

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 523.681.8:548.8:549.691.1:552.164 (571.511)

ИМПАКТНЫЕ ТУФФИЗИТЫ ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

С.А. Вишневский, Й. Райтала*, Н.А. Гибшер, Т. Охман*, Н.А. Пальчик

Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

* University of Oulu, POB 3000, FI-90014, Oulu, Finland

Приведено описание импактных туффизитов Попигайской астроблемы, которые как данный класс пород впервые выделяются в земных астроблемах. Их дайки в гнейсах мишени сложены смесью стекла (10—90 об.%), обломков гнейса и криптозернистого базиса. Частицы стекла в основном пористые, „сварены“ с базисом и замещены смектитом. Среди „свежих“ стекол выделены три типа: I — гомогенные апогнейсовые; II — гетерогенные с тонкополосчатым чередованием гомогенных (тип I), фемических и салических разновидностей; III — салические, в том числе апокварцевые с коэситом. Стекла содержат „тени“ минералов исходной породы, а также высокотемпературные минералы: шпильеры лешательерита и глобулы магнетита, самородного Fe, циркона, рутила (*T* плавления—разложения соответственно, °C: >1700, >1590, >1530, ~1800 и >1850). Низкие суммы содержаний главных петрогенных оксидов предполагают, что стекла богаты летучими (тип стекла/мас.% флюида): I/4-12; II/5-24; III/12-25, в том числе III/2-7 для апокварцевых стекол. Лешательерит содержит газово-жидкие флюидные включения. В случае их водного состава материал туффизитов при внедрении в гнейсы сохранял высокое остаточное ударное давление ~0,8—3,3 ГПа. В целом гиалиновый компонент туффизитов представлял апогнейсовые флюидно-расплавные смеси, которые возникли на внешнем рубеже зоны ударного плавления ($P \sim 50$ —60 ГПа, ~14—15 км от центра взрыва) и внедрились в гнейсы из зоны слабого импактирования ($P < 8$ —10 ГПа, >25—30 км от центра взрыва). В импактных туффизитах найдены первые в Попигайской астроблеме следы расплавов: карбонатного и предполагаемого гидратированного силикатного, возникших при ударном плавлении различных пород мишени.

Попигайская астроблема, импактные туффизиты.

IMPACT TUFFISITES OF THE POPIGAI ASTROBLEME

S.A. Vishnevsky, J. Raitala, N.A. Gibsher, T. Öhman, and N.A. Pal'chik

Impact tuffisites of the Popigai astrobleme are described. This class of rocks has first been discovered in terrestrial astroblemes. Their dikes in the target gneisses are made up of a mixture of glass (10–90 vol.%), gneiss fragments, and cryptograin matrix. Most of the glass particles are porous; they are “welded” with the matrix and are replaced by smectite. The fresh glasses are of three types: I – homogeneous, derived from gneisses, II – heterogeneous, with a fine-banded alternation of homogeneous (type I), “femic”, and “salic” varieties; III – “salic”, including coesite-bearing glasses derived from quartz. The glasses contain “shadows” of target rock minerals as well as high-temperature minerals: lechatelierite schlieren and globules of magnetite, native Fe, zircon, and rutile (melting/decomposition points, °C, are >1700, >1590, >1530, ~1800, and >1850, respectively). The low totals of major oxides suggest that the glasses are rich in volatiles (glass type — wt.% fluid): I — 4–12, II — 5–24, III — 12–25 (2–7 for glasses derived from quartz). Lechatelierite contains gas + liquid inclusions. In the case of water fluid, the inclusions evidence that the material of tuffisites was injected into gneisses at residual shock pressures (~0.8–3.3 GPa). Generally, the hyaline component of the tuffisites was a kind of volatile + melt mixtures derived from the target gneisses and originated at the outer margin of shock melting zone ($P \sim 50$ –60 GPa, ~14–15 km from the center of explosion); the material intruded into gneisses from weak-shock metamorphism zone ($P < 8$ –10 GPa, >25–30 km from the center of explosion). Traces of carbonate and supposedly hydrous silicate melts have been first found in the Popigai impact tuffisites. These melts resulted from the shock melting of different target lithologies.

Popigai astrobleme, impact tuffisites

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время внимание исследователей вновь стали привлекать *туффизиты*, которые возникают в земной коре при внедрении горячих флюидно-расплавных смесей с большим избыточным давлением [1—4]. Они известны уже давно [5—8 и др.], однако долгое время оставались за рамками

повседневной научной и практической геологии [3]. В связи со специфичностью туффизитов, ряд авторов предлагают выделять их даже в самостоятельный класс или тип пород [1, 2, 9]. Как оказалось, эндогенные туффизиты распространены довольно широко и кроме академического интереса имеют важное экономическое значение, поскольку с ними бывают связаны различные полезные ископаемые [3]. Исследование Попигайской [10, 11], а также других (Герновской [12] и Белиловской [13]) астроблем показало, что высокотемпературные внедрения флюидно-расплавных смесей с избыточным давлением возникают не только в эндогенных условиях, но и при импактном кратерообразовании. Интересно отметить, что еще в 1938—1942 гг. такие внедрения, как продукты эндогенной флюидизации горных пород, были описаны в астроблеме Садбери (Канада) [6], в то время считавшейся изверженным габброидным комплексом.

