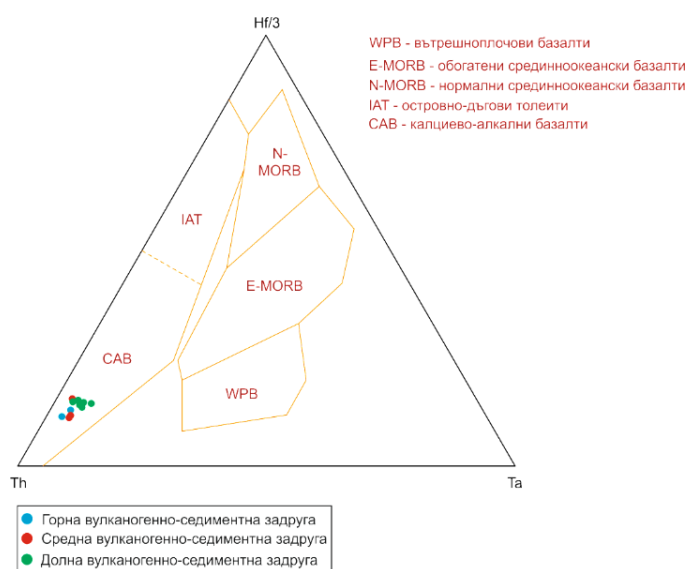
По отношение на състава и сериалността на магмените скали от изследваните центрове се констатират някои тенденции, касаещи пространственото разположение на изследваните комплекси. В обхвата на долната вулканогенно-седиментна задруга най-северозападно разполаганият се вулкански център се отличава от другите по преходноалкалния вулканизъм, и по-конкретно с натриев афинитет. Подобна закономерност се забелява и в средната вулканогенно-седиментна задруга. Сред нея продуктите от Неделковските центрове се отличават със завишена калиева алкалност, докато тези от

Ракитовските са нормалноалкални. Неделковските центрове се разполагат в най-северозападните части от средната вулканогенно-седиментна задруга. Сходни тенденции се установяват и в горната вулканогенно-седиментна задруга. Най-северозападно разполагащите се Завалски центрове се отличават с натриевоалкален вулканизъм.

## 8. Тектонска обстановка на протичане на магматизма

За определяне на тектонската обстановка на протичане на магматизма в Западно Средногорие са използвани геохимичните характеристики на скалите. При употребата на дискриминантния подход на Pearce and Cann (1973) са използвани геохимични данни на мафични скали, за които се предполага, че са изпитали по-слабо влиянието на процесите на магматична диференциация. Дискриминантната диаграма Th-Hf-Ta (фиг. 23) постига ясно дискриминиране. В конкретният случай от Западно Средногорие използваните състави и за трите задруги попадат в полето на деструктивните граници на плочите, и по-точно в подполето на калциево-алкалните базалти (поле CAB).

Дискриминантната диаграма на Пиърс Th/Yb към Ta/Yb (фиг.24) дава възможност да се разграничават не само определени тектонски дъгови обстановки, но и сериалния тип на вулканските свити, и то в съгласност с определена геодинамична обстановка. На тази диаграма Pearce (1983) разширява интерпретацията на дискриминантните отношения и изчислява като вектори посоките на измененията, свързани със субдукционния привнос (S), с корово замърсяване (C) и с фракционна кристализация (f, при степен на фракциониране F=0,5). Трябва да се отбележи, че процесите на замърсяване на континенталната кора и тези от субдукцията са с много близки направления на векторите си и трудно се разграничават само по тази диаграма. Диаграмата доказва, че магматизма в Западно Средногорие се е осъществявал в условията на активна континентална дъга. Доминиращ процес на диференциация е фракционната кристализация, съобразявайки се с изчислените от авторите вектори.



Фиг. 23. Дискриминантна диаграма Th-Hf-Ta (Wood et al., 1979) за вулканити от Западно Средногорие.

**WPB** – вътрешноплохови базалти

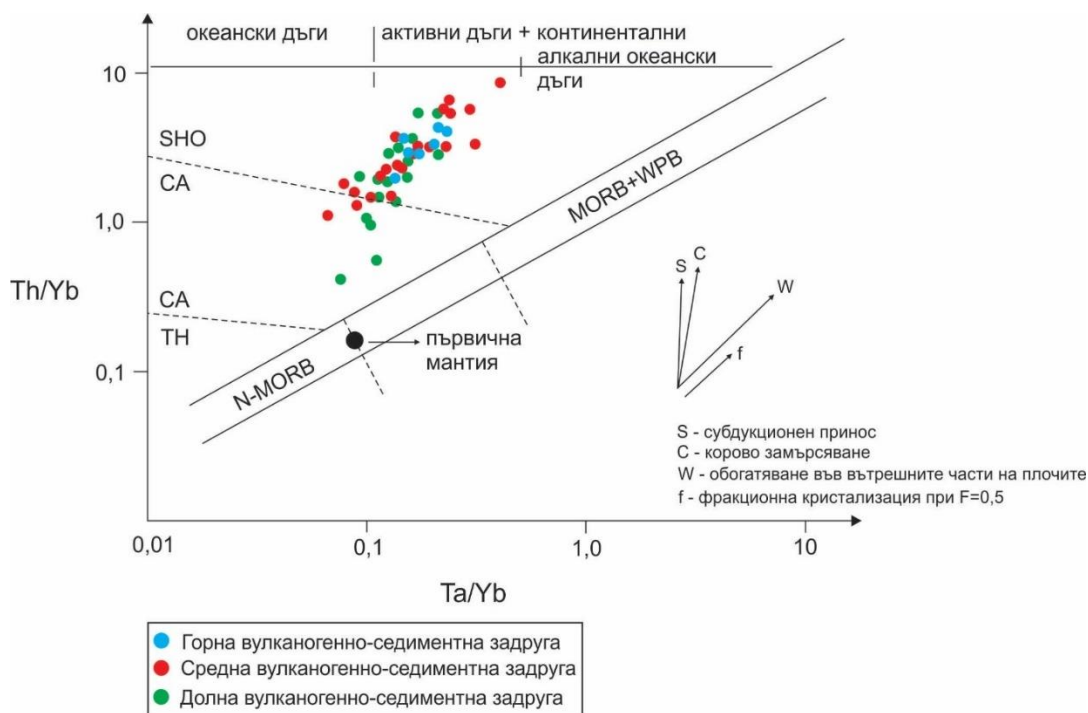
**E-MORB** – обогатени срединноокеански базалти

**N-MORB** – нормален срединноокеанско хребетен базалт

**IAT** – островно-дъгови толеити

**CAB** – калциево-алкални базалти





Фиг. 24. Диаграма Th/Yb към Ta/Yb, по Pearce (1983), с нанесени полета за някои дъгови обстановки.

