



Электронная версия доступна на сайте
[www.fmm.ru/Новые данные о минералах](http://www.fmm.ru/Новые_данные_о_минералах)

Минералогический музей
 имени А.Е. Ферсмана РАН

НДМ

Новые данные о минералах, том 55, вып. 1 (2021), 24–34

Новые данные об орбикулярных базитовых породах на примере корсита (орбикулярного габбро с острова Корсика) из коллекции Рудно-петрографического музея Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук

М.К. Суханов, А.В. Чистяков

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, 1950su@mail.ru, chit_1970@mail.ru

Статья посвящена результатам изучения корсита – орбикулярного габбро-анортозита из коллекции Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН. Исследованный образец представляет собой полированную плиту размером 60 × 45 × 10 см. Состав породы (объемн.%): анортит – 70, амфибол – 30. Орбикулы размером 2–4 см составляют 40% породы. Приведен валовый состав орбикул и основной матрицы, а также химический состав минералов из центральных частей орбикул и основной массы породы, которые практически одинаковы (An_{84-87} в орбикулах, An_{81} в основной массе; для амфиболов, относящихся к чермакитовому ряду, $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0.7-1.0$, $Si = 6.3-6.5$), зональность в минералах не обнаружена. По химическому составу как основная масса породы, так и центральные части орбикул соответствуют габбро-анортозиту с содержанием Al_2O_3 в орбикулах 26–27% и в основной массе – 24–25%. Предполагается, что орбикулы образовались из обломков ранее затвердевшей магмы.

Ключевые слова: корсит, шаровые габбро-анортозиты, орбикулярные породы, Рудно-петрографический музей ИГЕМ РАН.

Введение

Внимание петрографов и минералогов издавна привлекали шаровые текстуры горных пород и причины их возникновения (Watson, 1904; Левинсон-Лессинг, 1935; Leveson, 1966; Perttunen, 1983; Elliston, 1984; Symes et al., 1987; Мусаев, Рафиков, 2007; Zhang, Lee, 2021; Barbey et al., 2021, и мн. др.). В Петрографическом словаре (1963) под ними понимаются «все случаи концентрического или радиального расположения составных частей некоторых пород. Сюда относятся струк-

туры: оолитовая, пизолитовая, сферолитовая, вариолитовая, макровариолитовая, собственно шаровая. В узком смысле это структуры глубинных пород, состоящих из сфероидальных образо-

* На сегодняшний день под структурой горной породы в современной отечественной литературе понимаются признаки горной породы, обусловленные размерами, формой индивидов минералов, а также степенью их кристалличности (среднезернистая, тонкокристаллическая структуры). Текстура же характеризует взаимное расположение и ориентировку агрегатов минералов (гнейсовидная, пятнистая). В старой литературе (в том числе в означенной ссылке), а также в зарубежной эти понятия порой смешиваются и четко не различаются (Прим. ред.).

ваний, концентрически-скорлуповатого сложения и кристаллическизернистого цемента (промежуточной массы)». Одним из примеров таких пород является корсит, который определяется как «древняя кристаллическизернистая анортито-рогово-обманковая порода из группы габбро, с великолепной шаровой структурой, которая содержит 77% плагиоклаза, 21% роговой обманки, гиперстена, 2% кварца, рудные минералы, апатит (Левинсон-Лессинг, Струве, 1937). По рекомендациям Межведомственного петрографического комитета корсит именуется как «орбикулярная разновидность габбро, состоящая существенно из кальциевого плагиоклаза с розовой обманкой, незначительным количеством гиперстена и кварца» (http://www.igem.ru/petrokomitet/slovar.html?p=main5_5).

Среди шаровых текстур в магматических породах различают вариолитовые и орбикулярные. Вариолитовые текстуры характерны для вулканических основных и ультраосновных пород. Часто они встречаются в базальтах и обусловлены вкраплениями стекловатых шарообразных включений (вариолей). Размер вариолей составляет обычно несколько миллиметров, реже до 2 сантиметров. Их состав более кислый, чем у вмещающих пород. Происхождение таких структур объясняется ликвацией расплава либо смешением расплавов различного состава (Красивская и др., 2010), а также флюидно-диффузионными процессами, что предполагает образование вариолитов за счет быстрого затвердевания продуктов диффузионных взаимодействий между пикробазальтовым расплавом и обособившимся от него водно-солевым флюидом (Гудин, 2011).

Орбикулярные текстуры (Левинсон-Лессинг, 1935; Заварицкий, 1956; Leveson, 1966; Elliston, 1984, и мн. др.) характерны для глубинных пород. Они обусловлены наличием орбикул, или орб,

– округлых часто зональных кристаллических выделений размером до нескольких сантиметров (от лат. orbiculus – кружок, шарик; англ. orbicular – сферический, шаровой, круглый). Происхождение таких пород активно обсуждается, и, в отличие от вариолитов, гипотез образования орбикулитов, как порой именуют породы с орбикулярными структурами, значительно больше.

Объектом настоящего исследования стал образец корсита из интрузии Лорето ди Таллано с острова Корсика в Средиземном море, хранящийся в Рудно-петрографическом музее Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) (музейный номер 4145, рис. 1). Он был передан известным дипломатом, минералогом и коллекционером того времени Генрихом Антоновичем Струве (1772–1851) и представляет собой полированную плиту размером 62 × 48 × 11 см, которая была доставлена в Россию в 1830 году. В Рудно-петрографическом музее плита оказалась в 1930 году результате многочисленных преобразований, которые претерпели коллекции Кунсткамеры за сто лет (Богатиков и др., 2015).

Интерес к данной породе определяется еще и тем, что с конца XVIII века корсит стал использоваться как декоративный, поделочный камень. Из него выполняли столешницы, рамы для зеркал, различные изделия (рис. 2).

