

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ «Інститут геології»
Кафедра геохімії, мінералогії та петрографії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
спеціальність 103 – Науки про Землю
освітня програма «Геологія»
спеціалізація «Мінералогія, геохімія та петрографія»

ТЕМА: «ПЕТРОЛОГІЯ ОРБІКУЛЯРНИХ ГАБРОЇДІВ ОСТРОВА ХОВГААРД»

Виконав

студент 4-го курсу

кафедри Геохімії, мінералогії та петрографії

Івко Антон Валерійович

Науковий керівник

доцент

кандидат геолого-мінералогічних наук

Лазарева Ірина Іванівна

Науковий консультант

професор

доктор геологічних наук

Митрохин Олександр Валерійович

Робота рекомендується до захисту (протокол № 10 засідання кафедри Геохімії, мінералогії та петрографії від 18/05)

Завідувач кафедри

доцент

доктор геологічних наук

Шнюков Сергій Євгенович

Київ – 2023

РЕФЕРАТ

Бакалаврська дипломна робота: 30 с., 14 рис., 4 табл., 24 джерела.

ЗАХІДНА АНТАРКТИКА, АРХІПЕЛАГ ВІЛЬГЕЛЬМА, ОРБІКУЛЯРНІ ПОРОДИ,
ОРБІКУЛЯРНІ ГАБРОЇДИ, ХОВГААРДИТИ, ПЕТРОГЕНЕЗИС ОРБІКУЛЯРНИХ ПОРІД,
АКЦЕСОРНІ МІНЕРАЛИ, ШПІНЕЛЬ, КОРУНД

Об'єкт дослідження: зразки нового прояву орбікулярних габроїдів острова Ховгаард, знайденого і описаного дослідниками у складі сезонного загону 25-ї Української антарктичної експедиції (в березні 2020 року) Митрохиним О.В. та Бахмутовим В.Г.

Мета роботи: з'ясуванні особливостей походження орбікулярних порід, на прикладі орбікулярних порід острова Ховгаард (ховгаардитів).

Методи досліджень: петрографічні дослідження; рентгено-флуоресцентний аналіз на петрогенні та деякі мікроелементи; електронно-зондові дослідження хімічного складу окремих мінералів.

Узагальнено існуючі відомості щодо проявів орбікулярних габроїдів світу та підтверджено характерні особливості ховгаардитів. Здійснено спробу з'ясувати походження ховгаардитів.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ОРБІКУЛЯРНІ ПОРОДИ.....	7
1.1 Загальні уявлення про орбікулярні породи та їх класифікація.....	7
1.2 Опис світових проявів орбікулярних гірських порід основного складу.....	8
1.3 Огляд концепцій походження орбікулярних гірських порід.....	10
ПЕТРОЛОГІЯ ОРБІКУЛЯРНИХ ГАБРОЇДІВ ОСТРОВА ХОВГААРД.....	14
2.1 Характеристика фактичного матеріалу орбікулярних габроїдів о. Ховгаард.....	14
2.2 Результати петрографічних досліджень.....	16
2.3 Результати електронно-зондових рентгеноспектральних досліджень.....	18
2.4 Результати дослідження елементного складу порід.....	22
2.4.1 Головні петрогенні елементи.....	22
2.4.2 Мікроелементний аналіз.....	24
ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28
ДОДАТКИ.....	31
Додаток А.....	31
Додаток Б.....	31
Додаток В.....	32

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

Pl (An₅₀₊) – Plagioclase – Плагіоклаз (Вміст анортитової молекули більше 50%)

Ol – Olivine – Олівін

Px (cPx/oPx) – Pyroxene – Піроксени (кліно-/ортопіроксени)

Hbl – Hornblende – Рогова обманка

Act – Actinolite – Актиноліт

Bt – Fe-Mg mica – Біотит (слюди)

Chl – Chlorite – Хлорит

Qu – Quartz – Кварц

Ttn – Titanite – Титаніт

Mt – Magnetite – Магнетит

Zr – Zircon – Циркон

Ilm – Ilmenite – Ільменіт

Ne – Nepheline – Нефелін

Sp – Spinel – Шпінель

Crn – Corundum – Корунд

Ep – Epidote – Епідот

Se – Sericite – Серицит

ВСТУП

Гірські породи із орбікулярною будовою є рідкісними різновидами і цікавлять дослідників з точки зору походження та геологічного значення. Багато концепцій було запропоновано з приводу генезису орбікулярних порід, проте в кожній є свої недоліки та протиріччя.

Мета роботи полягає в з'ясуванні особливостей походження орбікулярних порід, на прикладі орбікулярних порід острова Ховгаард (ховгаардитів).

Об'єктом дослідження є зразки нового прояву орбікулярних габроїдів острова Ховгаард, знайденого і описаного дослідниками у складі сезонного загону 25-ї Української антарктичної експедиції (в березні 2020 року) Митрохиним О.В. та Бахмутовим В.Г.[9].

Предметом дослідження є петрогенезис орбікулярних габроїдів острова Ховгаард.

Серед завдань бакалаврської роботи можна виділити наступні:

- Літературний огляд та систематизація опису, класифікації, поширення та походження габроїдних орбікулітів;
- Підготовка прозоро-полірованих та порошкових препаратів для проведення лабораторних досліджень;
- Проведення петрографічних, електронно-зондових та геохімічних досліджень;
- Аналіз та інтерпретація отриманих даних.

Поставленні завдання виконувалися переважно емпіричними методами: порівняльний, спостереження (поляризаційний мікроскоп ПОЛАМ РП-1), вимірювальний (растровий електронний мікроскоп з енергодисперсійним спектрометром РЕММА – 202М, скануючий електронний мікроскоп JSM-6490-LV з

інтегрованою системою електроннозондового аналізу, рентген-флюоресцентний спектрометр "СЕР-01" моделі "ElvaX-Light", рентген-флюоресцентний спектрометр, аналізу тощо.

Апробація результатів була проведена протягом захисту двох курсових робіт (2020-2021 навчального року, 2021-2022 навчального року), тез на конференціях (XI Всеукраїнська молодіжна наукова конференція-школа «Сучасні проблеми наук про Землю», 10th SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) Open Science Conference).

Робота складається з загальної та спеціальної частин, 30 сторінок друкованого тексту, 14 рисунків, 4 таблиць та трьох додатків.

ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ОРБІКУЛЯРНІ ПОРОДИ

1.1 Загальні уявлення про орбікулярні породи та їх класифікація

Перша згадка про орбікулярні гірські породи датується 1785 роком, коли на острові Корсика було вперше описано валун, а пізніше відслонення, цих унікальних гірських порід. Тоді ж вперше вжито термін «орбікулярна» в контексті опису її будови [1].

Класифікація та термінологія для роботи із орбікулярними гірськими породами не регламентується міжнародними класифікаторами[2,3], проте загальноприйнятими є тлумачення у роботі Девіда Левісона «Orbicular rock: An Overview» виданої у 1966 році [1].

Для орбікулярних порід властиві такі особливості будови: явнокристалічні кулясті агрегати із радіально-променевою та зональною будовою, котрі оточені фанеритовою масивною загальною масою. Відношення між кількістю матриксу і орбікул можуть істотно коливатися, так само як і відношення між ядрами та концентричними зонами, кількості зон в орбікулі (від 1 до 30), розмірів орбікул (до 35 см у діаметрі) та форми (кулясті, еліпсоїдальні, пластично деформовані неправильної форми тощо)(рис. 1.1)[1,4].

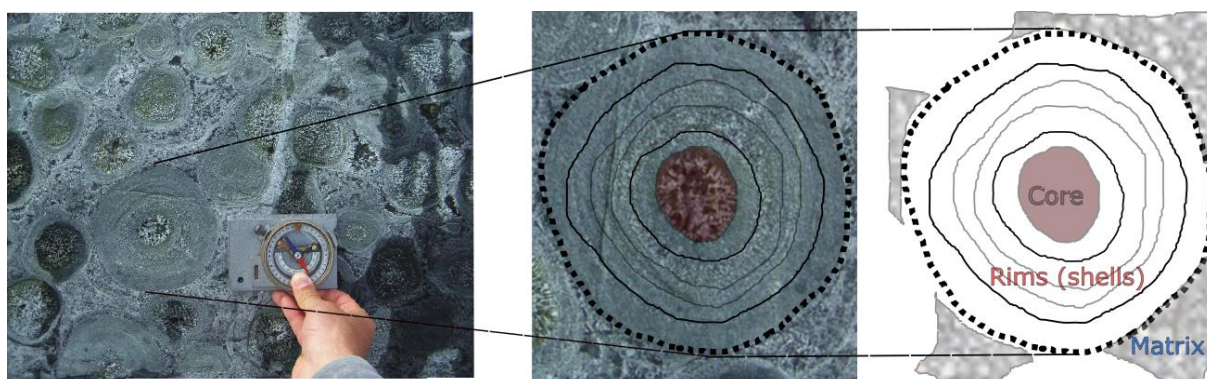


Рисунок 1.1 Будова орбікулярних порід: ядро (Core), концентричні зони (shells) та матрикс (Matrix). Фото Митрохіна О.В з доповненнями автора.

