

ТРАНСФОРМАЦИИ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ СО СТУПЕНЧАТЫМ УДАРНО-ВОЛНОВЫМ СЖАТИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД

Белятинская Ирина Валерьевна

Геологический факультет МГУ, Москва, belyatirina@yandex.ru

Изучение геологии, петрологии и механизмов формирования природных импактных структур (астроблем) и горных пород ударного метаморфизма вносит важный вклад в представления о строении и развитии литосферы Земли. Эксперименты по ударно-волновому нагружению горных пород позволяют не только в лабораторных условиях изучить процессы, происходящие при падении метеоритов, образовании импактных структур и специфических горных пород ударного метаморфизма – импактитов, но помогают развитию различных научных геологических направлений и являются важным аспектом исследований нашей планеты и других космических тел.

Были изучены ударно-метаморфические трансформации порообразующих минералов (амфибол, плагиоклаз). В данной работе проведено исследование ударно-метаморфических трансформаций порообразующих минералов (амфибол, плагиоклаз) полосчатого амфиболита (PR₁₋₂) с Южного Урала, возникающих при воздействии на него плоских ударных волн. Из темных полос этих пород, состоящих из амфибола (50%) и плагиоклаза (45%), были выполнены дисковидные образцы для подготовки экспериментальныхборок сохранения. Подробное описание постановки экспериментов по физическому моделированию импактных процессов содержатся в работах [1-3]. Максимальные ударные давления в экспериментах составляли 26, 36 и 52 ГПа и достигались в течение нескольких циркуляций волн в образце (ступенчатое ударно-волновое сжатие). Изучение минералов исходной породы и тех, что испытали ударно-волновое нагружение, проводилось с применением оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), микронзондового анализа и рентгенофазового анализа (РФА).

Исходный плагиоклаз по химическому составу является существенно натровым и отвечает границе олигоклаза–андезина (An₂₈₋₃₃). Именно в этом минерале ударно-метаморфические трансформации, как механические, так и химические выражены наиболее сильно. При 26 и 36 ГПа практически полностью аморфизован: при 26 ГПа сохраняется 12 об. %, а при 36 ГПа – только 6 об. % кристаллического плагиоклаза (рис. 1). Реликты кристаллического плагиоклаза сохраняют анизотропность под оптическим микроскопом. В СЭМ они отличаются от аморфизованного плагиоклаза темно-серым цветом и разбиты грубыми открытыми трещинами (рис. 1). В этих реликтах фиксируется уменьшение размера кристаллитов со 100 нм в исходном

образце до 25 нм при 26 ГПа и 15 нм при 36 ГПа. При 52 ГПа плагиоклаз аморфизован полностью. При 26 ГПа химический состав плагиоклаза не изменяется. При 36 ГПа наблюдается изменение химического состава аморфизованного плагиоклаза, из которого интенсивно выносятся Na^+ . В то же время в реликтах кристаллического плагиоклаза при 36 ГПа количество каких-либо элементов статистически значимо не уменьшается. При 52 ГПа из аморфизованного плагиоклаза помимо Na^+ начинает выноситься и Ca^{2+} . В. Кроме того, в аморфизованном плагиоклазе происходит снижение суммы катионов (с 1,0 формульных единиц (ф.е.) в исходном плагиоклазе до 0,77–0,86 ф.е. при 36 ГПа и 0,72 – 0,86 ф.е. при 52 ГПа) и изменение суммы $\text{Al}^{3+}+\text{Si}^{4+}$ (в исходном плагиоклазе сумма $\text{Al}^{3+}+\text{Si}^{4+}$ составляла $4,00\pm 0,01$, а в аморфизованном - $4,05\pm 0,01$ при 36 ГПа и $4,06\pm 0,02$ при 52 ГПа). Эти факты свидетельствуют о начале плавления минерала, т.к. очевидно начало разложения алюмосиликатных тетраэдров.