Дж. Пинкертон назвал эту породу *миажит* по леднику в Альпах, он же отметил орбикулы, сложенные чередующимися светлыми участками полевого шпата и темными, которые ошибочно были им приняты за сидерит (Pinkerton, 1811). А. Делесс назвал изучаемую породу «орбикулярным диоритом с Корсики», выполнил первые химические анализы породообразующих минералов – плагиоклаза и амфибола – и установил, что плагиоклаз

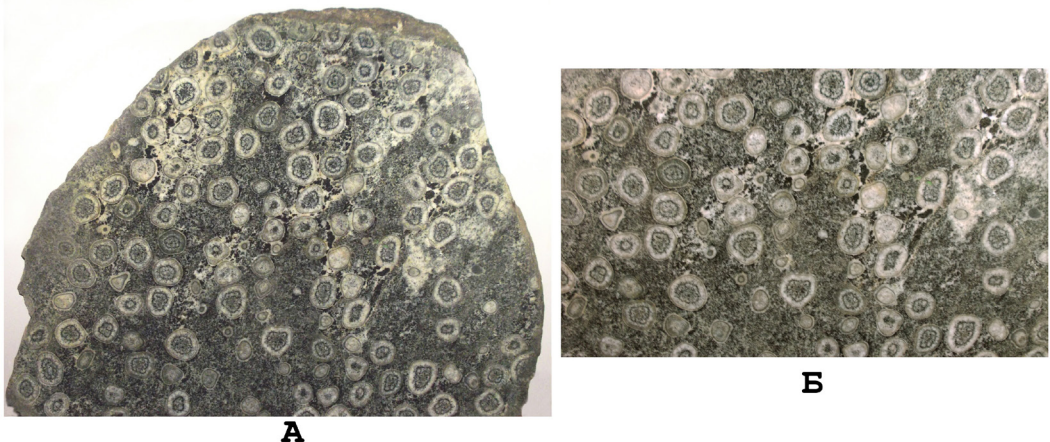


Рис. 1. Образец Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН №4145. А – полированная плита корсита, ширина основания 62 см, высота 48 см, толщина 11 см. Б – центральная часть плиты 44 × 23 см.



Рис. 2. Изделия из корсита: часы, высота 50 см, кубки, высота 40 см. Частная коллекция.

представлен анортитом, а амфибол – роговой обманкой (Delesse, 1848). М. Колломб, выполняя геологические исследования на Корсике, описал упомянутые орбикулы и предложил имя *корсит* (Collomb, 1853), Ф. Зиркель назвал эту породу *кугельдиорит* (Zirkel, 1866), Б. фон Котта – *наполеонит* в честь императора Наполеона I (Cotta, 1866). Но все же за породой прочно закрепилось наименование *корсит*. М. Пиболе с соавторами подробно описали строение интрузии, в которой залегают корситы (Piboule et al., 1989). Несмотря на упоминание корсита во многих обзорах, посвященных орбикулярным породам (Левинсон-Лессинг, 1935; Заварицкий, 1956; Leveson, 1966 и мн. др.), детального инструментального изучения этой породы не проводилось, если не считать химические анализы, выполненные А. Делессом (Delesse, 1848). Целью проведенного исследования является получение новых данных о вещественном составе этой породы, которые помогли бы в дальнейшей расшифровке ее происхождения.

Геологическое положение и строение интрузии Лорето ди Таллано

Корсика – четвертый по величине остров в Средиземном море, с севера на юг он вытянут на 183 км, а его ширина достигает 83 км. В основании острова залегает палеозойский гранитоидный комплекс, возраст которого оценивается в 290–350 млн лет (Rossi, Cocherie, 1991). Около 50 млн лет

назад мезозойские осадочные породы были надвинуты на восточную часть острова и превращены в сланцы. Здесь известно около 30 базитовых позднепалеозойских интрузий (рис. 3), из которых лишь один массив, Лорето ди Таллано, содержит корситы. Размеры интрузий невелики (не более 2 км по простиранию). Распространение этих пород приводится на основании геологической карты Италии масштаба 1 : 1250000, выпущенной к 32-му Международному геологическому конгрессу в 2004 г. (Geological map of Italy... 2004).

Массив Лорето ди Таллано представляет собой небольшую интрузию (площадь выходов около 2 кв. км), расположенную вблизи одноименного населенного пункта в юго-западной части Корсики недалеко от морского побережья (рис. 3). Интрузия хорошо обнажена только в одном месте, что позволяет изучать ее разрез на протяжении 120 м. Сведения о разрезе центральной части этой интрузии (рис. 4) имеются в работе М. Пиболе с коллегами (Piboule et al., 1989).

Мощность разреза около ста метров, где на собственно корситы приходится лишь около 4 метров. Примечательно, что в основании разреза залегают габбодолериты – гипабиссальные породы, что указывает на небольшую глубину формирования интрузии. В низах разреза также встречаются оливинсодержащие породы, троктолиты, далее вверх по разрезу оливин отсутствует, а амфибол и плагиоклаз (битовнит) становятся главными

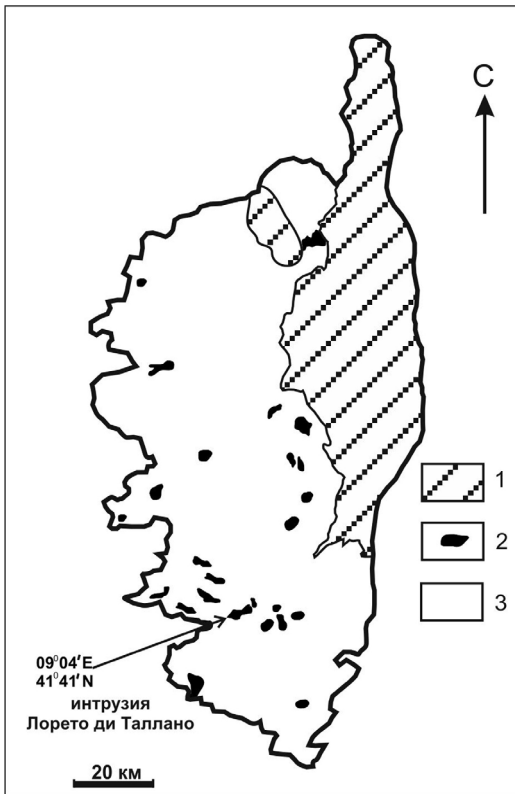


Рис. 3. Схема геологического строения Корсики.
 1 – мезо-кайнозойские осадочные породы.
 2 – базитовые позднепалеозойские интрузии, показаны вне масштаба. Распространение этих пород дается в соответствии с геологической картой Италии масштаба 1 : 1250000, выпущенной к 32-му Международному геологическому конгрессу в 2004 г. (Geological map of Italy... 2004).
 3 – палеозойские гранитоидные интрузии.