Існує багато припущень щодо походження орбікулярних порід [1;5-8;14], а загалом сьогодні панують погляди на їх магматичну природу [5-8]. На це вказують: мінеральні асоціації, мікроскопічна будова, умови залягання геологічних тіл орбікулярних порід тощо.

Орбікулярні породи утворюють інтрузивні, видовжені тіла малої потужності: дайкоподібні, лопоподібні тощо. Найбільші відслонення сягають розмірів 200*50 метрів, та інколи розробляються як декоративна сировина [1]. Характер контактів із вміщуючими породами – брекчійовані зони, невеликі зони закалки [1,13]. Вміщуючі породи зазвичай подібні за складом до орбікулярних.

Хімічний склад орбікул та матриксу дещо різниться, орбікули переважно є більш основнішими. Це може призводити до відмінностей та суперечностей у назві гірської породи, наприклад коли орбікула має габроїдний склад, а матрикс – діоритовий. Дослідники умовно класифікують породу за складом матриксу.

1.2 Опис світових проявів орбікулярних гірських порід основного складу

Складно підрахувати загальну кількість описаних орбікулярних порід у світі, орієнтовно вона складає 150 проявів.

Орбікулярні габроїди належать до найрідкіснішого класу. У авторській курсовій роботі 2021 року було здійснено підрахунок проявів орбікулярних габроїдів, на той час це було 17[5;9;12-22]. Пізніше стало відомо про ще один прояв у Болгарії [23](рис.1.2).

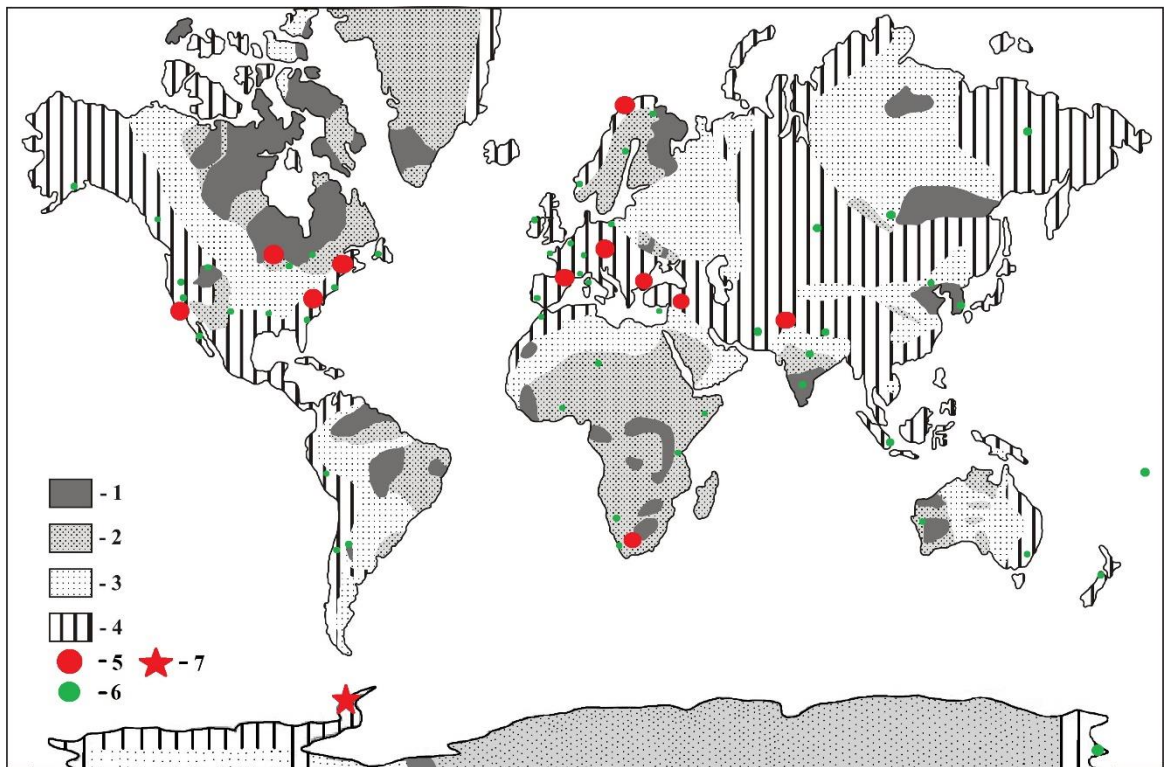


Рисунок 1.2 Світова поширеність орбікулярних гірських порід. Умовні позначення: фундаменти платформ: 1 - архейський, 2 – протерозойський; 3 – платформений чохол; 4 – фанерозойські складчасті пояси; 5 – прояви орбікулярних габроїдів; 6 – прояви інших орбікулярних порід; 7 – новий прояв на о.Ховгаард в Західній Атарктиці.

Більшість відслонень поширені у північній півкулі (17), окрім відслонення об'єкту дослідження цієї дипломної роботи, яке було відкрите 7 березня 2020 року.

Геологічні тіла орбікулярних габро не мають специфічних умов залягання в порівнянні із іншими орбікулітами, зазвичай утворюють дайкоподібні, трубкоподібні форми у межах більших інтрузивів або на контакті інтрузивів та вміщуючих їх порід.

За віком, формування орбікулярних габро охоплює проміжок часу від мезопротерозою (район Кенора, Пн-Зх Онтаріо, Канада) до еоцену (провінція Найтазірі, Фіджі)[14,20].

Мінеральний склад орбікулярних габро доцільно описувати окремо для ядра, концентричних оболонок та матриксу, оскільки всюди він може якісно та кількісно змінюватися. Так, наприклад, типовою є тенденція зміна основності плагіоклазу від матриксу до ядра орбікул, що інколи складає 30-40 номерів аортитової молекули. При цьому, відсотковий вміст плагіоклазу може сильно варіювати від оболонки до оболонки та майже повністю заповнювати ядро орбікул. Іншим прикладом, є поява олівіну виключно в ядрі орбікул.

Мінеральний склад представлений типовими для габро породоутворюючими асоціаціями: Pl-Ol-Px, Pl-Px-Hbl, Pl-Hbl-Bt (де Pl – An₅₀₊); другорядні та акцесорні мінерали – Qu, Ttn, Mt, Zr, Ilm, Ap, Ne, Sp, вторинні мінерали – Hbl, Act, Chl, Ep, Se тощо.

1.3 Огляд концепцій походження орбікулярних гірських порід

Як згадувалося у попередніх розділах, до питання походження орбікулярних порід висловлено багато гіпотез, обговорення яких може стати темою окремої дипломної роботи. Тому далі буде акцентовано увагу на найбільш сучасні та обгрунтовані, на думку автора, погляди. Також важливо розуміти що ці погляди сформувалися внаслідок переосмислення раніше висловлених гіпотез, на основі звстосування сучасних аналітичних методів дослідження, тобто вони акумулюють в собі погляди усіх своїх попередників.

На думку авторів (McCarthy et al, 2016), орбікулярні породи просторово та генетично пов'язані із розшарованими (comb-layer) інтрузіями, магма яких утворювалася при тиску в 2 кбар та температурі 1000-1100°C, вмісті флюїду H₂O 2,9 – 4,7%. Мінливість якісного і кількісного складу кожної орбікули, наявність брекчій в межах тіл орбікулярних порід, наводить авторів до думки, що вони формувалися із різних «протолітів» під час впровадження дайки від ядра до периферії (рис.1.3).

Формування концентричних оболонок – свідчення багаторазового переохолодження магми, яке відбувалося внаслідок набуття та втрати флюїду. Зміна кількості концентричних оболонок в межах орбікул одного прояву, свідчить про багатоетапність їх формування, де орбікули із найбільшою кількістю оболонок пережили найбільшу кількість циклів перегіття-переохолодження [5].

Автори (J. Zhang, 2019) розглядають орбікулярні породи з точки зору швидкості їх формування, на основі вивчення зональності мікроелементів у кристалах. На їх погляд, існує декілька механізмів формування орбікул, а для їхнього об'єкту дослідження (Австралійське відслонення орбікулярних гранітів) властиве впровадження перегрітої магми середнього складу в кислу (магматичний мінглінг), із формуванням зон закарбування – концентричних оболонок орбікул (рис. 1.4). На відміну від поширених мафічних включень (mafic enclaves), ін'єкція діоритової магми відбувалася в практично розплавленому стані, що дозволило середовищу контролювати умови її пізнішої кристалізації[6].