## 9. Условия на кристализация

### 9.1. Температура

Температурата на кристализация на изследваните магматични продукти е пресметната с използването на няколко геотермометъра: клинопироксен-топилка (Putirka, 2008), фелдшпат-топилка (Putirka, 2008), амфиболов (Ridolfi et al., 2010) и амфибол-плагиоклазов (Holland and Blundy, 1994).

Анализите на амфиболи от кумулативните скали дават температури от 1025-1043°C за пироксенитите и 1006-1038°C за кумулативните хорнблендита. Най-големи температурни вариации има при габрата – от 951 до 1020°C, които вероятно се дължат на две различни нива, на които се е осъществявала кристализацията на амфибола от тези кумулативни разновидности. Температурите на кристализация на амфибола във вулканските скали с натриева сериалност (хаваити и муджиерити) от Пищенския вулкански център варират от 983 до 1019°C.

Температурите на кристализация на амфиболи за скали от Златушенския вулкански център са по-ниски от тези при Пищенския. Амфиболовият геотермометър показва температури на кристализация за вулканските разновидности (андезитобазалти, андезити и латити) от 885 до 940°C. По-високотемпературни са амфиболите от магматичните включения – 945-954°C.

Относно температурата на кристализация на магмените скали от долната вулканогенно-седиментна задруга може да се направи следното заключение. Магматичните продукти от Пищенския център са по-високотемпературни в сравнение с тези от

Златушенския. В рамките на Пищенския палеовулкан най-високи температури на кристализация показват кумулативните пироксенити, следвани от хорнблендитите и габровите ксенолити. Най-нискотемпературни са вулканските скални разновидности.

За определяне температурите на кристализация на скалите от горната вулканогенно-седиментна задруга са използвани амфиболовия термометър и плагиоклаз-топилка. Според термометъра на Ridolfi et al. (2010) субвулканските тела от Завалските вулкански центрове (муджиерити) са кристализирали при температури от 1049-1051°C, а за вулканитите от Брезнишкия палеовулкан е пресметната температура на кристализация на амфибола от 841°C.

## **9.2. Налягане**

Налягането на кристализация на магматичните продукти от изследвания район е пресметнато по амфиболовия геобарометър на Ridolfi et al. (2010) и плагиоклаз-топилка и клинопироксен-топилка на Putirka (2008).

Най-правдоподобни изглеждат пресмятанията на налягането по състава на амфиболите по емпиричния геобарометър на Ridolfi et al. (2010).

Най-високи налягания на кристализация показват скалите от Пищенския вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга). За кумулативните пироксенити са определени налягания на кристализация на амфибола в порядъка на 808-861 МРа, за хорнблендитите – 835-1025 МРа и за габрата – 572-716 МРа. Съдейки по изчислените налягания за кумулативните пироксенити и хорнблендити може да се предположи, че амфиболите вероятно са започнали да кристализират в дълбококорова (около 30 km) магмена камера. Кристализацията на амфиболите от кумулативните габра се е осъществявала в по-плитки корови нива – 18-20 km, като съдейки по вариациите в изчислените налягания вероятно амфиболите от кумулативните габра са кристализирали на две корови нива. Като заключение от изчислените налягания и съответно дълбочини на кристализация могат да се направят следните изводи. В най-дълбоки нива (около 30 km), вероятно на границата горна мантия – долна кора са кристализирали хорнблендитите, непосредствено над тях (28 km) е започнала кристализацията на кумулативните пироксенити, над които се е осъществила кристализацията на среднозърнестите кумулативни габра (26 km). Кристализацията на едрозърнестите (пегматоидни) габра се е осъществявала в по-високи корови нива (около 18 km).

Вулканските скали от Пищенския вулкански център показват налягания на кристализация между 450-670 МРа.

Значително по-ниски налягания на кристализация показват вулканитите от Златушенския вулкански център. Изчислените по амфиболовия геотермометър налягания са между 215 и 414 МРа, като преобладават налягания в обхвата 220-300 МРа, като вариациите вероятно се дължат на две нива, в които се е осъществявала кристализацията. Магматичните включение демонстрират налягания на кристализация около 430-498 МРа.

Амфиболите от субвулканските тела при Завалските вулкански центрове (горна вулканогенно-седиментна задруга) показват налягания от 769 МРа, а вулканитите от Брезнишкия център - 225 МРа.

#### **9.4. Съдържание на вода**

Съдържанието на вода в магмите е определено по различни методи – по състава на амфибола (Ridolfi et al., 2010) и плагиоклаз-топилка (Piturka, 2008).

В обхвата на Пищенския вулкански център най-високи съдържания на вода показват кумулативните хорнблендита – 8,4 до 9,4 w.%. За кумулативните пироксенита са изчислени съдържания на вода от 5,9 до 6,8w.%, а за кумулативните габра – 4,9-6,9 w.%. Вулканитите от Пищенския вулкански център показват съдържания на вода от 4,5 до 5,4 w.%.

За вулканските продукти от Златушенския вулкански център са характерни съдържания на вода в рамките на 5,9-7,3 w.%, докато дайковите скали са 6,4-7,1 w.%. Повисоки съдържания на вода имат магмите генерирани магматичните включения – 7,1-7,5 w.%. Субвулканските тела от Завалските вулкански центрове (горна вулканогенно-седиментна задруга) се характеризират със съдържания на вода от 4,8 w.%, а вулканитите от Брезнишкия вулкански център – 8,3 w.%.

Съдържанията на вода в изследваните магми от Западно Средногорие е в съответствие с определените съдържания на вода в дъгови (субдукционни) обстановки, които са 2-6 w.% за базалти (Anderson, 1979; Sisson and Grove, 1993; Pichavant et al., 2002) и 4-6 w.% за средни магми (Anderson, 1979; Carmichael, 2004; Blundy and Cashman, 2005), въпреки че съдържанието на вода в дъгови магми може да достигне и до 10 w.% (Grove et al., 2003). В изследваната част от Западно Средногорие кумулативните хорнблендита показват именно такива високи съдържания на вода, достигащи до 9,4 w.%.