породообразующими минералами. Еще выше залегают сами корситы, над ними – мелкозернистые габбро мощностью около 5 м с линзами корситов размером до 2 м. Вверх по разрезу количество орбикул и их размеры уменьшаются.

Методика аналитических исследований

Для изучения химического состава корсита использовались небольшие музейные образцы. Из центральных частей крупных орбикул были выпилены фрагменты для исследований объемом около четырех кубических сантиметров, вещество вручную истиралось в ступке и подвергалось анализу. Аналогичным образом изучалось вещество основной массы корсита тех же образцов. Все аналитические исследования предприняты в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (г. Москва). Изучение состава минералов проведено С.Е. Борисовским на микроана-

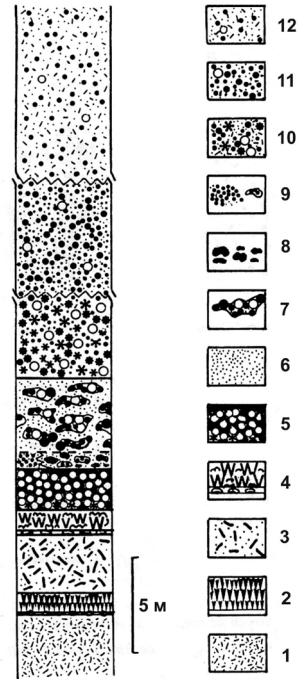


Рис. 4. Схематический разрез стратифицированной части интрузии Лорето ди Таллано по (Piboule et al., 1989).
 1 – габродолериты, 2 – харризит (оливиновые габбро), 3 – габбро, 4 – полосчатые габбро, 5 – корситы, 6 – мелкозернистые габбро, 7 – линзы корситов в мелкозернистом габбро, 8 – включения среднезернистых габбро, 9 – отдельные микроорбикулы в габбро, 10 – габбро с небольшим количеством орбикул, 11 – габбро с единичными орбикулами, 12 – габбро с микроорбикулярными включениями.

лизаторе JXA-8200 фирмы JEOL при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе 20 нА, диаметре зонда 1 мкм. Время экспозиции на основные элементы составило 10 секунд, на элементы примеси – 20 секунд. Расчет поправок осуществлялся по методу ZAF – коррекции с использованием программного обеспечения фирмы JEOL. В качестве стандартов использованы: Si – анортит К-2-У, эгирин С-38; Ti – шорломит С-68; Al – анортит К-2-У; альмандин С-60; Fe – эгирин С-38; Mn – спессартин С-55; Mg – оливин В-14; Са – анортит К-2-У, диоксид В-6; Na – жадеит С-15; К – санидин В-19. Измерение для всех элементов осуществлялось по *Kα*-линии.

Содержание петрогенных элементов в породах определено Ю.Ю. Атамановой на рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного действия PW-2400. Излучатели изготовлены сплавлением 0,3 г порошка пробы с 3 г тетрабората лития в индукционной печи с последующим отливом

гомогенного стеклообразного диска. Потери при прокаливании определялись гравиметрическим методом. Точность анализа составила 1–5 отн.% для элементов с концентрациями выше 0.5 мас. и до 12 отн.% для элементов с концентрациями ниже 0.5 мас. %.

Определение редких и редкоземельных элементов выполнено Е.А. Минервиной методом индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием на приборе ICP-MS Thermo Scientific X2 series. Разложение образцов пород проводили путем вскрытия в микроволновой печи. Детали методики изложены в работе (Бычков и др., 2016).

Петрография и геохимия корсита

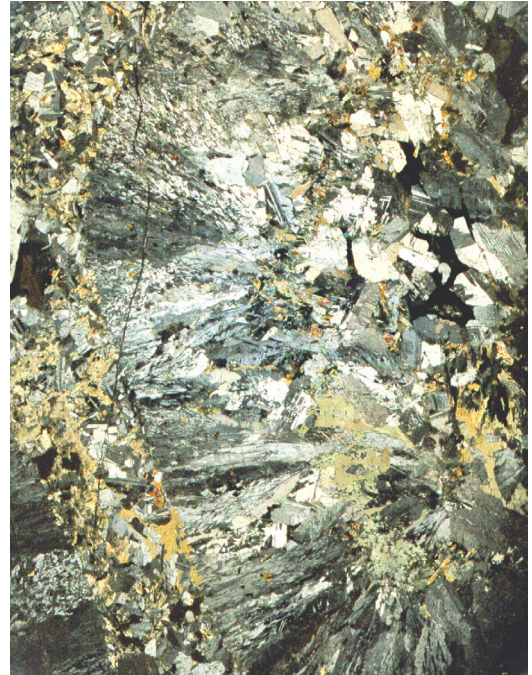
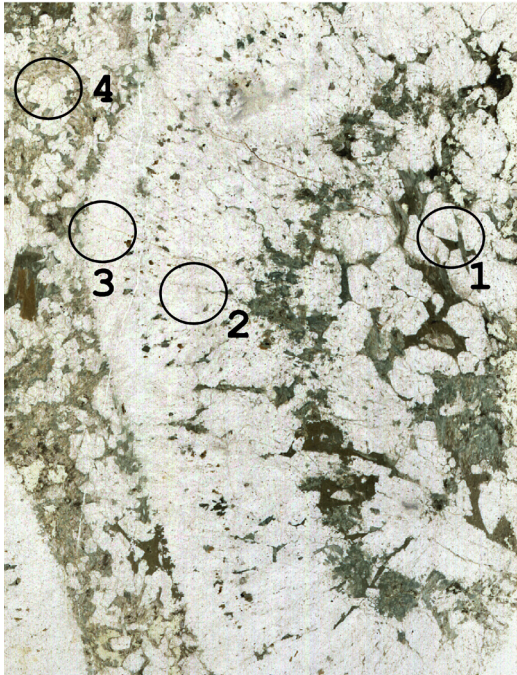
Корсит представляет собой среднезернистую породу с орбикулярной текстурой, сложенную изометричными несдвоенными зернами плагиоклаза (70%) и амфибола (30%) размером 1–1.5 мм (рис. 1). Из аксессуарных минералов встречен лишь апатит. Кварц, гиперстен не обнаружены. Орбикулы составляют около 40 объем.% породы и имеют, как правило, округлую форму.