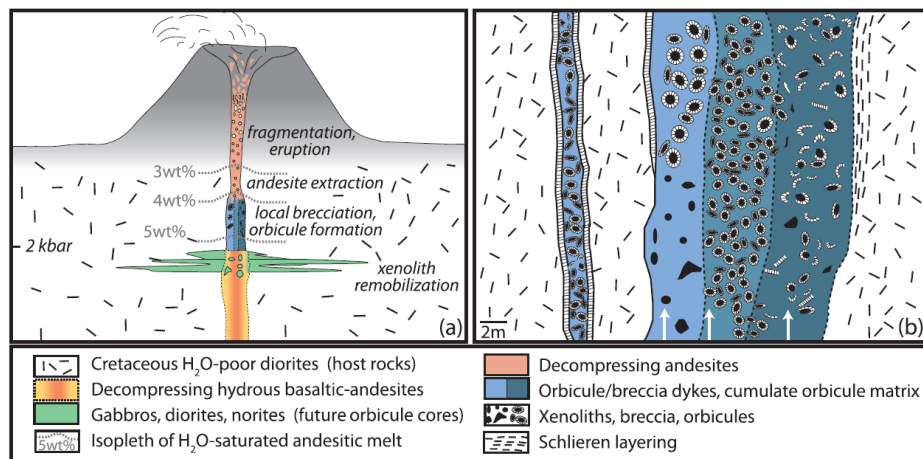


Рисунок 1.3 Схеми формування орбікулярних порід та розшарованих інтрузій. (а) Пропонується механізм декомпресійного плавлення флюїдонасиченої базальтової магми, а орбікулярні дайки – перерізи підвідного каналу вулканічної системи. (б) Поширення брекчій, орбікулітів та уламків орбікулітів контролюється в'язкістю розплаву [5].

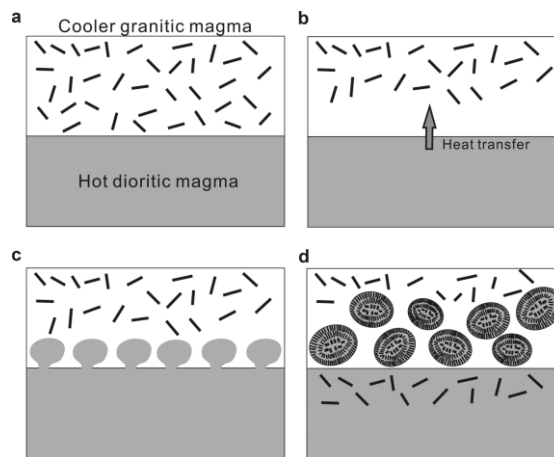


Рисунок 1.4 Схема формування орбікулярних гранітів із західної Австралії [6].

Автори (McCarthy et al, 2017) публікації дослідили велику вибірку (понад 3000 точок) мінеральних фаз по всій орбікулі, котра містила 19 концентричних зон, і дійшли висновків, що утворення зон не пов'язано із коливанням: основності магм, фугітивності кисню, флюїдонасичення, текстури шарів, мінерального складу і кількісних співвідношень мінералів у шарах (рис. 1.5). Натомість відстоюють думку, що формування концентричних оболонок спричинено: конкуренцією між декомпресією та кристалізацією спричиненою охолодженням, посткумулюючою реакцією розплаву та мінералів. Особливістю є те, що цей процес відбувається відносно швидко (тиждні або місяці) при підйомі магми вздовж малопотужних підвідних каналів вулканічної системи андезит-базальтового складу [7].

Геохімічна та ізотопна подібність ядер орбікул та вміщуючих порід, наводить авторів (Barbey et al, 2021) на думку про асиміляцію вміщуючих метаосадових порід граніт-тоналітовою магмою із наступним насиченням флюїдами. Далі магма піднімаючись зазнавала декомпресії та перегрівання (майже повного розплавлення). Важливо що підняття магми носило багатостадійний характер. На якомусь етапі відбувалося поєднання умов дегідратації при уповільненні руху і відповідне їм переохолодження. На захоплених ксенолітах (та стінках камери?)

відбувалася орієнтовна кристалізація. Кількість шарів орбікул, за таких умов, визначається кількістю магматичних імпульсів[8].

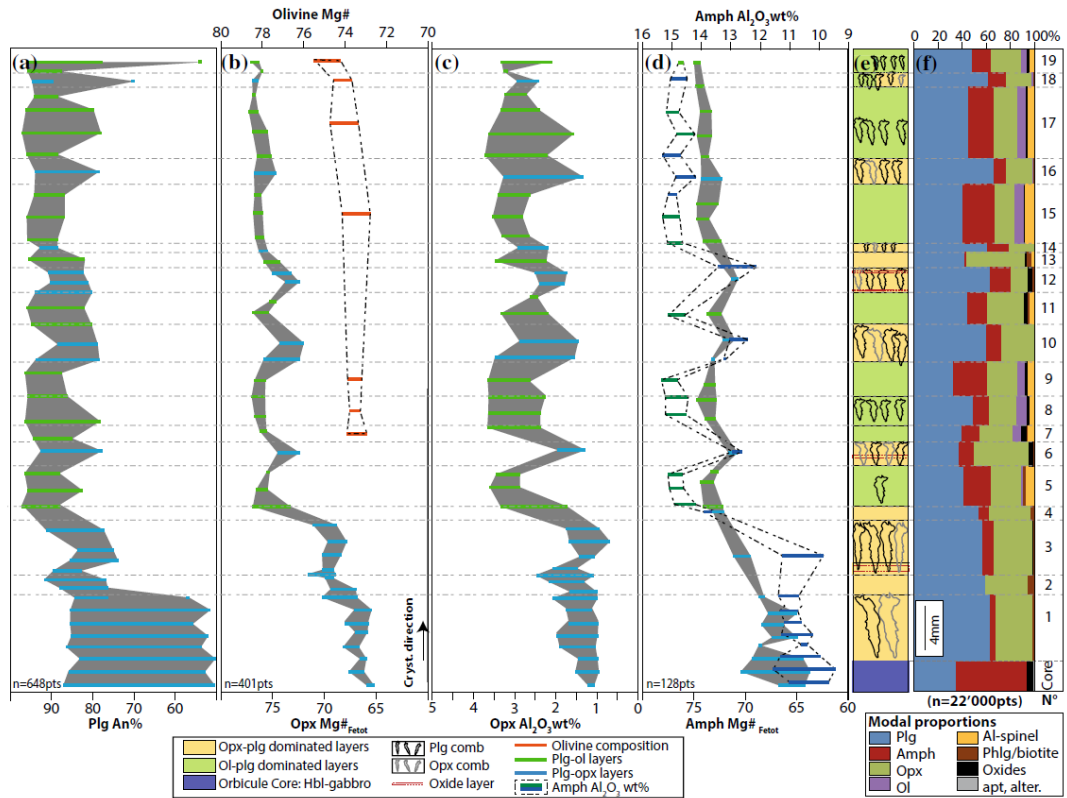


Рисунок 1.5 Коливання хімічного складу плагіоклазу, ортопіроксену, олівіну та амфіболу між зонами однієї орбікули [7].

Отже визначальними процесами при формуванні орбікулярних порід є багаторазове перегрівання та переохолодження, а погляди на природу цих процесів різняться.

ПЕТРОЛОГІЯ ОРБІКУЛЯРНИХ ГАБРОЇДІВ ОСТРОВА ХОВГААРД

2.1 Характеристика фактичного матеріалу орбікулярних габроїдів о. Ховгаард

Фактичним матеріалом для написання дипломної роботи слугують зразки, польовий опис та фотодокументація відслонення орбікулярних габроїдів, знайденого на о. Ховгаард під час 25-ї Української антарктичної експедиції геологами Митрохиним О.В. та Бахмутовим В.Г.

Колекція складається з 8 зразків: 20-253А-1, 20-253А-2, 20-253А-3, 20-253А-4, 20-253А-5, 20-253А-6, 20-253А-8, 20-253А-9. На зразки 20-253А-4, 20-253А-5, 20-253А-6, 20-253А-8, 20-253А-9 було підготовлено прозоро-полірований шліф та по два порошкові препарати, окремо на орбікули та на матрикс. Із зразків вміщуючих порід 20-253А-1, 20-253А-2, 20-253А-3 було підготовлено прозорі петрографічні шліфи. Важливо відмітити той факт, що препарати неоднаково представницькі по відношенню до орбікулярних порід – більшість з них охоплюють зовнішні оболонки та матрикс, і лише декілька описують внутрішні оболонки і ядро (рис. 2.1). Зважаючи на мінливість складу оболонок, їх кількість у різних орбікулах стає зрозумілим що такої кількості препаратів недостатньо для вичерпного вивчення походження цих порід.