Продукты внедрения флюидно-расплавных смесей в гнейсах мишени из Попигайской астроблемы (ПА) мы описываем как дайки импактных туффизитов (ИТ) и впервые выделяем данный класс пород в земных астроблемах. Их предварительная характеристика сделана нами ранее [10, 11], а ниже сообщаются первые результаты детального минералого-петрографического изучения этих пород, которые обещают получение новых данных о поведении флюида в импактных процессах. Это поведение изучено пока слабо, и выяснение флюидного режима импактитов является одной из фундаментальных проблем петрологии. Кроме того, сравнение импактных туффизитов с эндогенными аналогами может быть интересно для геологов, занимающихся вопросами магматизма и металлогении.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кроме методов оптической микроскопии, для изучения ИТ ПА применен микрозондовый анализ (микрозонд Camebax в ИМП СО РАН, г. Новосибирск, с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) Kevex-Ray для качественного анализа элементов от F до U, и микрозонд Jeol JCXA-733 в Университете Оулу, Финляндия, с ЭДС Link AN10/85C для анализа элементов от Na до U), электронно-микроскопический анализ (сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Jeol-JSM-6400 в Университете Оулу, Финляндия, с ЭДС INCA для анализа элементов от C до U) и рентгеноструктурный анализ (диффрактометр ДРОН-5 с фильтрованным на Fe CuK_α -излучением при напряжении 40 кВ и токе в 30 мА, ОИГТМ СО РАН, г. Новосибирск), дополняемый методами отжига и напипки для диагностики смектитов и хлоритов. Основой работы послужили 120 микрозондовых анализов и 180 анализов на СЭМ.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ИМПАКТНЫХ ТУФФИЗИТОВ

Попигайская астроблема диаметром 100 км и возрастом ~35,7 млн лет находится на севере Сибири. Ее мишень включает архейский кристаллический фундамент и осадочный чехол из различных отложений: от верхнепротерозойских до меловых с добавлением ряда комплексов изверженных пород. Астроблема хорошо сохранилась и является сложной структурой с центральным и кольцевым поднятиями. Последнее диаметром 50 км образовано архейскими гнейсами и разделяет внутреннюю воронку кратера, выработанную в породах фундамента, и внешнюю зону приповерхностного срыва, выработанную в основном в осадочном чехле. Аллогенное выполнение кратера состоит из отложений центрбежного донного потока, материал которых в процессе экскавации воронки распространялся в виде плотных турбулентных струй (клиппеновые брекчии, мегабрекчии, туфовидные брекчии и тагамиты), и отложений взрывного облака (зювитов), материал которых двигался в виде баллистических выбросов. В целом аллогенное выполнение кратера обладает радиально-концентрической зональностью, хорошо выраженной в плане и

разрезе. Более подробные сведения об астроблеме и ее породах см. в [14—17] и ссылках в них.

Дайки импактных туффизитов найдены в глыбах архейских гнейсов из краевого пояса мегабрекчий по западному борту астроблемы (бассейн р. Саха-Юрэгэ, точки наблюдения (т.н.) 601, 2379-2381). Мегабрекчии представляют хаотическую смесь обломков различных пород мишени размером 1—100 м. Глыбы с дайками туффизитов имеют величину до 3—7 м, сложены однородными

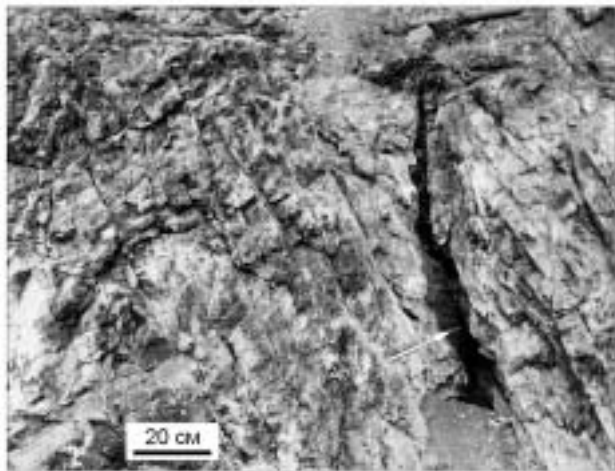


Рис. 1. Дайка импактных туффизитов (ИТ) (показана стрелкой) в глыбе раздробленных гнейсов из мегабрекчий Попигайской астроблемы (ПА).

Фрагмент обнажения 601.

или полосчатыми гнейсами и погружены в базис из несортированных псефитопсаммитовых продуктов дробления пород мишени с незначительной примесью частиц стекла, типичный для мегабрекчий астроблемы. Глыбы гнейсов сильно трещиноваты, катаклазированы и обычно превращены в агрегат угловатых, притертых друг к другу обломков, образованный хаотическим дроблением (текстуры мега-грис) или трещиноватостью нескольких систем. По зонам дислокаций часто развита милонитизация, и порода пересечена сетью тонких (от нескольких миллиметров до 1—2 см) различно ориентированных и ветвящихся прожилков темно-серого выветрелого милонита. Дайки импактных туффизитов мощностью от 1—1,5 до 10—12 см, также нередко ветвящиеся, с раздувами и пережимами, пронизывают породу в нескольких, подчас пересекающихся, направлениях, однако простирание их может совпадать с полосчатостью породы или с одной из систем ее трещиноватости (рис. 1).

МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОБЩАЯ ПЕТРОГРАФИЯ ИМПАКТНЫХ ТУФФИЗИТОВ

Визуально эти породы темно-серые, умеренно или сильно литифицированы и выглядят как туфовидный агломерат преимущественно псаммитовидных (<5 мм) обломков пород мишени и частиц стекла. Текстура их обычно флюидальная (рис. 2, А). В ряде случаев дайки туффизитов оторочены тонкой (<1 см) прерывистой каймой выветрелого темного милонита, возникшего до внедрения даек или сопровождавшего их образование. По наблюдениям в шлифах, туффизиты сложены мелкими (от 1—3 до 20 мм) частицами стекла и обломками гнейса размером 0,05—20 мм (кварц, полевой шпат, пироксен, биотит, рудный и др. минералы), погруженными в криптозернистый базис. Обычно стекло доминирует, занимая до 85—90 % объема породы (см. рис. 2, Б—Е), но на некоторых участках пропорция стекла и продуктов дробления пород мишени широко варьирует, и на долю стекла приходится от 30 до 50 % объема породы; встречаются участки, где стекло занимает <10—15 % (см. рис. 2, А).

В основном частицы стекла сварены между собой и с другими компонентами породы и представляют флюидальные шлиры, часто со струйно-вихревой формой (см. рис. 2, А, 3, Б). Наряду со шлирами встречаются округлые частицы, которые были как бы окатаны в пластическом состоянии. В богатых расплавленным материалом зонах породы шлиры и окатанные частицы стекол сильнопористые, вплоть до пемзовидных разностей. В бедных этим материалом разностях (<10—30 % объема породы) частицы стекла обычно умеренно-пористые или массивные. Изредка во всех туффизитах встречаются настоящие обломки массивных или слабопористых флюидальных стекол (см. рис. 2, Д). Основная масса пористых стекол сильно изменена и почти целиком замещена криптозернистым зеленовато-желто-бурым агрегатом вторичных минералов, но следы пористости в них сохраняются. Другие шлиры, в основном среди массивных и умеренно-, слабопористых стекол, а также обломки стекол во всех типах туффизитов являются относительно „свежими“. В целом наиболее изменены стекла из богатых расплавленным материалом разностей породы, в то время как для разностей, обогащенных обломками гнейсов, более характерны свежие стекла. В некоторых стеклах содержатся флюидальные полосы обломков минералов гнейса, а в породе встречаются тонкие струйные массы милонита (см. рис. 2 Б, В). Вмещающие гнейсы и их обломки в составе туффизитов не несут петрографических следов ударного метаморфизма, исключая редкие и слабо выраженные ленты смятия в биотите. Кроме обломков гнейса в породе иногда отмечены мелкие (<5—7 мм) окатанные частицы чуждых микродолеритов (см. рис. 2, Е), захваченные извне при внедрении материала даек.

ПЕТРОГРАФИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СВЕЖИХ СТЕКОЛ

Гиалиновая компонента туффизитов изучалась по свежим участкам, которые частично сохранились в шлирах и обломках стекол; реже изучались полностью свежие частицы. Судя по свежим участкам, большинство частиц относительно однородны и представляют тип I — гомогенные зеленовато-желто-бурые стекла (см. рис. 3, А). Они содержат войлок игольчатых кристаллитов длиной до 10 мкм и толщиной <0,5—1 мкм. Реже встречаются гетерогенные частицы в основном свежих флюидальных тонкополосчатых стекол с чередованием светло- и темноокрашенных разностей, они выделены как тип II (см. рис. 3, Б—Г). Светлые полосы в них бесцветные, бледноокрашенные или зеленовато-желто-бурые (последние также содержат мельчайшие игольчатые микролиты). Кроме того, порода изредка содержит шлиры и обломки бесцветных или бледноокрашенных свежих стекол, которые мы выделяем как тип III — салические стекла (рис. 4). Все свежие стекла породы, за исключением апокарцевых (см. ниже), перлитизированы.

По химическому составу (табл. 1) стекла I типа сравнительно однородны и обладают низкой дисперсией содержаний главных петрогенных оксидов, что позволяет рассматривать их как смешанные гомогенные разности. Их средний состав близок расплавленным импактитам (стеклам зювитов, донных брекчий и тагамитов) астроблемы [15, 17], возникшим за счет ударного плавления гнейсов мишени. Однако в сравнении с ними стекла I типа имеют более низкие суммы оксидов (от 88,19 до 96,97 мас.%). Игольчатые микролиты, судя по их форме, а также по обогащенности Fe и Mg по отношению к стеклу, по-видимому, являются пироксеном, но из-за малого размера их точный состав не определен.