Средний размер орбикул 3–4 см в диаметре,

их ядра (центральные части) размером 1.5–2 см, как правило, имеют угловатые очертания и сложены более крупными кристаллами по сравнению с наружной оболочкой. В некоторых местах породе пересекают линзовидные прожилки длиной 20–25 см при ширине 3–5 см, сложенные еще более крупными (до 7 мм) кристаллами плагиоклаза и амфибола. Были изготовлены 10 прозрачно-полированных шлифов (2 × 3 см), которые позволили исследовать центральные части орбикул, их обрамление и основную массу породы.

На рис. 5 показаны участки, в которых определены составы плагиоклазов и амфиболов (табл. 1, 2; цифрами в номере анализа обозначены участки, показанные на рис. 5). Для выяснения однородности состава минералов проводились определения и в других частях шлифа, при этом анализировались как краевые, так и центральные части зерен. В большинстве случаев орбикулы имеют однотипное строение, в котором можно выделить несколько зон (рис. 5).

1 – центральная часть орбикулы, сложена сравнительно крупными (2.0–2.5 мм), изометричными кристаллами плагиоклаза (An_{84-87}) и амфибола чермакитового ряда ($Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0.7-1.0$;



2 см

А

Б

Рис. 5. Микрофото типичной орбикулы и основной массы. А – без анализатора, Б – николи скрещены. 1 – центральная часть орбикулы, 2 – внутренняя часть орбикулы с пластинчатыми кристаллами, 3 – внешняя часть орбикулы с изометричными кристаллами, 4 – основная масса породы. В указанных местах определен состав минералов на микроанализаторе, результаты приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Состав плагиоклазов из различных частей корсита (вес.%)

Образец	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	Or	Ab	An
Центральная часть орбикулы										
1-1ц	45.18	33.95	0.15	17.94	1.50	0.01	98.73	0.0	13.2	86.8
1-1к	45.66	33.69	0.11	17.68	1.69	0.01	98.84	0.0	14.8	85.2
1-2ц	45.03	33.99	0.15	18.05	1.37	0.01	98.60	0.0	12.1	87.9
1-2к	45.47	33.93	0.08	17.76	1.52	0.01	98.77	0.0	13.5	86.5
1-3ц	45.96	33.22	0.17	18.28	1.48	н.о.	99.11	0.0	12.8	87.2
1-3к	45.79	33.83	0.16	17.53	1.84	0.01	99.16	0.0	16.0	84.0
Внутренняя часть орбикулы										
2-1ц	46.18	32.95	0.08	16.81	2.20	0.01	98.23	0.0	19.1	80.9
2-1к	46.25	33.12	0.13	16.87	2.11	0.02	98.50	0.1	18.5	81.4
2-2ц	46.05	32.58	0.12	16.58	2.22	0.09	97.64	0.5	19.4	80.1
2-2к	46.39	32.90	0.18	16.44	2.22	н.о.	98.13	0.0	19.6	80.4
2-3ц	47.07	33.14	0.09	17.14	2.21	н.о.	99.65	0.0	18.9	81.1
2-3к	47.53	33.06	0.08	16.86	2.19	0.01	99.73	0.0	19.1	80.9
Внешняя часть орбикулы										
3-1 ц	46.12	33.65	0.12	17.20	1.90	0.01	99.00	0.0	16.7	83.3
3-1к	46.20	33.45	0.11	17.06	2.03	н.о.	98.85	0.0	17.7	82.3
3-2ц	46.93	33.21	0.10	17.30	2.05	н.о.	99.59	0.0	17.7	82.3
3-2к	46.82	33.41	0.16	17.34	2.10	0.01	99.84	0.0	18.0	82.0
Основная масса корсита										
4-1ц	46.90	33.10	0.11	16.85	2.14	0.01	99.11	0.0	18.7	81.3
4-1к	46.39	33.49	0.08	17.19	2.19	0.01	99.35	0.0	18.8	81.2
4-2ц	47.15	32.99	0.20	17.28	2.13	0.01	99.76	0.0	18.3	81.7
Прожилковые образования										
5-2ц	47.15	32.99	0.20	17.28	2.13	0.01	99.76	0.0	18.3	81.7
5-2к	46.97	33.18	0.12	17.05	2.21	0.01	99.54	0.0	19.0	81.0

Примечание. н.о. – элемент не обнаружен. В номере образца: ц – центр, к – край зерна. Изученные зоны показаны на рис. 5.

Si = 6.3–6.5) (Leake et al., 1997; Hawthorne et al., 2012). Похожий состав имеют и амфиболы основной массы породы.

2 – зона, образованная удлиненными пластинчатыми кристаллами плагиоклаза, ориентированными перпендикулярно центральной части орбикулы. Эти кристаллы длиной 5–7 мм при ширине 0.2–0.5 мм образуют лейкократовые оторочки вокруг меланократовых участков орбикул, что определяет характерную шаровидную текстуру корсита. Плагиоклазы однородны, несдвоенникованы и содержат чуть меньше анортитовой составляющей по сравнению с плагиоклазами центральной зоны (An_{80.1–80.9}). (Состав плагиоклазов корсита показан на рис. 6.) Изредка здесь встречаются мелкие (до 0.5 мм) удлиненные кристаллы амфиболов, по химическому составу аналогичные таковым из центральных частей орбикул.

3 – внешняя, краевая зона сложена мелкими

(0.2–0.4 мм) изометричными кристаллами плагиоклаза (An_{82.0–83.3}). Изредка среди них встречаются мелкие кристаллы амфибола, по составу также аналогичные амфиболам из других зон. Иногда наружная оторочка орбикул сложена сплошь мелкими (до 0.5 мм) зернами амфиболов.