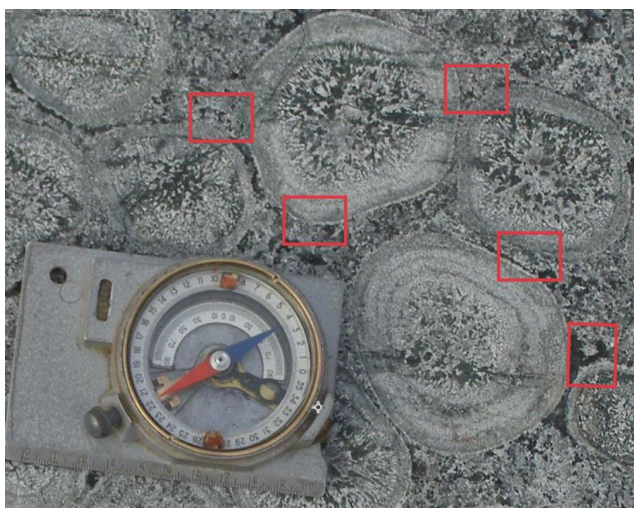
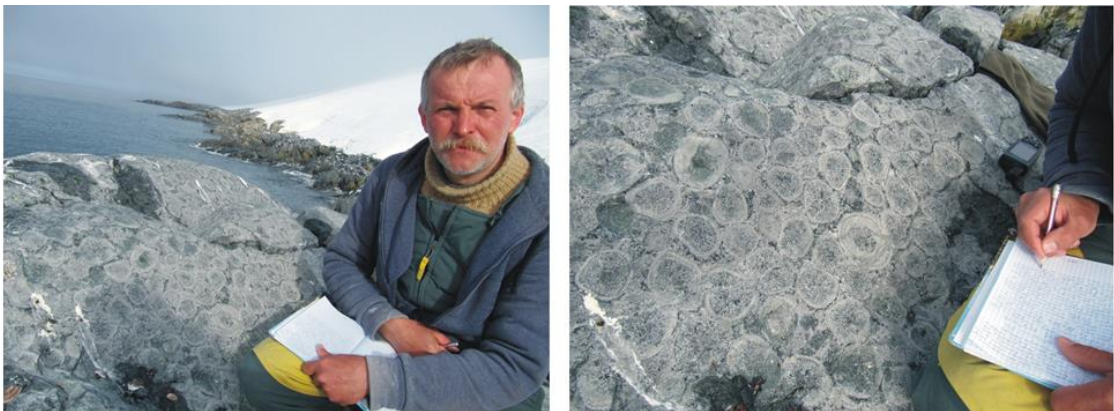


Рисунок 2.1 Червоні прямокутники охоплюють умовні площі (розшифрувати) препаратів. Препарати підготовлені із інших уламків орбікулярних габро, тому фото має на меті висвітлити лише представницькість обраних перетинів. Фото Митрохина О.В. із доповненнями автора.

Зразки були відібрані із брекчійових уламків поряд із відслоненням, тому не мають чіткої прив'язки по відслоненню. На вигляд зеленувато-сірі гірські породи із виразною орбікулярною будовою та фанеритовим матриксом (рис. 2.2). Діаметр орбікул становить 5-10 см, орбікули містять до 8 концентричних оболонок.

Відслонення розміщується в Пд-Сх частині острова Ховгаард, у вузькій прибережній смужі. Переважаючими і водночас вміщуючими породами є типові для цієї місцевості виходи габроїдів (польова назва) ін'єктованих гранітоїдними дайками. Розмір відслонення 20*10 метрів. Контакти між орбікулярними та вміщуючими габро представлені брекчіями, де у складі брекчій присутні як масивні так і орбікулярні габроїди.



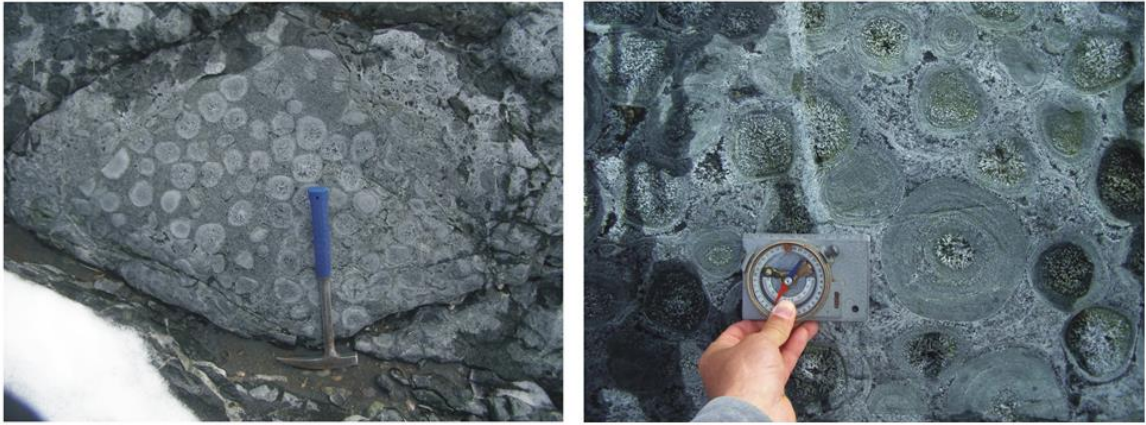


Рисунок 2.2 Фото відслонення орбікулярних габроїдів о. Ховгаард [9].

Окрему увагу слід звернути на появу розшарованих інтрузій в районі дослідження, що мають структурно-тектонічний зв'язок. Хоча це не є об'єктом практичного дослідження дипломної роботи але принципово впливає на її висновки.

2.2 Результати петрографічних досліджень

Петрографічні дослідження виконувалися на поляризаційних мікроскопах ПОЛАМ РП-1 та Nikon Eclipse LV100N POL.

У результаті петрографічних досліджень встановлено, що **вміщуючими породами** орбікулярних габроїдів слугують кварцові діорити із масивною текстурою, дрібно-середньозернисті, гіпідіоморфнозернисті (де плагіоклаз проявляє ідіоморфізм) (рис. 2.3). Характерно що ці породи зазнали зеленосланцевого метаморфізму із заміщенням роговою обманкою піроксенів, та часткового вивітрювання, що проявляється у появі серицита в основніших ядрах плагіоклазів.

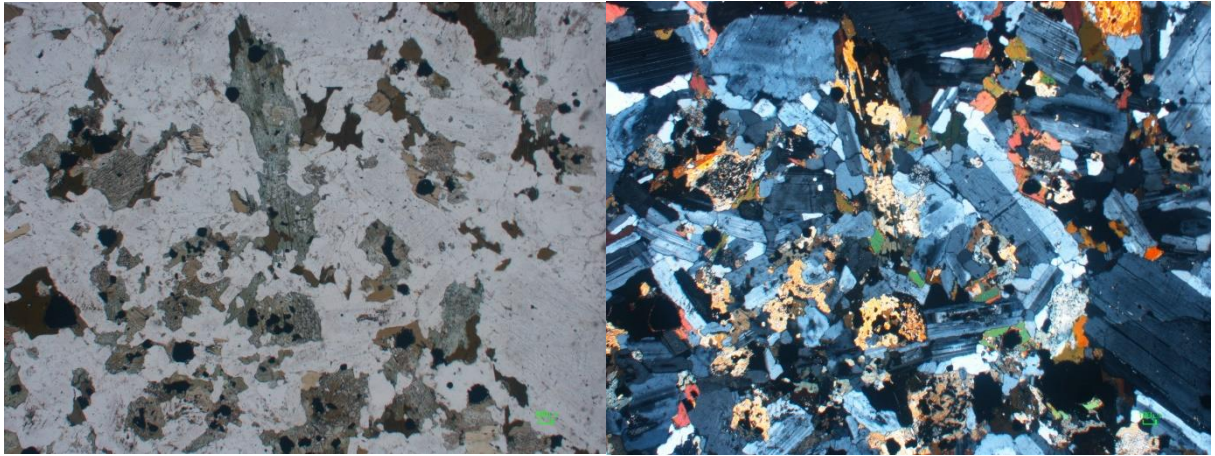


Рисунок 2.3 Вміщуючі породи – кварцові діорити, зразок 20-253А-3. Зліва фото в одному ніколі, справа – у схрещених.