### **10. Петрогенезис**

Магматизмът в субдукционните обстановки е резултат от различни петрогенетични процеси, които включват частично топене на мантиен или континентален субстрат, предшестван от процеси на обогатяване или обедняване на източника, последвани от магмодиференциращи процеси на фракционна кристализация, контаминация и смесване на магми.

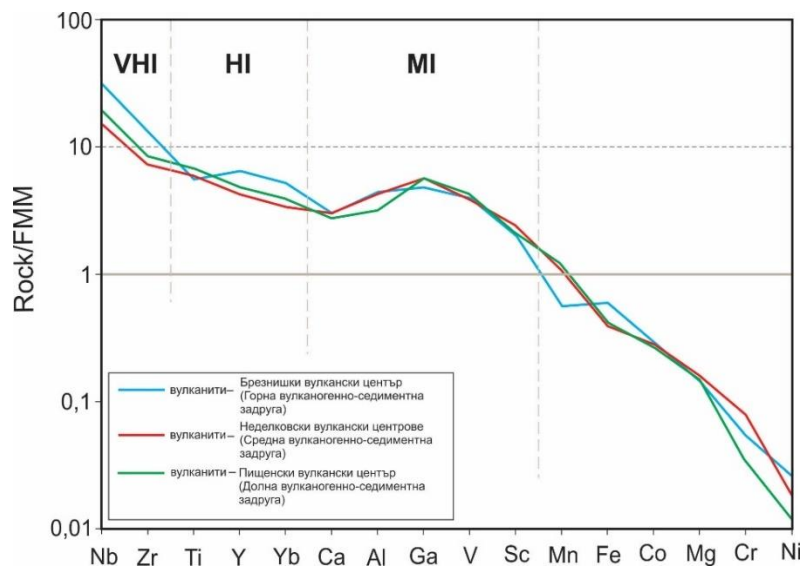
В настоящата глава ще бъдат дискутирани процесите на магмогенериране и последвала диференциация на топилките в Западно Средногорие.

#### **10.1. Магмен субстрат**

Еволюираният характер на мафичните вулканити налага използването на индиректни геохимични доказателства за установяване характера на мантийния субстрат, от който те са генерирани.

За изясняване геохимичните критерии, разкриващи особеностите на мантийното топене над субдукционните зони е използвано разпределението на някои главни и елементи следи, нормализирани към FMM (плодородна COX мантия), (Pearce & Parkinson, 1993). На спайдерграмата (фиг. 25) елементите са подредени в ред с намаляваща несъвместимост (надясно). На спайдерграмата на най – примитивните състави от Пищенския палеовулкан, Неделковските вулкански центрове и Брезнишкия вулкански център отношението между VHI (много силно несъвместими елементи), HI (силно несъвместими елементи) и MI (умерено несъвместими елементи) е следното: VHI > HI > MI. Такова отношение в спектрите

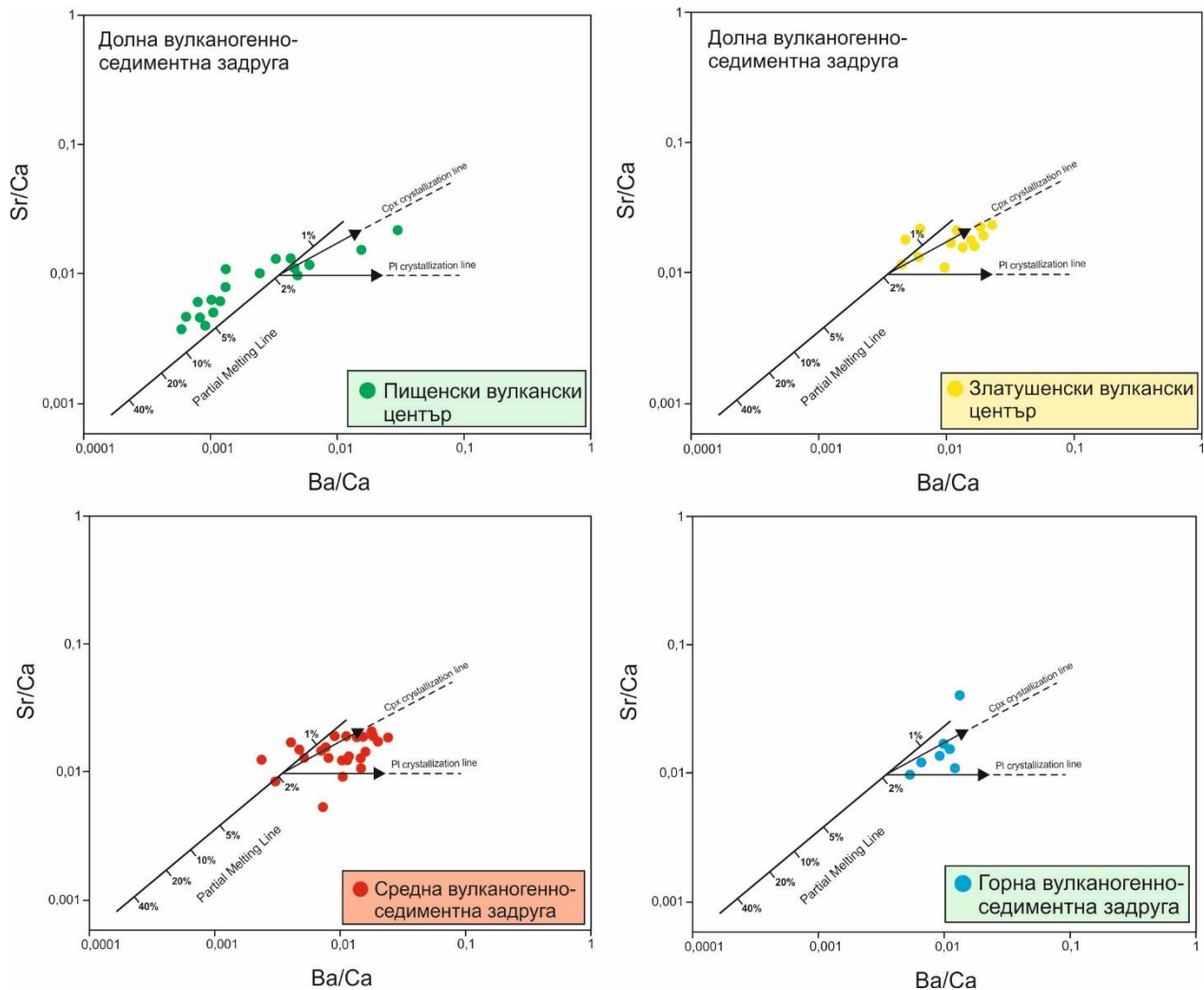
на нормализираните елементи отговаря на нисък до умерен процент на топене (около 5%) на обогатена FMM („плодородна” MORB мантия) при сравнението с моделираните спектри на Pearce & Parkinson, (1993).