4 – основная масса породы близ границ с орбикулами сложена изометричными кристаллами плагиоклазов (An_{81.2–81.7}) и амфиболов размером 1–1.5 мм.

По содержанию кремнезема (45.8–46.2 мас.%) корсит относится к основным породам, по содержанию глинозема – к габбро-анортозитам. Содержание Al₂O₃ в центральных частях орбикул составляет 26.8–27.2%, в основной массе корсита – 22.1–24.5%. В целом составы орбикул и основной массы отвечают глиноземистым базальтам с магниальностью 67–70, при этом в основной массе наблюдаются несколько более высокие кон-

Таблица 2. Состав амфиболов из различных частей корсита (вес.%)

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	F	Cl	Сумма
Центральная часть орбикулы														
A1-1	44.21	1.46	13.01	0.01	12.07	0.12	15.02	11.17	1.39	0.28	н.о.	н.о.	0.04	98.78
A1-2	46.31	0.56	12.82	0.05	11.69	0.12	14.03	11.62	0.91	0.12	н.о.	0.06	0.03	98.88
Внутренняя часть орбикулы														
A2-1	44.18	1.51	13.63	0.02	11.32	0.14	13.36	10.81	1.66	0.45	0.02	0.05	0.03	97.18
A2-2	44.71	1.41	12.95	0.03	11.02	0.12	13.78	11.64	1.54	0.37	0.06	0.06	0.04	97.67
Внешняя часть орбикулы														
A3-1	44.97	0.34	13.69	н.о.	11.39	0.16	14.17	11.23	1.69	0.14	0.02	н.о.	0.04	97.84
A3-2	45.52	1.25	12.21	0.02	11.77	0.15	15.88	10.05	1.28	0.25	0.01	н.о.	0.05	98.44
Основная масса корсита														
A4-1	45.35	1.43	13.32	н.о.	11.65	0.12	14.72	10.22	1.51	0.36	0.02	н.о.	0.02	98.72
A4-2	44.49	1.95	12.85	н.о.	11.43	0.12	14.32	11.63	1.65	0.28	0.05	н.о.	0.04	98.81
A4-3	45.19	2.04	12.56	н.о.	10.86	0.12	15.25	10.95	1.38	0.35	0.03	н.о.	0.03	98.76
Прожилковые обособления														
A5-1	45.19	2.04	12.56	н.о.	10.86	0.12	15.25	10.95	1.38	0.35	0.03	н.о.	0.03	98.76
A5-2	45.75	0.42	13.12	н.о.	11.97	0.16	12.94	12.99	1.42	0.14	0.03	н.о.	0.04	98.28
ФОРМУЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ														
	Si	Ti	Al	Fe ³	Fe ²	Mn	Mg	Ca	Na	K	F	Cl	ОН	
A1-1	6.17	0.15	2.14	0.00	1.41	0.01	3.12	1.67	0.38	0.05	0.00	0.01	1.99	
A1-2	6.50	0.06	2.12	1.00	0.37	0.01	2.93	1.75	0.25	0.02	0.03	0.01	1.97	
A2-1	6.32	0.16	2.30	0.88	0.47	0.02	2.85	1.66	0.46	0.08	0.02	0.01	1.97	
A2-2	6.40	0.15	2.18	0.66	0.66	0.01	2.94	1.78	0.43	0.07	0.03	0.01	1.96	
A3-1	6.35	0.04	2.28	1.08	0.27	0.02	2.98	1.70	0.46	0.03	0.00	0.01	1.99	
A3-2	6.26	0.13	1.98	0.00	1.35	0.02	3.26	1.48	0.34	0.04	0.00	0.01	1.99	
A4-1	6.28	0.15	2.17	0.00	1.35	0.01	3.04	1.52	0.41	0.06	0.00	0.00	2.00	
A4-2	6.28	0.21	2.14	0.87	0.48	0.01	3.01	1.76	0.45	0.05	0.00	0.01	1.99	
A4-3	6.29	0.21	2.06	1.24	0.03	0.01	3.16	1.63	0.37	0.06	0.00	0.01	1.99	
A5-1	6.29	0.21	2.06	1.24	0.03	0.01	3.16	1.63	0.37	0.06	0.00	0.01	1.99	
A5-2	6.54	0.05	2.21	0.22	1.21	0.02	2.76	1.99	0.39	0.03	0.00	0.01	1.99	

Примечание. А – амфиболы из различных частей корсита, показанных на рис. 5; н.о. – элемент не обнаружен.

центрации железа, магния и титана и относительно более низкие содержания глинозема и кальция (табл. 3).

Химические анализы корсита были пересчитаны на нормативные составы по методу CIPW (Кокс и др., 1982). Для нормативных составов характерно высокое содержание плагиоклаза и оливина, ромбический пироксен практически отсутствует. Гиперстен не был обнаружен и при микроскопических исследованиях, хотя наличие этого минерала упоминается в описаниях корсита (Левинсон-Лессинг, Струве, 1937), а Ф. Хетч с соавторами (Хетч и др., 1975) отмечают замещение пироксена амфиболами в корсите.

Содержания крупноионных литофильных элементов (LILE) в основной массе и в орбикулах близки (табл. 4). При этом в орбикулах наблюдается незначительное увеличение концентраций Sr и Rb при снижении содержания Ba по сравнению с основной массой. По содержанию этих элементов изученные породы наиболее близки к составам островодужных базальтов (IB, рис. 7), но существенно обогащены относительно примитивной мантии и базальтов типа MORB.