Матрикс орбікулярних порід має габровий склад, масивну текстуру; явнокристалічну, нерівномірнозернисту, порфірову структуру, де плагіоклаз представлений зернами до 4 мм, поряд з дрібнозернистою масою рогової обманки, актиноліту та другої генерації плагіоклазу (рис. 2.4). Основність плагіоклазу, визначена методом симетричного згасання, становить An_{60-90} .

В кожній із досліджуваних **орбікул** доцільно виділяти по декілька концентрично-зональних оболонок та ядро. Інформативності кожного окремого шліфа не достатньо для того аби детально виділити та описати кожну оболонку, проте завжди впевнено виділяється щонайменш три зони. **Ядро** орбікул присутнє в препаратах 253А-4, 253А-5 та 253А-9 і зазвичай представлено крупнозернистими плагіоклазами та масивною текстурою.

Перша від ядра зона має орієнтовану, радіально-променеву текстуру. Представлена асоціацією конкуруючих між собою (почергово змінний ідіоморфізм одних мінералів до інших), дрібнозернистих, зерен плагіоклазу, рогової обманки та реліктового піроксену. У цьому ж шарі виявлена унікальна мінералогічна знахідка – шпінель із включеннями корунду. Ці знахідки зроблені у зразках 253А-4 та 253А-8.

Друга від ядра зона зберігає радіально-променеву текстуру, проте розмір зерен плагіоклазу, агрегатів рогової обманки та вторинного актиноліту суттєво збільшується (рис. 2.4).

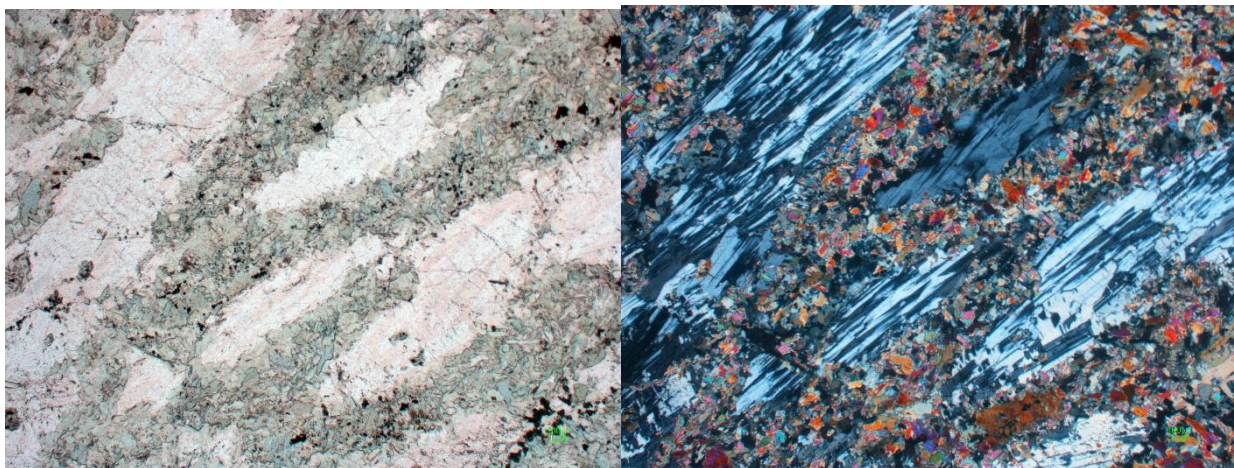


Рисунок 2.4 Фото другої зони орбікули зразка 253А-4 в одному та двох ніколях.
Фото запозичене із [9].

Третя, крайня, зона на межі орбікули представлена мономінеральним шаром рогової обманки (актиноліту?) або шаром плагіоклазу. Орієнтованість, у разі шару рогової обманки, проявляється гірше у порівнянні із іншими зонами.

2.3 Результати електронно-зондових рентгеноспектральних досліджень

Електронно-зондові дослідження проводилися з метою уточнення мінерального складу та виявлення петрологічних особливостей орбікулярних порід.

У результаті електронно-зондових досліджень було виявлено 23 мінерали, що систематизовані у таблиці знахідок окремих мінералів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Таблиця фіксує разові знахідки мінералів у різних компонентах породи (орбікули/метрикс), із висновком (колонка «Характеристика») про поширеність мінералу для різних зон породи.

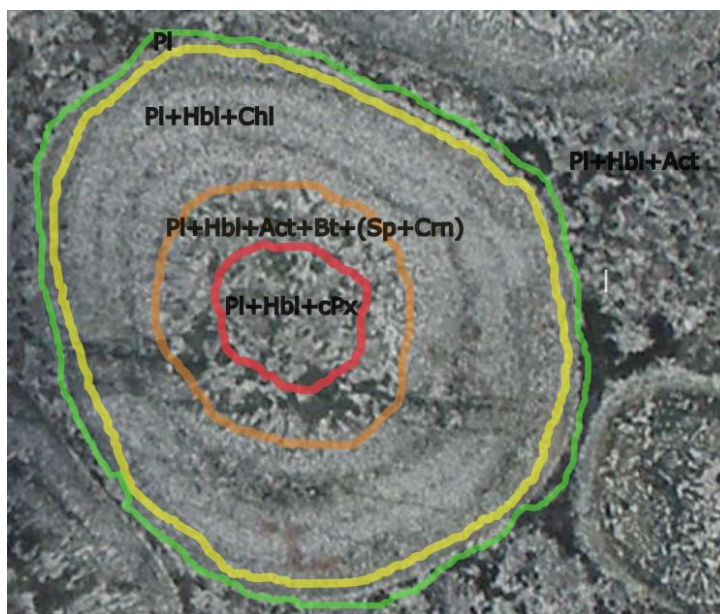
Знахідки окремих мінералів											
	253A-4 orb	253A-5 orb	253A-6 orb	253A-8 orb	253A-9 orb	253A-4 mtx	253A-5 mtx	253A-6 mtx	253A-8 mtx	253A-9 mtx	Характеристика
Плагіоклаз (Ca)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Типовий
Плагіоклаз (Na)							+			+	Матрикс
Кварц			+	+							Орбікули
Рогова обманка	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Типовий
Актиноліт	+	+	+(?)		+		+	+		+	Типовий
Fe-Mg амфіболи	+(?)		+(?)	+	+(?)		+(?)	+(?)		+(?)	Типовий
Fe-Mg слюди		+		+	+	+	+			+	Типовий
Хлорита	+	+	+	+	+	+	+				Типовий
Тальк				+(?)					+		Типовий
Клінопіроксен			+			+		+	+(?)		Матрикс
Ортопіроксен			+(?)					+(?)	+		Матрикс
Епідот	+		+								Орбікули
Шпінель				+		+(?)					Орбікули
Корунд	+			+		+(?)					Орбікули
Магнетит	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Типовий
Ільменіт					+		+	+	+	+	Матрикс
Апатит	+	+		+	+	+			+	+	Типовий
Пірит	+	+		+	+	+		+			Типовий
Халькопірит	+				+						Орбікули
Галеніт					+				+		Матрикс
Сфен									+		Матрикс
Лейкоксен					+		+	+	+	+	Матрикс
Циркон							+	+		+	Матрикс

Примітка: поширені мінерали для усієї породи «Типовий», орбікул «Орбікули» та міжорбікулярного матриксу «Матрикс». Знак (?) означає невпевненість в діагностиці мінеральної фази.

Отже, орбікули складаються з надзвичайно кальцієвого плагіоклазу (An₇₇₋₉₈), рогової обманки (#Mg=0,77-0,81), актиноліту, Mg-Fe слюди, хлориту, магнетиту. Крім них можуть бути присутніми клінопіроксен (Wo₄₈₋₅₀En₄₃₋₄₇Fs₅₋₈), шпінель (Sp₆₅₋

$_{72}\text{Hrc}_{12-19} \text{Mt}_{13-17}$), корунд, тальк (?) і кварц. Аксесоріями є апатит, епідот, пірит і халькопірит.

Матрикс складається з плагіоклазу (An_{34-91}), клінопіроксену, ортопіроксену, рогової обманки, актиноліту, Mg-Fe слюди та магнетиту. Крім них присутні тальк і хлорит. Апатит, ільменіт, пірит, титаніт, лейкоксен, циркон і галеніт є аксесоріями (Рис 2.5).



Тис. 2.5 Зональний розподіл мінеральних асоціацій в досліджуваних орбікулах. Фото Митрохіна О.В.

Результати вимірювань основності зерен плагіоклазу по 146 точкам, підтвердили високу основність плагіоклазу у досліджуваних зразках (рис. 2.6 та 2.7). Для плагіоклазів орбікул притаманним є An_{85-97} , зерна без помітної зональності. Натомість плагіоклаз матриксу характеризується як широкими коливаннями основності між зернами An_{34-91} , так і в межах одного зерна можлива нормальна зональність із зменшенням основності на 20 одиниць до периферії

зерен. До речі, результати мікрозондових досліджень змінили висновок про вміщуючі породи, відтепер це не кварцовий діорит, а кварцове габро.