**Фиг. 25.** Спайдерграма на най-примитивните магмени скали от Западно средногорие с нормализирани към FMM съдържания на избрани главни и елементи-следи (по Pearce and Parkinson, 1993).

Концентрациите на Ca, Sr, и Ba и отношенията Sr/Ca и Ba/Ca са използвани като индикаторни за процесите на магмогенериране и последвала диференциация (Onuma and Montoya, 1984).

На базата на обособените трендове на фиг. 26 може да се заключи, че изследваните магмени скали са резултат от взаимното действие на процеси на парциално топене и фракционна кристализация. Вариациите в изследваните магматични продукти от Пищенския вулкански център са резултат от парциално топене на около 5% мантийно вещество и последвала фракционна кристализация на клинопироксен. Клинопироксенът е доминиращ фракциониращ минерал и при вулканитите от Златушенския вулкански център. При магмените скали от Средната вулканогенно седиментна задруга се предполага едновременно фракциониране на клинопироксен и плагиоклаз.



**Фиг. 26.** Диаграми Ba/Ca – Sr/Ca за магмени скали от Западно Средногорие (по Опита and Montoya, 1984).

### 10.2. Фракционна кристализация

Приемайки, че кумулативните скали са резултат от горнокредния магматизъм в Западно средногорие, то те се явяват най-убедителното доказателство за процеси на фракционна кристализация. Подобни кумулативни скални разновидности са описвани в много вулкански и континентални дъги. За първи път в България се докладва за толкова разнообразни по минерален състав кумулативни магмени продукти.

Поведението на главни и елементи следи на харкеровите диаграми подсказва за фракционирането на различни минерали.

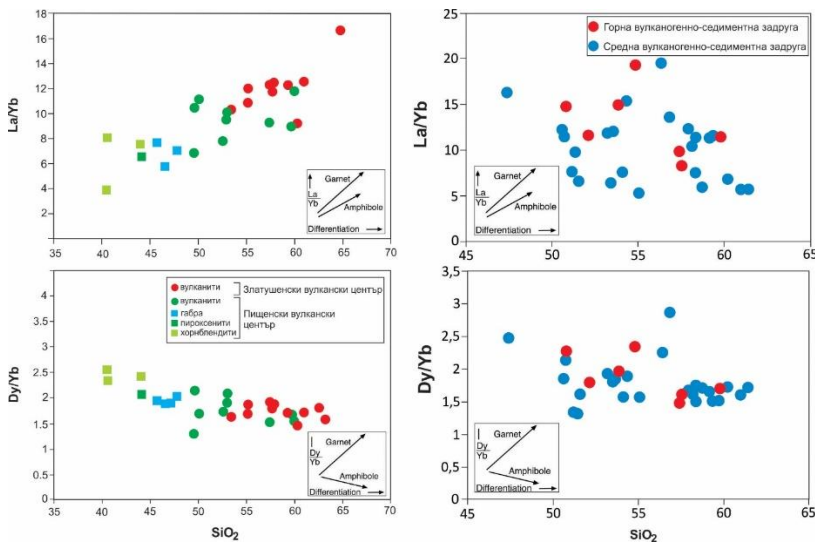
Индикация за фракционирането на фемични минерали (оливин, клинопироксен, ортопироксен,  $\pm$ амфибол,  $\pm$ биотит) е намаляването на FeO<sub>t</sub>, MgO, Sc, V, Cr, Ni. CaO намалява в резултат на фракциониране на плагиоклаз и клинопироксен. Вероятно и при трите задруги най-съществено влияние е имало фракционирането на фемични фази, и в много по-малка степен плагиоклаз. Доказателство за това са много слабо изразените европейски негативни аномалии на хондрит-нормираните диаграми.

Многогодишният опит е показал, че едни от най-чувствителните към фракционната кристализация са редкоземните елементи.

На изготвените вариационни диаграми ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{La/Yb}$  и  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Dy/Yb}$ ) са нанесени отделно анализираните образци от Пищенския и Златушенски палеовулкан (Долна вулканогенно-седиментна задруга) и тези от Средната и Горна вулканогенно-седиментни задруги (фиг. 27).

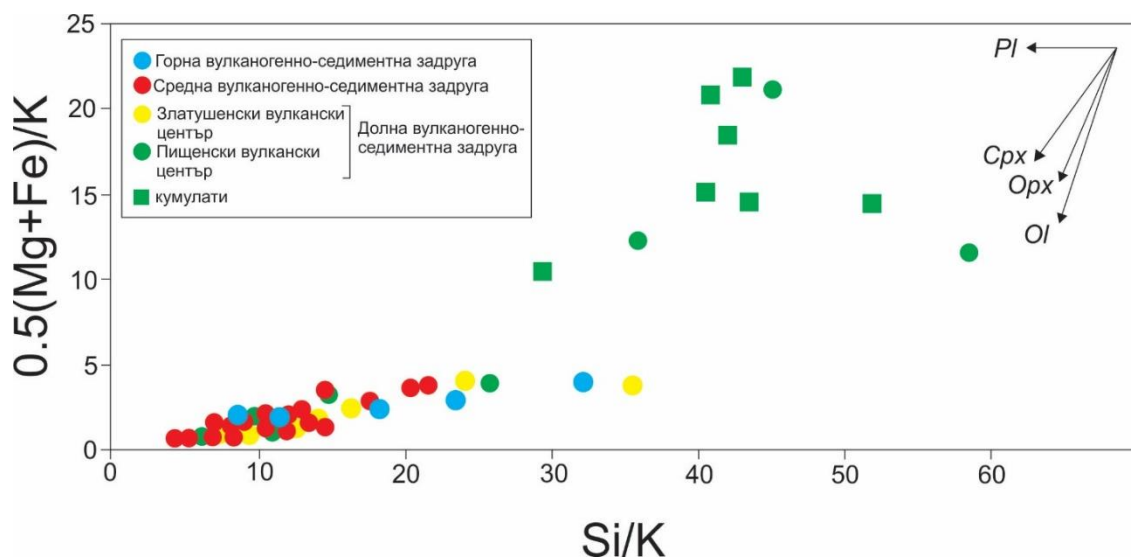
Очертаващите се трендове за Пищенския и Златушенски палеовулкан се припокриват значително с експериментално изведените от Rapp and Watson (1995) модели (вектори) за фракциониране на амфибол. Ако диаграмата  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{La/Yb}$  не дава еднозначен отговор, то  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Dy/Yb}$  (фиг. 27) ясно показва, че амфиболът е основен фракциониращ минерал, имащ отношение към еволюцията на магматизма в тази част от Западно Средногорие, особено що се касае до магматизма в *долната вулканогенно-седиментна задруга*.