Наиболее значительные различия между составом орбикул и основной массы наблюдаются в содержаниях и распределении редкоземельных элементов (REE), табл. 4. При гораздо большем суммарном содержании REE в основной массе по сравнению с центральными частями орбикул (до 25.4 и 14.7 г/т соответственно) наблюдается меньшая степень обогащения легкими REE относительно средних и тяжелых REE (Ce/Yb_n 3.1–3.5 в основной массе и 4.7–5.7 в орбикулах). В орбикулах проявляется европиевая аномалия (Eu* = 1.8–2.4 в орбикулах при 1.16–1.3 в основной массе). Все изученные пробы с низким содержанием Ti сильно обеднены Nb, но обогащены Pb (рис. 7Б). Содержание Cr, Ni, Co, V, а также Zr и Y несколько ниже, чем в базальтах IB и MORB, эти элементы-примеси концентрируются преимущественно в основной массе корсита (табл. 4, рис. 7Б).

Таким образом, составы основной массы породы и центральных частей орбикул по содержаниям и спектрам распределения редких и редкоземельных элементов имеют ряд отличий, но позволяют считать, что они происходят из единого расплава, соответствующего высокоглиноземистому базальту.

Основные результаты исследования вещественного состава корсита показывают, что с точки зрения петрохимии и геохимии порода не содержит каких-либо аномалий. Таким образом, причину образования орбикулярной текстуры следует искать в особенностях кристаллизации расплава, из которого возникли корситы. В этом случае указанием на быстрый рост порообразу-

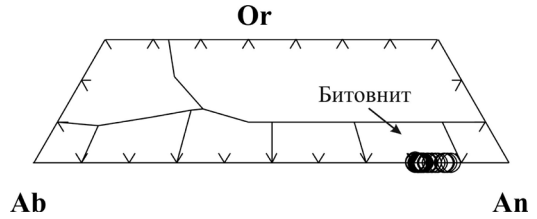


Рис. 6. Состав плагиоклазов корсита на диаграмме Ab – An – Or.

Таблица 3. Состав основной массы корсита и центральных частей орбикул, мас. %

	K-1M	K-1O	K-2M	K-2O
SiO ₂	45.84	46.50	46.15	46.83
TiO ₂	0.64	0.20	0.45	0.16
Al ₂ O ₃	24.06	27.18	24.51	26.83
Fe ₂ O ₃	0.97	0.62	0.91	0.71
FeO	5.54	3.53	5.18	4.09
MnO	0.09	0.05	0.09	0.06
MgO	7.63	5.21	7.75	5.47
CaO	13.1	14.38	12.94	13.84
Na ₂ O	1.69	1.79	1.58	1.51
K ₂ O	0.41	0.51	0.41	0.46
P ₂ O ₅	0.02	0.03	0.03	0.03
#Mg	67.9	69.4	69.7	67.3
Нормативный состав, рассчитанный по методу CIPW (Кокс и др., 1982)				
Or	2.44	3.03	2.44	2.74
Ab	13.50	12.79	13.37	12.75
An	56.76	64.55	58.49	64.99
Ne	0.44	1.26	0.00	0.00
Di wo	3.41	2.77	2.31	1.48
Di en	2.20	1.79	1.51	0.93
Di fs	0.98	0.79	0.64	0.46
Hу en	0.00	0.00	1.70	3.52
Hу fs	0.00	0.00	0.72	1.74
Ol fo	11.81	7.86	11.31	6.46
Ol fa	5.80	3.82	5.27	3.53
Mt	1.41	0.89	1.31	1.04
Ilm	1.21	0.38	0.86	0.31
Ap	0.04	0.07	0.07	0.07

Примечание. М – основная масса корсита, О – центральная часть орбикул, #Mg – магнeзиальность породы.

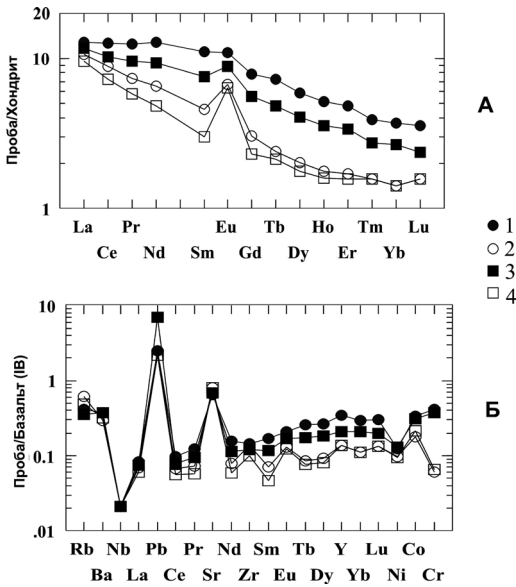


Рис. 7. Содержание редкоземельных (А) и редких элементов (Б) в корсите. ИВ – базальты океанических островов. Нормировано по (К.Г. Кокс и др., 1982). Обр. К1: 1 – основная масса, 2 – центральная часть орбикулы. Обр. К2: 3 – основная масса, 4 – центральная часть орбикулы.

Таблица 4. Содержание редких и редкоземельных элементов в корсите, г/т

Элемент	К-1М	К-1О	К-2М	К-2О
Cr	206	30	188	33
V	100	37	70	32
Co	17	9	16	11
Ni	43	34	46	33
Zn	39	26	42	29
Rb	13	19	11	15
Sr	428	522	449	532
Zr	40	38	34	28
Ba	129	103	131	111
Y	10	4	6	4
Pb	8	8	22	7
La	3.04	2.53	2.75	2.25
Ce	7.67	5.40	6.27	4.46
Pr	1.18	0.70	0.91	0.55
Nd	5.96	3.05	4.36	2.26
Sm	1.68	0.70	1.16	0.46
Eu	0.63	0.39	0.51	0.37
Gd	1.61	0.62	1.14	0.47
Tb	0.27	0.09	0.18	0.08
Dy	1.49	0.51	1.03	0.45
Ho	0.29	0.10	0.20	0.09
Er	0.80	0.28	0.56	0.26
Tm	0.10	0.04	0.07	0.04
Yb	0.63	0.24	0.45	0.24
Lu	0.09	0.04	0.06	0.04
Сумма РЗЭ (Ce/Yb) _n	25.44	14.69	19.65	12.02
	3.10	5.72	3.54	4.73

Примечание. М – основная масса, О – центральная часть орбикулы.

ющих минералов (плаггиоклаза и амфибола) является их постоянный состав как в основной массе, так и в различных частях орбикул. Об этом свидетельствуют отсутствие зональности и однородный состав кристаллов.