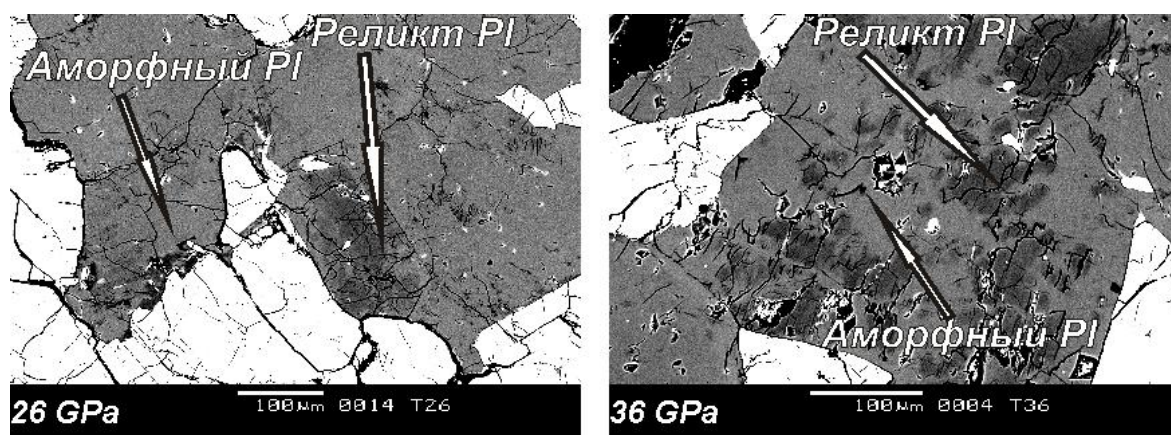


Рис. 1. Аморфизованный плагиоклаз (светло-серый) с реликтами кристаллического плагиоклаза (темно-серый) при 26 (слева) и 36 (справа) ГПа.

По химическому составу исходные амфиболы относятся к группе моноклинных кальциевых амфиболов и являются магнезиопаргасситами. Амфибол преобразован не так сильно, как плагиоклаз. При 26 и 36 ГПа амфибол становится сильно трещиноватым (пик трещиноватости амфибола фиксируется при 36 ГПа, когда все зерна амфибола покрыты обширной системой грубых открытых трещин), но аморфизации его при данном давлении не происходит (рис. 2). При 52 ГПа начинается аморфизация амфибола вдоль трещин. Они становятся похожи на тонкие прожилки, заполненные аморфизованным материалом. При движении к краям зерен трещины часто становятся более широкими и от кристаллического амфибола остаются только реликты (рис. 3). Степень аморфизации амфибола при 52 ГПа оценивается в 42 об. %. Изменения параметров кристаллической решетки и диспергирование кристаллитов амфибола зафиксировано только при 52 ГПа (ОКР уменьшается до 70 нм по сравнению с исходным 100 нм).

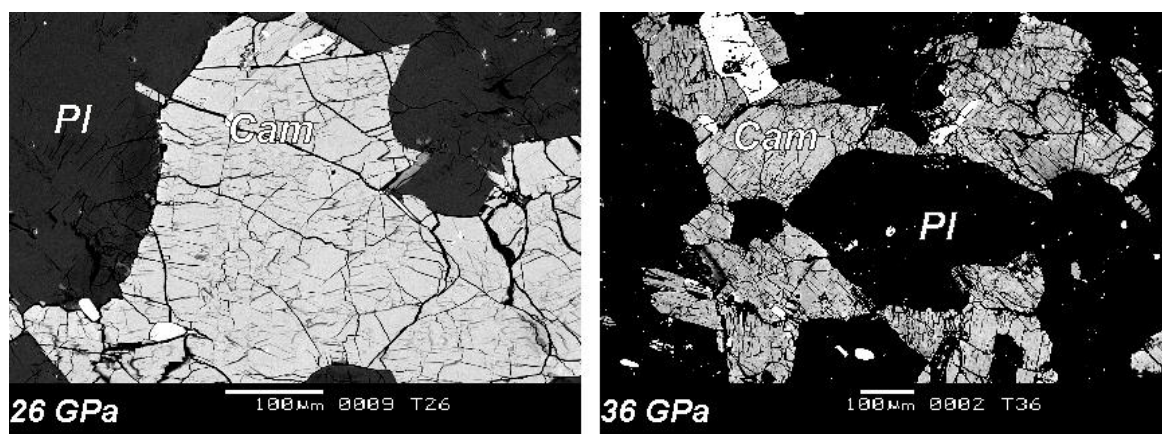


Рис. 2. Трещиноватый амфибол (светло-серый) при 26 (слева) и 36 (справа) ГПа.