При Средната и Горна вулканогенно-седиментна задруга трендовете не са толкова ясни, въпреки това се очертават подобни тенденции.



**Фиг. 27.** Диаграми  $\text{SiO}_2 - \text{La/Yb}$  и  $\text{SiO}_2 - \text{Dy/Yb}$  за скали от Западно Средногорие. Изведените трендове на фракциониране са по Rapp and Watson (1995).

Относителното влияние на главните скалообразуващи минерали е представено на фиг. 28. Анализите на вулканити и от трите задруги образуват прави линии. Значителни отклонения има при кумулатите от Пищенския вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга). И в трите задруги вероятно най-голямо влияние оказва фракционирането на клинопироксен (в съчетание с амфибол). Фракционирането на плагиоклаз е възможно слабо да се отразило върху еволюцията на магмените скали от Средната вулканогенно-седиментна задруга.



**Фиг. 28.** Диаграма  $Si/K - 0.5 \cdot (Mg+Fe)/K$  на магмени скали от Западно Средногорие. Със стрелки са отбелязани трендовете при фракциониране на плагиоклаз, клинопироксен, ортопироксен и оливин.

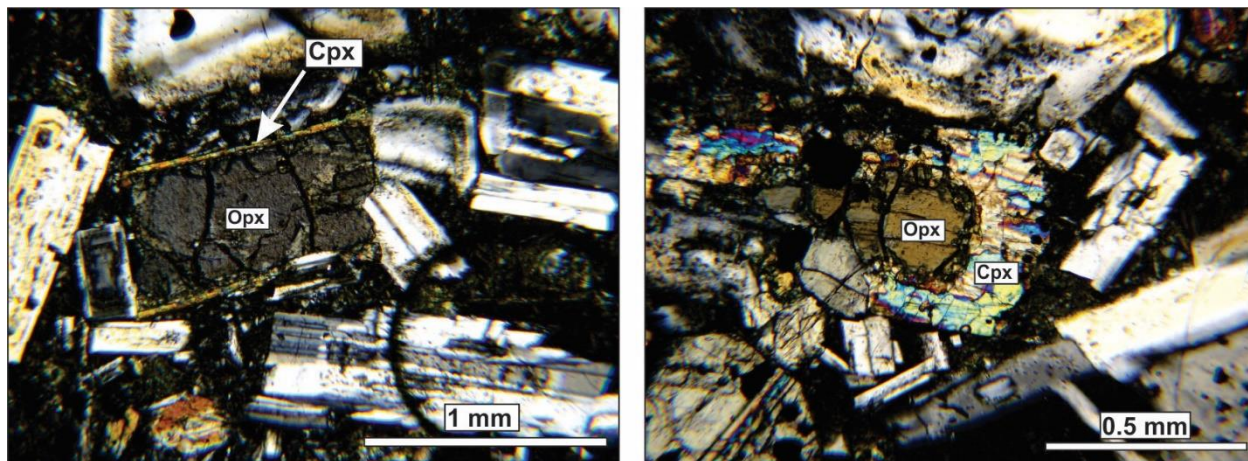
Отрицателните корелации между  $TiO_2$  и  $SiO_2$  подсказват за фракциониране на Fe-Ti оксиди, особено при Пищенския вулкански център, където са най-добре проявени.

В еволюцията на магматизма в изследваната част от Западно Средногорие фракционната кристализация е доминиращ процес, обусловил геохимичните особености на магмените скали. Фракционирането на фемични минерали (амфибол и клинопироксен) на границата горна мантия – долна кора е основен фактор, обусловил формирането на кумулативните разновидности (хорнблендите, пироксените и габра). Богатите на калций кумулативни минерални фази (пироксен и амфибол) са в основата на генерирането на топилки с високи концентрации на алкалии. Високите съдържания на натрий в тези остатъчни топилки са продуцирали генерирането на обогатени на този елемент магми сред продуктите от действието на Пищенския вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга), докато за скалите от Златушенския център се отличават с принадлежността си към калиевата серия.

### 10.3. Смесване на магми

Голяма част от изследваните вулкански скали показват признаци на смесване на магми. Еднозначен критерий са констатираните сред дайките от Златушенския вулкански център магматични включения. При липсата на директни признаци, идентификацията на процеса е трудна и често нееднозначна. Често скалите показват характеристики, които не могат да бъдат обяснени с фракционна кристализация на магмата като:

- Вариации в състава на плагиоклазовите и пироксенови порфири, като в един и същи образец се наблюдава, както нормална, така и обратна зоналност
- Наличие на ортопироксенови ядра с клинопироксенови външни зони (фиг. 29)
- Амфиболови кристали с широки реакционни структури
- Някои специфични химични трендове



**Фиг. 29.** Микроскопски фотографии на ортопироксени с обвивки от клинопироксени в дайковите скали на Златушенски вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга).

Един от достоверните критерии, доказващи процеси на смесване на магми е обратната зоналност при плагиоклазите. В изследваната част от Западно Средногорие най-добре проявена е при магматичните продукти от Златушенския вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга). Обратната зоналност при плагиоклазите може да се обясни с различни процеси: кристализация в отворена система (смесване на магми); повишаване на температурата в резултат от внедряване в близост до магмената камера на гореща мафична магма; повишаване на температурата при кристализация предизвикана от декомпресия (Blundy et al., 2006).