Обсуждение

Породы с шаровыми текстурами, аналогичными корситу, описаны многими авторами (Watson, 1904; Левинсон-Лессинг, 1935; Leveson, 1966; Perttunen, 1983; Elliston, 1984; Symes et al., 1987; Мусаев, Рафиков, 2007; Zhang, Lee, 2021; Barbey et al., 2021, и мн. др.). Характерно, что такие породы, как правило, связаны с небольшими гипабиссальными магматическими телами. Ниже приведены два примера таких образований.

В Булакбашином габброидном массиве, расположенном в Кураминской зоне Срединного Тянь-Шаня (Узбекистан), описаны корситы с орбикулами размером от 1 до 5–7 см (Мусаев, Рафиков, 2007). Количество их возрастает снизу вверх по разрезу интрузии, в отличие от интрузии Лорето ди Таллано на Корсике, где количество орбикул увеличивается сверху вниз. Главными породообразующими минералами здесь являются плаггиоклаз (битовнит) и пироксен, что отличает эти породы от собственно корсиканских. Ядерная часть орбикул (размер 3–3.5 см) по минеральному составу аналогична цементирующей габброидной массе. Еще одной особенностью тянь-шаньских орбикул является присутствие рудных магнетит-ильменит-халькопиритовых концентрических прослоев толщиной 1.5–2 мм, образование которых объясняется микроликвацией. Возрастные концентрации орбикул в верхних частях массива связывают с их подъемом летучими компонентами (Мусаев, Рафиков, 2007).

В районе Дешат (Сват-Кохистан, Пакистан) встречаются орбикулярные нориты в составе позднемезозойского Трансгималайского магматического пояса (Symes et al., 1987). Здесь имеется несколько небольших (0.5 км) обнажений с орбикулярными породами двух типов. Первый тип – нориты с отчетливо выраженными центральными частями орбикул размером до 5 см, которые окружены каймами темноцветных минералов (оливина, ортопироксена), основная масса породы имеет тот же состав, что и центральные части орбикул. Второй тип орбикул характеризуется большим размером, до 9 см, и наличием нескольких концентрически-зональных оболочек, образованных плаггиоклазом и амфиболом. Центральные части орбикул сложены среднезернистыми агрегатами амфибола и плаггиоклаза.

Эти примеры показывают, что для орбикулярных пород (в частности, основного состава) состав центральных частей орбикул и основной мас-

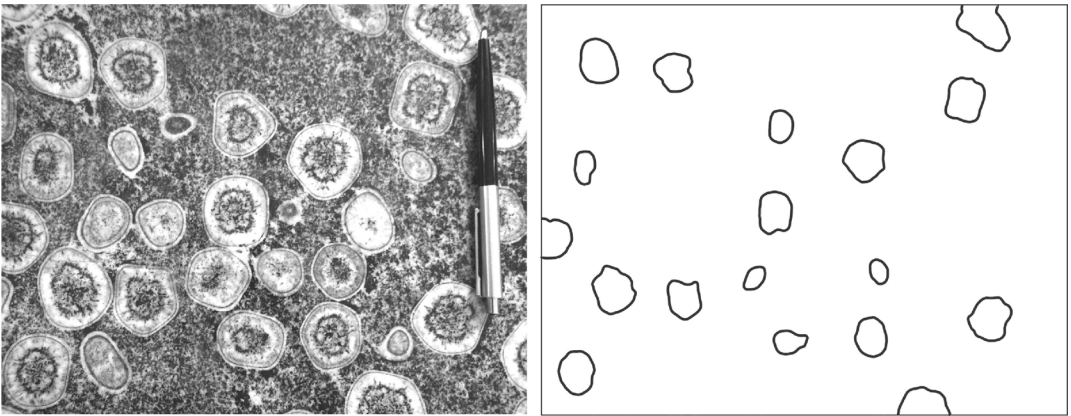


Рис. 8. Угловатая форма центральных частей орбикул. Размер образца 20 × 30 см.

сы породы вполне может быть индентичен.

Ф.Ю. Левинсон-Лессинг предполагал, что «шаровая структура является лишь краевой (или верхней) фазией интрузивных тел и получается за счет ксенолитов. Ксенолитами могут быть либо обломки посторонних пород, либо обломки ранней порции той же магмы, уже застывшей и разломанной напором новой порции этой магмы... В последнем случае количественный минералогический состав центральных ядер шара и промежуточной между шарами массы тождествен» (Левинсон-Лессинг, 1935). Возможна реализация этого механизма и в исследованном корсите. Косвенным подтверждением этого может служить анализ формы центральных частей орбикул, отличающихся большей угловатостью, чем окружающие их каймы (рис. 8). Угловатая форма центральной части орбикулы отчетливо видна и на одном из декоративных кубков, изготовленных из корсита (рис. 2). Все это не противоречит предположению об обломочном происхождении центральных частей орбикул*.

Микрондовое исследование корсита показывают постоянство составов минералов как в основной массе породы, так и в орбикулах. Нами не найдены зональные плагиоклазы, а также гиперстен и кварц, которые встречаются в корсите. На отсутствие пироксена косвенно указывают и рас-

четы химического состава основной массы корсита и центральных частей орбикул на нормативные минералы. Состав плагиоклаза (рис. 6) может свидетельствовать о быстром формировании породы. Сходство состава минералов центральных частей орбикул и основной массы породы свидетельствует об их общем источнике, но больший размер кристаллов центральных частей орбикул указывает на более спокойную обстановку их образования. Формирование же оторочек пластинчатых индивидов битовнита вокруг ядер-обломков возможно при быстрой кристаллизации из переохлажденной высокоглиноземистой базитовой магмы. Быстрой кристаллизацией можно объяснить и однородный состав породообразующих минералов.