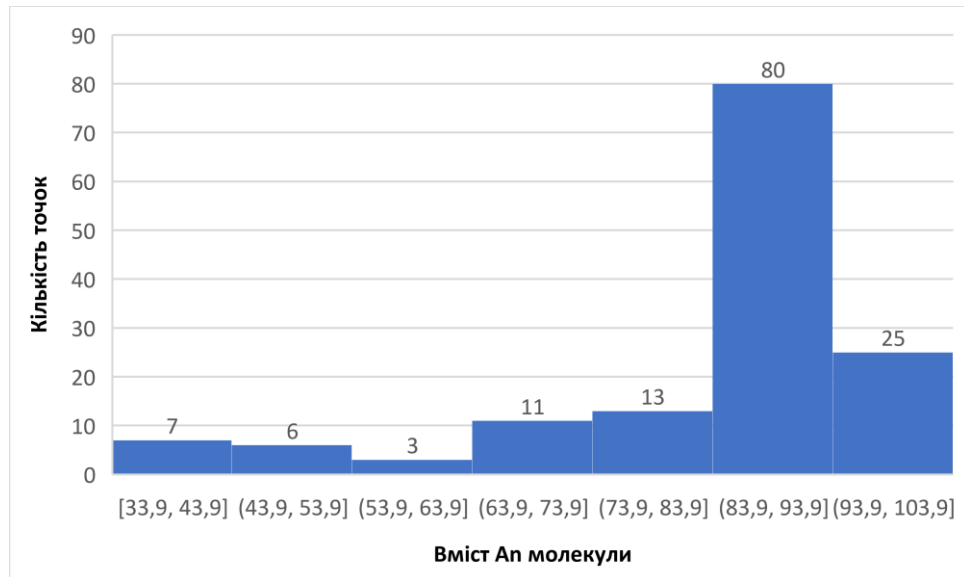


Рисунок 2.6 Розподіл основності зерен плагіоклазу.

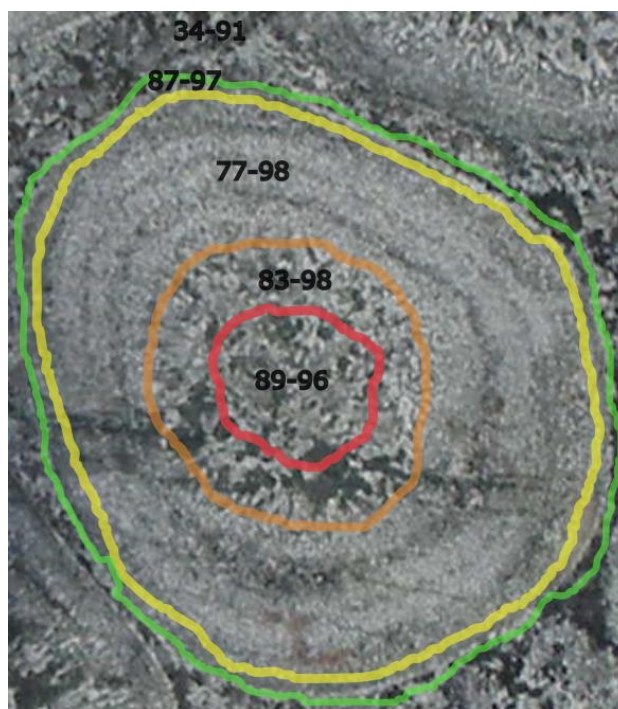


Рисунок 2.7 Зональний розподіл основності зерен плагіоклазу. Фото

Митрохина О.В.

Спроби з'ясування тиску формування орбікул шляхом вимірів вмісту Al_2O_3 в первинних рогових обманках не дали надійних результатів. Можливо це пов'язано з тим що геобарометри не працюють при такому низькому вмісті кремнезему (приблизно 1,5%), а можливо це інтерпретується як субвулканічна фація кристалізації рогової обманки.

2.4 Результати дослідження елементного складу порід

2.4.1 Головні петрогенні елементи

Аналіз петрогенних елементів виконувався рентген-флуоресцентним методом у стінах науково-дослідної лабораторії мінералого-геохімічних досліджень в ННІ «Інститут геології». Всього було підготовлено 10 порошкових препаратів (Додаток Б), а отримані дані усереднено для матриксу та орбікул (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Середні значення концентрацій петрогенних елементів для орбікул та матриксу (wt%).

Title	Avar_mtr	Avar_orb
SiO ₂	47,80	44,74
TiO ₂	0,36	0,06
Al ₂ O ₃	17,82	19,88
Fe ₂ O ₃ *	8,30	7,62
MnO	0,16	0,11
MgO	11,74	15,15
CaO	11,79	9,38
Na ₂ O	0,99	0,60
K ₂ O	0,50	1,96
P ₂ O ₅	0,07	0,03

За діаграмою TAS (Na_2O+K_2O) – SiO₂, обидва умовні розплави потрапляють у поле габро нормальної (матрикс) та сублужної (орбікули) серій (рис. 2.8.a). За

діаграмою AFM – обидва представники вапняково-лужної серії (рис. 2.8.б). Розрахований нормативний мінеральний склад методом CIPW вказує на примітивніший склад орбікул ніж міжорбікулярної маси (табл. 2.3) при нормативній основності плагіоклазу An_{89} та An_{83} відповідно (розрахунок проведено у програмі Курта Голлочера). Примітивнішим називатимемо мінеральний склад хондритового метеорита, із асоціаціями Ol-Px-Pl.

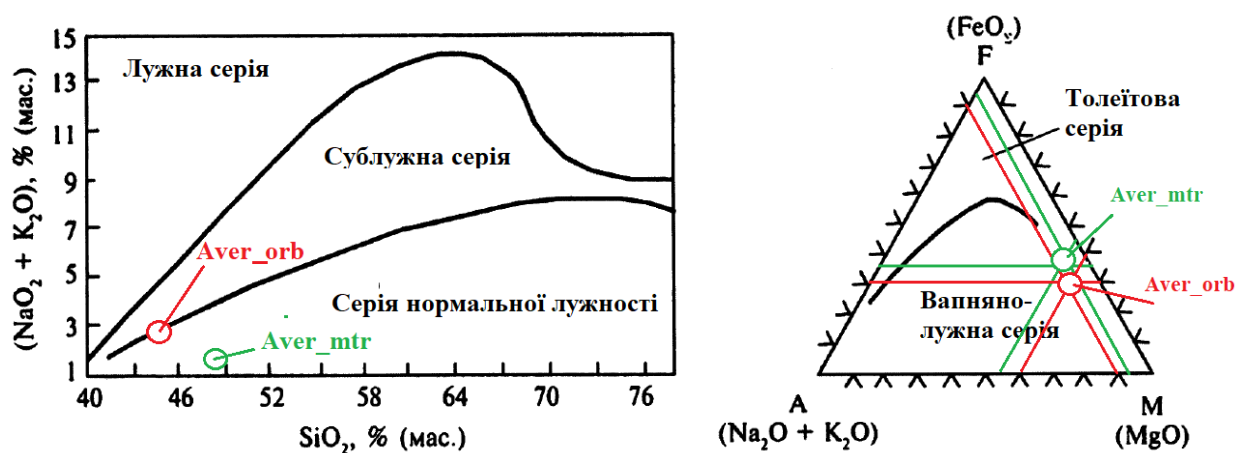


Рисунок 2.8 а – (зліва) Діаграма TAS із винесеними результатами вимірювань, б – (справа) діаграма AFM із винесеними результатами вимірювань. Aver_orb – середні значення концентрацій елементів орбікул, Aver_mtr – середні значення концентрацій елементів матриксу.

Таблиця 2.3 Нормативний мінеральний склад орбікул та матриксу, розрахований методом CIPW.

Average_MTR			Average_ORB		
Normative	Weight %	Volume %	Normative	Weight %	Volume %
Minerals	Norm	Norm	Minerals	Norm	Norm
Plagioclase	51,76	56,86	Plagioclase	51,45	55,21
Orthoclase	2,95	3,47	Orthoclase	11,70	13,46
Diopside	12,48	11,37	Diopside	0,48	0,43
Hypersthene	19,46	17,30	Hypersthene	0,16	0,14

Olivine	11,28	9,72		Olivine	34,91	29,99
Ilmenite	0,68	0,43		Ilmenite	0,11	0,07
Magnetite	1,22	0,70		Magnetite	1,12	0,63
Apatite	0,16	0,15		Apatite	0,07	0,06

Іншою цікавою особливістю є те, що хоча орбікули «примітивніші» за орбікулярний матрикс, проте вони мають значно вищий вміст калію.