Няколко признака водят до заключението, че обратната зоналност в Златушенския вулкански център е резултат от смесване на магми:

- Развитието на ситовидни структури на границата с по-богатия на калций плагиоклаз. Такива структури се проявяват при попадането на по-богати на албит плагиоклази в по-базична топилка (Tsuchiyama, 1985; Nakamura and Shimakata, 1998).
- Развитието на корозионни структури, с по-груба ситовидна зона би могло да се получи и при декомпресия (Nelson and Montana, 1992). Такива зони са характерни за плагиоклазите от Златушенския център. Кристализацията в условията на декомпресия може да се изключи, тъй като този процес би засегнал целия обем от магмата и всички плагиоклази ще развият подобни резорбционни структури, а в изследваните вулкани се наблюдават, както нормално зонални плагиоклази без резорбционни структури, така и обратно зонални плагиоклази в един и същи образец (Р. Райчева, 2013)

Най-убедителното доказателство за смесването на магми е наличието на магматични включения сред дайковите скали от Златушенския вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга). Този процес на непълно смесване е известен като минглинг, и при него се запазват химичните и текстурни особености на смесващите се магми.

Включенията от Златушенския вулкански апарат показват всички структурни признаци описани от Bacon (1986) и Bacon and Metz (1984), характерни за преохладени топилки от мафична магма, а именно: елипсоидална форма на включенията, зона на закалка, морфология на микролитите. Тези наблюдения показват увеличение в скоростта на кристализация в близост до по-еволуиралата магма. Температурата на кристализация на



магматичните включения изчислена по амфиболовия термометър на Ridolfi (2010) възлиза на 945-954°C, което е с около 60-80°C по-висока от тази на магмата образувала вместиращите ги дайкови скали.

## ***11. Обобщен модел на магматизма в Западно Средногорие***

Образуването на промеждутъчните по състав дъгови магми се обяснява с два основни процеса: диференциация на първични магми посредством кристализация в кората или горната мантия (Gill, 1981; Grove & Kinzler, 1986; Musselwhite et al., 1989; Rogers & Hawkesworth, 1989; Muntener et al., 2001; Grove et al., 2002, 2003) и парциално топене на по-стари корови скали (Smith & Leeman, 1987; Atherton & Petford, 1993; Tepper et al., 1993; Rapp & Watson, 1995; Petford & Atherton, 1996; Chappell & White, 2001; Izbekov et al., 2004).

Един от ключовите въпроси в магмената петрология е на каква дълбочина се осъществява химичната диференциация на магмата.

Наличието в Западно Средногорие на ксенокъсове от разнообразни интрузивни, кумулативни скали (хорнблендити, пироксенити, габра) с високи съдържания на  $Al_2O_3$  във фемичните минерали са доказателство за наличието на по-дълбоки нива на магматична диференциация.

Липсата на примитивни лави в изследваната част от Западно Средногорие подсказва, че мантийните магми първоначално постъпват и престояват в долно-коров резервоар, подобен на MASH зоната на Hidreth and Moorbath (1988) и дълбоко-коровата гореща зона на Annen et al. (2006).

В настоящето изследване се представя модел на магмогенериране и последвала диференциация, при който базични и промеждутъчни по състав топилки се образуват при неприключила (частична) кристализация на хидратирани базични магми на прехода мантия-долна кора. (фиг. 30). Представеният модел се базира на концепцията за подгриване на долната кора, посредством мантийни базични магми (underplating) (Raia and Spera, 1997; Annen et al., 2006).

На този преход хидратиранията базична магма търпи високобарично фракциониране и вероятна асимилация на долно-коров материал. Убедително доказателство за процесите на кристално фракциониране в изследвания район са високобаричните кумулативни ксенолити, представени от хорнблендити, пироксенити и два типа габра.

Според Annen et al. (2006) многократното запълване на долната кора с гореща магма позволява изнасянето на топилки в по-плитки нива. В резултат различно еволюирали топилки достигат в средно- и горно-корови огнища.

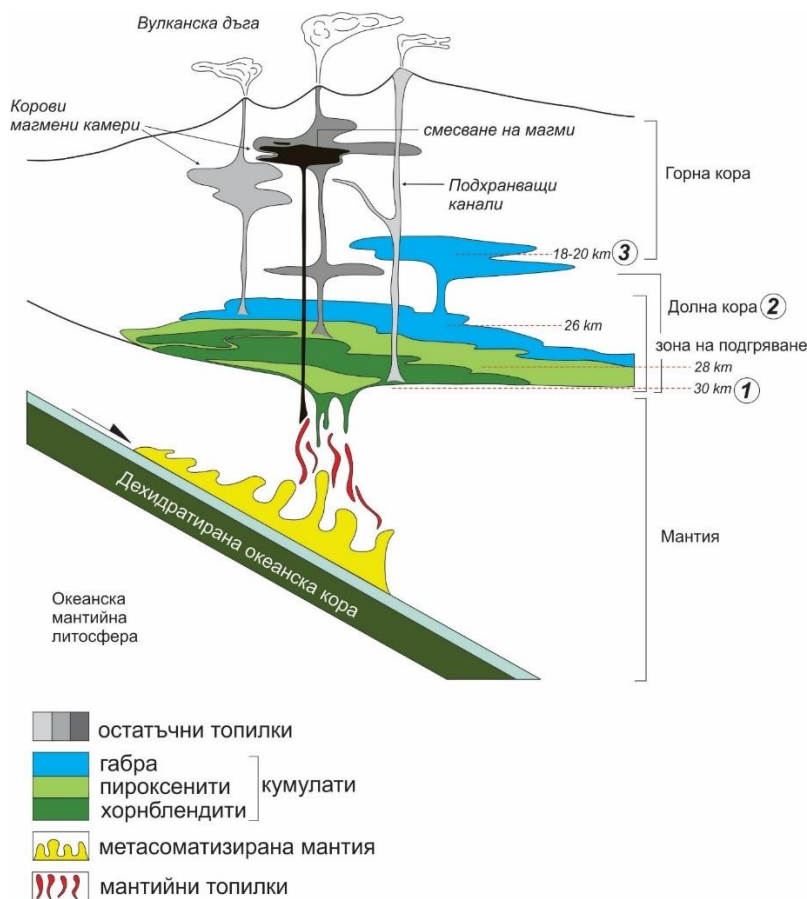
Съдейки по изчислените налягания, може да се предположи, че в най-дълбоки нива (около 30 km), вероятно на границата горна мантия – долна кора са кристализирали хорнблендитите, непосредствено над тях (28 km) е започнала кристализацията на кумулативните пироксенити, над които се е осъществила кристализацията на среднозърнестите кумулативни габра (26 km).