Предлагаемая гипотеза формирования корсита не может быть единственной для всех орбикулярных пород. Автор одного из обзоров, посвященных этим образованиям (Leveson, 1966), в своем заключении пишет: «В ограниченных условиях орбикулы могут образовываться в магматических, метаморфических и мигматитовых породах. Орбикулярная структура не является характеристикой данных геологических условий: сходные орбикулы могут образовываться в различных породах; различные орбикулы могут образовываться в сходных породах. Орбикулярные породы встречаются редко при необычных условиях образования». Примером этого как раз могут служить корситы из интрузии Лорето ди Таллано.

Благодарности

Авторы искренне благодарны аналитикам С.Е. Борисовскому, Ю.Ю. Атамановой, Е.А. Минервиной.

** Редакция не разделяет предположения авторов о возможном обломочном происхождении центральных частей орбикул, считая приведенные доказательства недостаточно убедительными. Также авторы не учли такой фактор, как степень водонасыщенности расплава, которая в случае корситов обуславливает кристаллизацию преимущественно амфиболов, нежели пироксенов. Тем не менее мы считаем полезным публикацию данной статьи, поскольку она содержит оригинальные инструментальные данные о составе как основной массы породы, так и орбикул и может послужить для дальнейшей расшифровки условий происхождения шаровых пород в целом и корситов в частности (Прим. ред.).

Список литературы:

- Богатиков О.А., Докучаев А.Я., Суханов М.К. Рудно-петрографический музей ИГЕМ РАН и его коллекции // Вестник Российской Академии Наук. 2015. Т. 85. №12. С. 1134–1138.
- Бычкова А.Я., Синицын М.Ю., Петренко Д.Б., Николаева И.Ю., Бугучаев Н.А., Быков А.Ю. Методические особенности многоэлементного анализа горных пород методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Вестник Московского Университета, серия Геология. 2016. №6. С. 56–63.
- Гудин А.Н. Петрология палеопротерозойских (суйсарских) вариолитовых лав Онежской структуры, Центральной Карелия, Балтийский щит // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. М. 2011. 117 с.
- Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. М.: Издательство АН СССР, 1956. 479 с.
- Кокс К.Г., Белл Дж.Д., Панкхерст Р. Дж. Интерпретация изверженных горных пород. М.: Недра, 1982. 414 стр.
- Красивская И.С., Шарков Е.В., Бортников Н.С., Чистяков А.В., Трубкин Н.В., Голованова Т.И. Вариолитовые лавы в осевом рифте Срединно-Атлантического хребта и их происхождение (полигон Сьерра-Леоне, 6°18' С.Ш.) // Петрология. 2010. Т. 18. №2. С. 1–16.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Петрография. Л.-М.: ОНТИ, 1945. 495 с.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Избранные труды. Т. 4. М.: Изд-во АН СССР, 1935. 446 с.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Струве Э.А. Петрографический словарь. М.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. 416 с.
- Мусаев А.А., Рафииков Я.М. Корситы Гавасая Кураминской зоны (Срединный Тянь-Шань) // Геология и природные ресурсы. 2007. №6. С. 16–19.
- Уэдджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М.: Мир, 1970. 551 с.
- Цветков А.А., Суханов М.К. Высокоглиноземистые магмы – модели и реальность // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. №1. С. 3–23.
- Хетч Ф., Уэллс А., Уэллс М. Петрология магматических пород. М.: Мир, 1975. 511 с.
- Barbey P., Grandprat M. & Faure F. Cordierite-bearing orbicules record bulk assimilation and the pulsating nature of magma ascent: The Lafaye Orbicular Granite (France) // Journal of Petrology. 62 (7). P. 1–23. DOI: 10.1093/petrology/egab063.
- Collomb Ed. Constant communiqué l'extrait suivantdes letters // Bulletin de la Societe geologique de France. 1853. P. 63.
- Cotta B. Von. Rocks Classified and Described / Trans. P.H. Lawrence. London: Longmans, 1866. 455 p.
- Delesse A. Sur la diorite orbiculaire de Corse // Annales de Chimie et de Physique. 1848. 3-ème série. 24. P. 435–442.
- Elliston J.N. Orbicules: an indication of the crystallisation of hydrosilicates, I // Earth-Science Reviews. 1984. 20 (4). P. 265–344.
- Geological map of Italy. Scale 1:1250000 / Especially printed for the 32 International Geological Congress. Florence – Italy. 2004.
- Hawthorne F. C., Oberti R., Harlow G. E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. Nomenclature of the amphibole supergroup // American Mineralogist. 2012. V. 97. P. 2031–2048.
- Leveson D.J. Orbicular rocks: a review // Geological Society of America Bulletin. 1966. V. 77. №4. P. 409–426.
- Maisonneuve J. Étude géologique sur le Sud de la Corse // Bulletin du Service de la Carte géologique de la France. 1960. 57. P. 47–276.
- Pertunen V. Orbicular quartz diorite in Kemi, NW Finland // Bulletin of the Geological Society of Finland. 1983. 55 (1). P. 51–56.
- Piboule M., Soden L., Amosse J., Briand B. Le massif basique de Loreto di Tallano (Corse du Sud): mise en evidence du controle de la surfusion adiabatique dans la genese des facies orbiculaires // C.R. Acad.Sci. Paris. 1989. V. 309. Serie 11. P. 713–718.
- Pinkerton J. Petrology: A treatise on Rocks. V. 2. London: White, Cocyrane & Co, 1811. 654 p.
- Rossi P., Cocherie A. Genesis of a Variscan batholith: field, petrological and mineralogical evidence from the Corsica-Sardinia batholiths // Tectonophysics. 1991. V. 195. №2/4. P. 319–346.
- Symes R.F., Bevan J.C., Qasim Jan M. The nature and origin of orbicular rocks from near Deshai, Swat Kohistan, Pakistan // Mineralogical Magazine. 1987. V. 51. P. 635–847.
- Zhang J. & Lee C.T.A. Disequilibrium crystallization and rapid crystal growth: a case study of orbicular granitoids of magmatic origin // International Geology Review. 2021. 63 (7). P. 900–916.
- Zirkel F. Lehrbuch der Petrographie. V. 2. Bonn: Marcus, 1866. 635 p.
- Watson T. Orbicular gabbro-diorite from Davie County, North Carolina // The Journal of Geology. 1904. V. 12. №4. P. 294–303.