2.4.2 Мікроелементний аналіз

Мікроелементний склад зразків визначався рентген-флуоресцентним методом, на приладах Elvax, окремо для лантаноїдів та інших мікроелементів. Серед загальної вибірки (Додаток В), для інтерпретації були обрані найбільш репрезентативні елементи із міркувань їхньої кількості, вищої за межу визначення аналітичної методики (табл. 2.4). За цими даними було побудовано спайдер-діаграму нормовану на базальти серединно-океанічних хребтів N-MORB (normal-type mid-ocean ridge basalt) (рис. 2.9).

Таблиця 2.4 Середні значення концентрацій деяких мікроелементів в матриксі і орбікулах (ppm).

Trace element	Avar_mtr	Avar_orb
Ni	63	114
Zn	56	68
Rb	13	48
Sr	490	438
Y	14	4
Zr	41	11
Ba	97	277
La	12	9
Ce	24	15

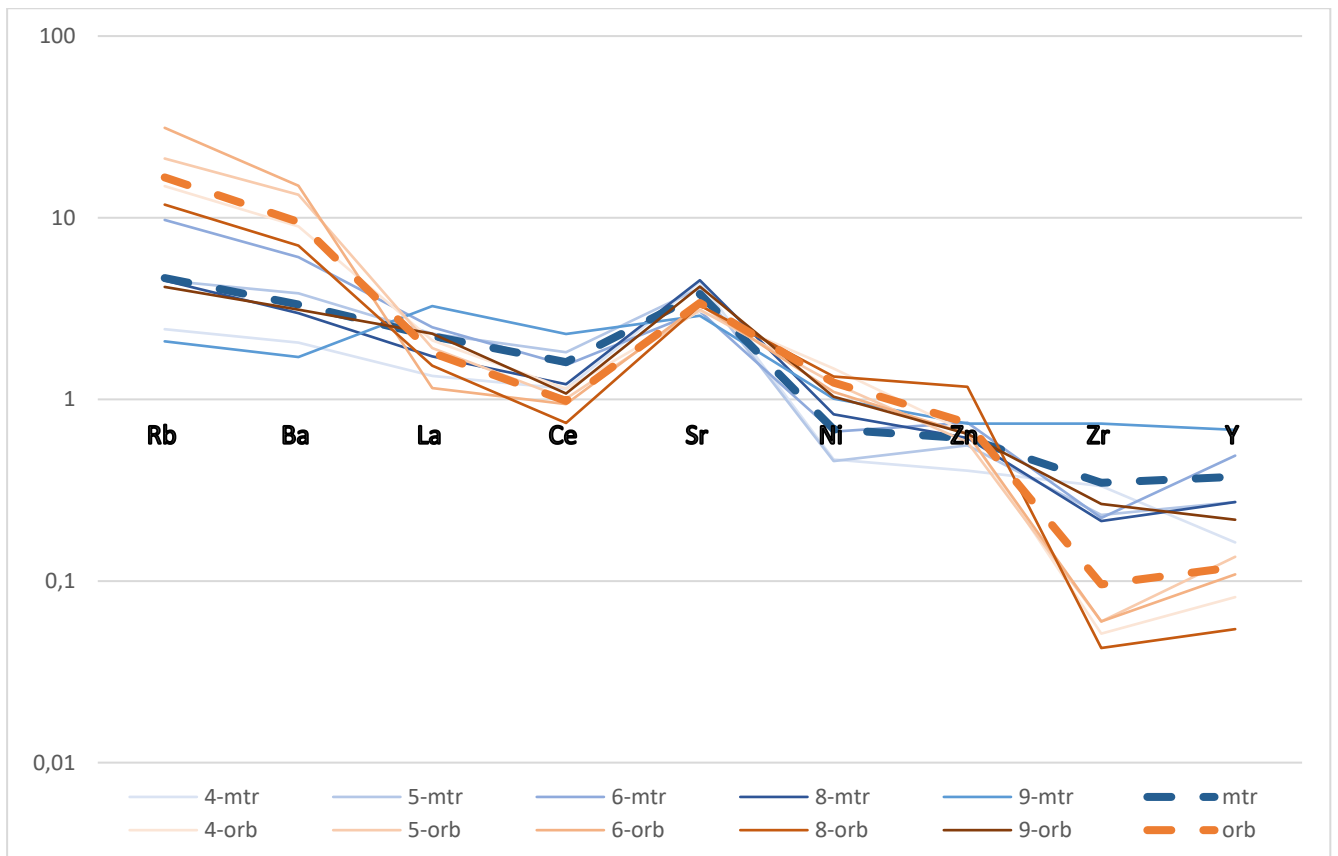


Рисунок 2.9 Спайдер-діаграма найбільш представницьких мікроелементів.

Подібність поведінки мікроелементів (рис.2.9) наводить на думку про спорідненість речовини орбікул та матриксу, де орбікули є більш диференційованими за матрикс. На перший погляд, такий результат може протирічити даним макроелементного аналізу, проте може пояснюватися більшою поширеністю слюди в орбікулах.

ВИСНОВКИ

Орбікулярні гірські породи о. Ховгаард представники найрідкісніших різновидів – орбікулярних габро.

Для орбікулярних порід о. Ховгаард властива висока основність плагіоклазу (у всіх елементах породи) наявність шпінелі та корунду, що дозволяє виділити їх різновид – ховгаардити.

Мінеральний склад охоплює 23 мінеральні фази: Pl, Hbl, Act, Bt – породотвірні і наскрізні для всіх складових породи, Qu, Ep, Sp, Crn, Cr – другорядні та акцесорні і властиві для орбікул, Pl(Na), cPx, oPx, Ilm, Gn, Ttn, Leu, Zr – другорядні та акцесорні властиві для матриксу.

Спостерігається тенденція поступового зменшення основності зерен плагіоклазу від ядра до периферії орбікул із стрімким зменшенням в матриксі, що свідчить про подібність рТ умов формування зон орбікул та зміну умов кристалізації матриксу.

Такі факти як більша основність плагіоклазу орбікул, їх примітивніший валовий склад та особливості будови (Додаток А), контакти орбікула-матрикс, свідчать про першочергове формування орбікул.

Розповсюдженість в оболонках орбікул водовмісних мінералів групи слюд та рогової обманки, свідчать на користь гіпотези [5] про головне значення флюїдів при циклічному формування оболонок. Також, на користь цієї гіпотези, можна прийняти той факт що орбікули багатші на калій (що переважно концентрується в слюдах), який імовірно міг мігрувати у флюїдних розчинах.

Дані мікроелементного аналізу, на думку автора, можна інтерпретувати як еволюцію одного розплаву. Переважання рубідію, в імовірно менш

диференційованому розплаві орбікул, пояснюється його концентрацією в слюдах, котрі мають змішане (магматико-гідротермальне?) походження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

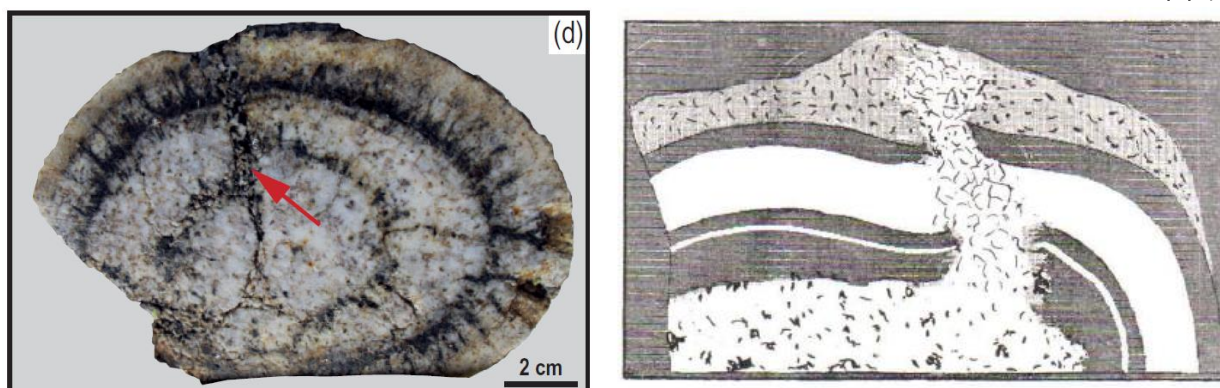
1. Leveson D.J. Orbicular rocks: a review. Geological Society of America Bulletin, 1966, 77, 409-426.
2. Le Maitre R.W.(ed) Igneous rocks a classification and glossary of term. Recommendation of the International Unite of Geological Sciences Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks. Cambridge University Press, 2002, 236.
3. D. Fettes, J. Desmons. Metamorphic rocks. A classification and glossary of terms. Cambridge University Press, 2007, 255.
4. J.Díaz-Alvarado, N.Rodríguez, C.Rodríguez, C.Fernández, Í.Constanzo. Petrology and geochemistry of the orbicular granitoid of Caldera, northern Chile. Models and hypotheses on the formation of radial orbicular textures. Lithos №284–285 (2017) p. 327–346
5. McCarthy A., Müntener O. Melt Extraction Zones in Shallow Arc Plutons: Insights from Fisher Lake Orbicules (Sierra Nevada, Western USA). Journal of Petrology, 2016, Vol. 57, No. 10, 2011–2052
6. J. Zhang, Cin-Ty A. Lee. Disequilibrium crystallization and rapid crystal growth: a case study of orbicular granitoids of magmatic origin. Internatonal Geology Review. <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1734975>
7. McCarthy, A., Мьнтener, O., 2017. Mineral growth in melt conduits as a mechanism for igneous layering in shallow arc plutons: mineral chemistry of Fisher Lake orbicules and comb layers (Sierra Nevada, USA). Contrib. Mineral. Petrol. 172 (7), 55. <https://doi.org/10.1007/s00410-017-1371-z>.
8. Barbey, Pierre & Grandprat, Michel & Faure, Francois. (2021). Cordierite-Bearing Orbicules Record Bulk Assimilation and the Pulsating Nature of Magma Ascent: The Lafaye Orbicular Granite (France). Journal of Petrology. 62. [10.1093/petrology/egab063](https://doi.org/10.1093/petrology/egab063).