Предполага се и редуване на кумулативните разновидности (хорнблендити и пироксенити), и/или дифузни взаимоотношения между тях.

Кристализацията на едрозърнестите (пегматоидни) габра се е осъществявала в по-високи средно-корови нива (около 18 km). Фракционирането в тези нива се е отразило съществено върху геохимичния почерк на магматизма в определени части от Западно Средногорие (Пищенски и Завалски вулкански центрове). Кристалното акумулиране (фракциониране) на амфибол и клинопироксен е консумурало калция от първичните магми.

В резултат на тези процеси остатъчните топилки са се обогатили на алкалии, и по-конкретно на натрий (Пищенски и Завалски вулкански центрове), което от своя страна е рефлектирало върху натриево-алкалния им химизъм.

Издигането на магмата в горната кора и престоя и в по-плитки камери (3 до 10 km) води до интензивна кристализация, фракциониране и вероятна контаминация с горно-коров материал. Притокът на по-примитивни магми от долните камери причинява процеси на смесване. Убедително доказателство за това са магматичните включения от дайковите скали от Пищенския и Златушенски вулкански център (долна вулканогенно-седиментна задруга). Изчислените налягания по амфиболи от магматичните включения индикират дълбочини от около 10 km, на които са се осъществявали процеси на смесване при магматизма в долната вулканогенно-седиментна задруга.



**Фиг. 30.** Концептуален модел на магмогенериране и диференциация на границата мантия-долна кора. Силове от мантийно-произхождащи хидратирани базалтови магми се инжектират на различни дълбочини (нива): 1) граница Мохо, 2) долна кора и 3) граница Конрад. Остатъчните топилки, резултат неприключилата фракционна кристализация се засебят в магмени камери и/или достигат земната повърхност. Остатъчните топилки или корови магми от зоната на подгряване могат да се смесят преди тяхното издигане или в магмените резервоари, разположени в горната кора, както и да изпитат влиянието на коровата контаминация

## Изводи

### ***Геоложки особености и палеовулкански реконструкции***

Вулканизмът сред *долната вулканогенно-седиментна задруга* се е осъществявал в субаерални условия. В обхвата на задругата са фиксирани центровете на вулканската дейност на *Пищенския и Златушенски вулкански апарат*. Вулканските структури представляват сложни, стратифицирани постройки, при които се редуват ефузивни, пирокластични и епикластични последователности, разсечени по-късно от дайкови скали. Вулканските гърла се маркират от субвулкански, некоподобни структури.

Установените сред пирокластитите от *Пищенския вулкански център* множество кумулативни ксенолити се предполага, че имат съществено значение върху еволюцията на магматизма в тази част от Западно Средногорие. Констатираните магматични включения сред скалите от двата центъра доказват процеси на смесване на магми.

Значителното разпространение на потоци тип пилоу лави сред *средната вулканогенно-седиментна задруга* аргументират аквалната среда на вулканската дейност. Вулканизмът е протичал като резултат от действието на два вулкански центъра – *Ракитовски и Неделковски вулкански центрове*. Според изготвения модел на аквалния вулканизъм се касае за лавоизливане от регионални пукнатинни системи с ориентация северозапад-югоизток. За пилоу лавите от *Ракитовските центрове* е определена посоката на движение на лавата – от североизток на югозапад.

В обхвата на *Брезнишкия вулкански център* са локализирани няколко линейно подредени магмопроводящи структури, индикиращи в съвременния релеф центрове на вулканските събития.

### ***Петрографска и минераложка характеристика на магмените скали***

Като основен извод от петрографските наблюдения може да се изтъкне липсата на амфибол сред скалите от *средната вулканогенно-седиментна задруга*, което предполага и различни механизми на магматична диференциация. Амфиболът, като скалообразуващ отсъства и при продуктите на *Люлинския вулкански център*.

На базата на микроскопски изследвания са класифицирани кумулативните разновидности от *Пищенския вулкански апарат*. Малкият процент междукумулативна маса ги определя като мезокумулати.

Присъствието на черна слюда (флогопит) и калиев фелдшпат сред пилоу лавите от *Неделковските центрове* от *средната вулканогенно-седиментна задруга* допълнително ги разграничава от *Ракитовските*.

По отношение на състава на скалообразуващите минерали, важен момент са киселите плагиоклази (албит и олигоклаз) от междукумулативното пространство на кумулатите и фенокристалите сред вулканитите от *Пищенския и Завалски вулкански центрове*. Въпреки, че са претърпели променителни процеси, то вероятно това са техни първични геохимични особености. Промяната е предимно глинясване, което не оказва влияние върху съдържанията на натрий.

### ***Химичен състав на магмените скали***

В изследваната част от Западно Средногорие преобладават преходноалкалните скални разновидности (трахибазалти, трахиандезитобазалти и трахиандезити).

В рамките на *долната вулканогенно-седиментна задруга* Пищенските вулканити показват натриево-алкален афинитет (хаваити и муджиерити), докато Златушенските са калиево-алкални и по-еволюирали. Магмените скали от Пищене (кумулати и вулканити) се открояват от другите с много добре проявени Hf-Zr аномалии на диаграмите с нормализация към първична мантия, вероятно резултат от остатъчен циркон в източника подложен на топене.

В средната вулканогенно-седиментна задруга Неделковските пилоу лави се отличават с по-високи съдържания на калий, определящи ги като латити, докато аквалните изливи от Ракитовските центрове са нормално алкални андезити. За Завалските центрове от горната вулканогенно-седиментна задруга, сходно с Пищене са характерни натриеви вулканити-муджиерити.

### ***Тектонска обстановка на протичане на магматизма***

Изготвените дискриминантни диаграми доказват, че магматизма в Западно Средногорие е протичал в условията на примитивна или нормалнодъгова континентална субдукционна обстановка.

### ***Условия на кристализация***

Относно температурата на кристализация на магмените скали от *долната вулканогенно-седиментна задруга* може да се направи следното заключение. Магматичните продукти от Пищенския център са по-високотемпературни в сравнение с тези от Златушенския. В рамките на Пищенския палеовулкан най-високи температури на кристализация показват кумулативните пироксенити, следвани от хорнблендитите и габровите ксенолити. Най-нискотемпературни са вулканските скални разновидности.

Като заключение от изчислените налягания и съответно дълбочини на кристализация могат да се направят следните изводи. В най-дълбоки нива (около 30 km), вероятно на границата горна мантия – долна кора са кристализирали хорнблендитите, непосредствено над тях (28 km) е започнала кристализацията на кумулативните пироксенити, над които се е осъществила кристализацията на среднозърнестите кумулативни габра (26 km). Кристализацията на едрозърнестите (пегматоидни) габра се е осъществявала в по-високи корови нива (около 18 km).

### ***Петрогенезис***

На базата на извършения анализ за източник на магмогенериране се определя обогатена „плодородна“ мантия, при топене на около 5% от нея. Като основен маханизъм на магматична диференциация се определя фракционната кристализация, в комбинация вероятно с корова контаминация. Главни фракциониращи фази са амфибол и клинопироксен.

## Приноси на автора

1. В обхвата на *долната вулканогенно-седиментна задруга* сравнително точно са фиксирани два от центровете на вулканската дейност за Пищенския (Драготински) и Златушенски вулкански център. И за двата центъра са изготвени детайлни геоложки схеми.
2. Сред пирокластичните продукти и лавовите скали от Пищенския палеовулкан са открити разнообразни, дълбочинни, кумулативни ксенолити – хорнblendити, пироксенити и два типа габра.
3. Сред магмените скали от *долната вулканогенно-седиментна задруга* са констатирани множество магматични включения сред скалите от Златушенския и Пищенски палеовулкан, доказващи процеси на смесване на магми.
4. В *средната вулканогенно-седиментна задруга* задоволително са разграничени пилоу лавите от Ракитовските и Неделковски вулкански центрове. Извършените теренни работи доказаха много по-значителното обемно присъствие на пилоу лавите от считаното досега. Изготвени са детайлни геоложки профили и разрези през пилоу лавите и асоцииращите с тях продукти.
5. Направен е опит за палеовулкански реконструкции и модел на аквалния вулканизъм от *средната вулканогенно-седиментна задруга* в Западно Средногорие.
6. Що се касае до *горната вулканогенно седиментна задруга*, са фиксирани няколко линейно подредени магмопроводящи структури в Брезнишкия вулкански център. Сред магмените скали от Завалските центрове са намерени дълбочинни хорнblendитови ксенолити, сходни с тези от Пищенския апарат.
7. Като принадлежаща към горната вулканогенно-седиментна задруга се възприема и една експлозивна (взривна) тръба, разполагаща се около с. Расник.
8. Микроскопските изследвания позволиха по-коректното разграничаване на пилоу лавите от Ракитовските и Неделковски центрове, и по-конкретно по присъствието на магматичен флогопит в последните.
9. Изследвани са макро- и микрохимизма на магмените скали от трите задруги.
10. На базата на изследваната минералогия са изведени условията на кристализация.
11. Въз основа на изчислените налягания на са отделени няколко нива на диференциация на магмата.
12. Потвърдена е субдукционната геотектонската обстановка на магмогенериране.
13. Направени са предположения за източника на магмогенериране.

14. Изведени са основните механизми на магмена диференциация.
15. Изготвен е хипотетичен модел на магматизма в изследваната част от Западно Средногорие.

## Благодарности

На първо място държа да изкажа огромната си благодарност на научният си ръководител проф. д-р. Росен Недялков, който търпеливо ме напътства през целия период на работа по дисертационната ми теза, организира и осигури по-голямата част от аналитичните изследвания.

Благодаря на Христо Станчев от Евротест-Контрол АД за съдействието при осигуряването на възможност за качествено микросондово анализиране.

Благодаря на гл.ас. д-р Явор Стефанов за ползотворните дискусии, свързани с определянето и класифицирането на вулканокластичните скални разновидности. Огромни благодарности на гл.ас. д-р Момчил Дюлгеров за съветите, касаещи петрографията на изследваните магмени скали. Благодаря на доц. д-р Цвета Станимирова за ценните съвети при оформянето на дисертационната работа. Благодаря на Радка Пеева за смилането на пробите в Лабораторията за подготовка на проби за анализ, и на аналитиците Петя Ботева и Васка Георгиева от химическата лаборатория към Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“. Специални благодарности на гл.ас. д-р. Ралица Събева за дискусиите, съветите и подкрепата. Благодарности на гл. ас. д-р Дочо Дочев за споделените теренни дни и нощи.

Много благодаря на проф. д-р. Ирена Пейчева, гл. ас. д-р Димитрина Димитрова, Елица Стефанова и Стоян Георгиев от Геологическия институт „Страшимир Димитров“, БАН за помощта при изследванията с LA-ICP-MS.

Благодаря и на Антоанета Маринова, Елена Нейкова, Анка Русинова и ас. Данаил Йовчев, с които достатъчно време делеяхме един кабинет и един етаж. Благодаря ви за разбирането, за помощта, за насърчаването, за съветите.

Накрая искам да изкажа своята благодарност на всички преподаватели и колеги от специалността Геология при ГГФ на СУ „Св. Климент Охридски“ за проявеното търпение, за положените усилия и за важната им роля за формирането на моето мислене и разбирания в областта на геологията.

И не на последно място, искам да изкажа благодарност на семейството ми за финансовата и морална помощ.

### *Публикации по темата на дисертацията:*

**Velev, S., R. Nedialkov. 2010. Geological, petrographic and geochemical peculiarities of the effusive rocks from the area of Zlatusha village (Western Srednogorie). – In: Proceedings of National conference “Geoscience 2010”. Sofia, BGS, 54 – 55.**

**Velev, S., R. Nedialkov. 2011. Comparison of geological, textural and petrographic characteristics of the pillow lava flows from the areas of Malo Buchino, Babitsa and Nedelkovo villages (Western Srednogorie). – In: Proceedings of National conference “Geoscience 2011”. Sofia, BGS, 75 – 76.**

**Velev, S., R. Nedialkov, I. Peycheva, Albrecht von Quadt. 2012. Geology and petrology of volcanic centres from upper volcanogenic-sedimentary unit (Western Srednogorie) – In: Geologica Macedonica, 7-12.**