9. О.В.Митрохин, В.Г.Бахмутов . Перша знахідка орбікулярних габроїдів в районі української антарктичної станції «Академік Вернадський» (Архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика. Мінералогічний журнал, 2021.
- 10.Митрохин О.В., Бахмутов В.Г., Алексеєнко А.Г., Митрохіна Т.В. Петрологія габроїдів островів Анаграм (архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика). Мінерал. журн. 2020. 42, № 4. С. 69—83.
<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.069>
- 11.Watson, T. L. (1904) Orbicular gabbro-diorite from Davie County, North Carolina. J. Colloid. Sci. 5, 85-97
- 12.Schaller, W. T. (1911) Orbicular gabbro from Pala San Diego County California. U.S. Geol. Surv. Bull. 490, 58-9.
- 13.J.J. Sederholm (1928) On Orbicular granites spotted and nodular granites etc. and on the rapakivi texture. Commission Geologique de Finlande.
- 14.Satterly, J. (1940) An orbicular gabbro from Tremeer Lake, Kenora district, Ontario. Toronto Univ. Studies Geol. Ser. 44, 75-82.
- 15.Campbell, I. (1942) Orbicular gabbro from Black Butte, Los Angeles County, California. Am. Mineral. V.27, №3, 218-9.
- 16.Carstens, H. (1957) On the orbicular structure in the norite of Pamsaas, Norway. Norsk Geol. Tidsskr. 37, 279-80.
- 17.Merriam, R. (1958) Orbicular gabbro near Pine Valley, California. Southern California Acad. Sci. Bull. 57, 24-33.
- 18.Barriere, M. (1972) Le gabbro orbiculaire des Alharesses (massif de Neuvielle, Pyrennes francaises). Bull. Soc. Franc. Mineral. Crist. 95,495-506.
- 19.Maggetti, M., van Diver, B. B., Galetti, G. and Sommerauer, J. (1978) PT-conditions of orbicular gabbro from Reichenbach, West Germany. Neues Jahrb. Mineral. Abh. 134, 52-75.

20. Rodda P. An occurrence of orbicular gabbro in Fiji. N.Z. Journal of geology and geophysics Vol. 19, №2 (1976): 265-8
21. Yazgan, E., Mason, R., 1988. Orbicular gabbro from near Baskil, southeastern Turkey. Mineralogical Magazine 52, 161–173.
22. Rai P., Pati J. K. (2009) Multi-shelled orbicular olivine gabbro from Leh, Jammu and Kashmir, Ladakh Himalaya. Current Science, vol. 97, №12, 25 December 2009
23. E. Ulusoy, Y.K. Kadioğlu. Orbicular gabbro as an indicator of magma mixing from Strandja Massif, Northwest Turkey: Mineral chemistry and confocal raman spectrometry methods. 17 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 29 June - 5 July 2017, Albena, Bulgaria.
24. S. Pristavova, S. Encheva, P. Petrov, P. Petrov, P. Filipov. Orbicular gabbro from the northern part of the Plana Pluton, Bulgaria – new data. XXII International Congress of the CBGA, Provdiv, Bulgaria, 7-11 September 2022, Abstracts.

ДОДАТКИ

Додаток А



Структурні особливості матриксу та орбікули. Матрикс «ін'єкується» в орбікулу, що свідчить першочергове формування орбікули. За даними [7,13].

Додаток Б

Title	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S
253A-4 mtr	47,68	0,29	20,90	6,46	0,15	9,73	12,97	0,95	0,34	0,09	0,06
253A-4 orb	43,80	0,06	19,87	8,00	0,10	16,82	8,15	0,58	2,10	0,03	0,07
253A-5 mtr	47,90	0,56	19,27	8,06	0,14	8,91	12,72	1,41	0,49	0,07	0,08
253A-5 orb	43,73	0,05	20,26	7,20	0,08	15,76	9,31	0,54	2,57	0,03	0,08
253A-6 mtr	47,37	0,50	15,84	9,40	0,15	12,94	11,25	0,96	1,03	0,07	0,08
253A-6 orb	43,57	0,06	20,24	7,62	0,07	15,82	8,36	0,51	3,22	0,05	0,08
253A-8 mtr	46,00	0,30	19,85	7,50	0,14	11,94	12,43	0,79	0,49	0,09	0,06
253A-8 orb	44,19	0,04	20,14	7,56	0,11	15,29	9,86	0,64	1,67	0,02	0,07
253A-9 mtr	50,04	0,15	13,22	10,10	0,21	15,19	9,58	0,86	0,15	0,04	0,07
253A-9 orb	48,41	0,07	18,86	7,75	0,17	12,04	11,21	0,75	0,25	0,02	0,07
Avar_mtr	47,80	0,36	17,82	8,30	0,16	11,74	11,79	0,99	0,50	0,07	0,07
Avar_orb	44,74	0,06	19,88	7,62	0,11	15,15	9,38	0,60	1,96	0,03	0,08

Валові хімічні аналізи орбікул та міжорбікулярного матриксу (wt%).

Результати аналізу складу зразків серії "20-253А" (вміст визначений в г/т)

Sample	Назва	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr
1	253A-4 mtr	39595	43	3	37	10	1	0	0	7	572	6	39
2	253A-4 орб	53303	136	7	60	11	2	0	0	43	396	3	6
3	253A-5 mtr	59878	42	10	51	14	2	0	1	13	528	10	27
4	253A-5 орб	47321	113	4	53	12	4	0	1	61	402	5	7
5	253A-6 mtr	74223	61	11	68	16	4	0	0	28	394	18	26
6	253A-6 орб	50372	101	5	59	12	1	0	0	90	429	4	7
7	253A-8 mtr	53727	76	6	56	11	4	0	0	13	584	10	25
8	253A-8 орб	49104	123	7	107	12	4	0	0	34	424	2	5
9	253A-9 mtr	68200	93	4	67	9	2	0	0	6	373	25	86
10	253A-9 орб	52668	95	6	59	10	3	0	1	12	539	8	31

Межа визначення,
г/т

200 20 15 15 10 5 5 5 5 5 5 5

Sample	Назва	Nb	Mo	Pb	Th	U	I *	Cs *	Ba	La	Ce	Pr	Nd
1	253A-4 mtr	0	0	4	0	0	13	0	60	7	17	2	1
2	253A-4 орб	0	0	3	0	0	12	0	261	11	17	3	2
3	253A-5 mtr	1	0	5	1	0	15	0	112	12	27	3	3
4	253A-5 орб	0	1	3	0	0	11	2	391	10	15	3	1
5	253A-6 mtr	0	1	5	1	0	11	0	177	13	23	5	4
6	253A-6 орб	0	0	3	0	2	16	1	438	6	14	3	0
7	253A-8 mtr	0	0	3	0	0	12	0	87	9	18	3	0
8	253A-8 орб	0	0	2	0	0	14	0	205	8	11	0	0
9	253A-9 mtr	0	0	6	3	0	12	0	50	17	34	4	4
10	253A-9 орб	0	0	8	1	0	13	0	91	12	16	1	2

Межа визначення,
г/т

5 5 5 5 5 15 15 15 15 15 15 15

Примітка: I*, Cs* - вміст оцінений по калібровці Ba;