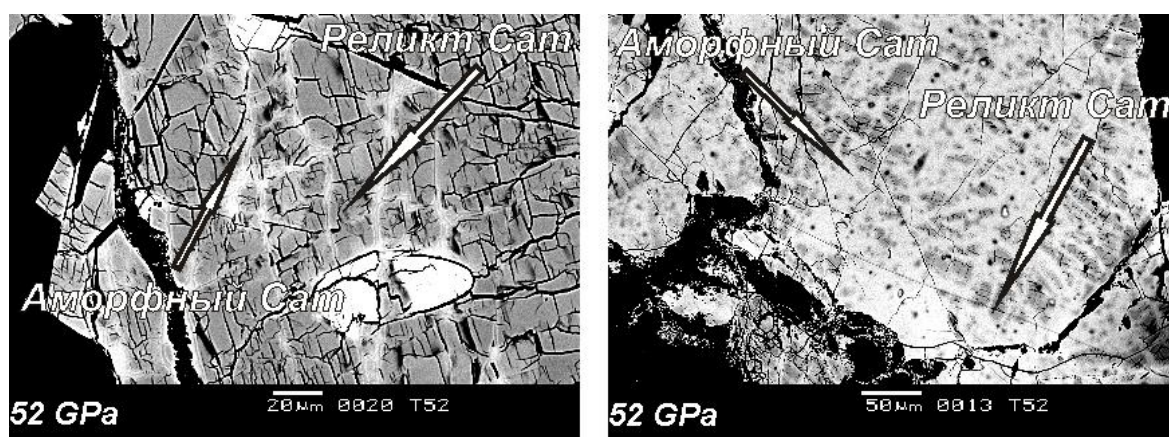


Рис. 3. Реликты трещиноватого амфибола (серый) среди прожилков и линз аморфизованного амфибола (светло-серый) при 52 ГПа.

Изменение химического состава амфибола наблюдается при 36 и 52 ГПа. При этих нагрузках фиксируется вынос Fe^{2+} и привнос Mg^{2+} , наиболее сильно выраженный в трещиноватом амфиболе при 36 ГПа. Кроме того, при исследованных нагрузках во всех амфиболовых фазах выявлен вынос Al^{3+} , интенсивность которого выше при 52 ГПа.

Описанная последовательность нарастания изменений в минералах при нагружении пород плоской ударной волной соответствует установленному ранее [4] ряду ударно-термического разложения: слоистые – ленточные – цепочечные силикаты и Al-силикаты – силикаты с одиночными тетраэдрами.

Ударно-метаморфические трансформации породообразующих минералов этого же амфиболита изучались в экспериментах со сферической сходящейся ударной волной [5]. Сопоставляя преобразования минералов, вызванных воздействием сферической и плоской ударных волн, фиксируются значимые

различия в характере их трансформаций. Так при ступенчатом ударно-волновом сжатии даже при 52 ГПа амфибол не испытывает ударно-термическое разложение с возникновением агрегата андезина, амфибола и рудного минерала (в сферических ударных волнах замещение амфибола агрегатом новообразованных минералов фиксируется уже при 40 ГПа). Вероятной причиной выявленных различий в диаплектовых преобразованиях минералов является то, что в цикле ступенчатого ударно-волнового сжатия реализуется более низкая ударная температура.

Результаты изучения характера преобразований породообразующих минералов в результате прохождения через породу плоской ударной волны сопоставлены с ранее полученными данными по нагружению амфиболов и плагиоклазов в составе других горных пород в аналогичных экспериментальных условиях. Ранее изучавшиеся породы содержали: первая – 30 объемн. % амфибола и 50 объемн. % плагиоклаза и вторая – 60 объемн. % амфибола и 30 объемн. % плагиоклаза. Изученная нами порода занимает промежуточное по соотношению амфибола и плагиоклаза положение между ранее изученными (рис. 4).

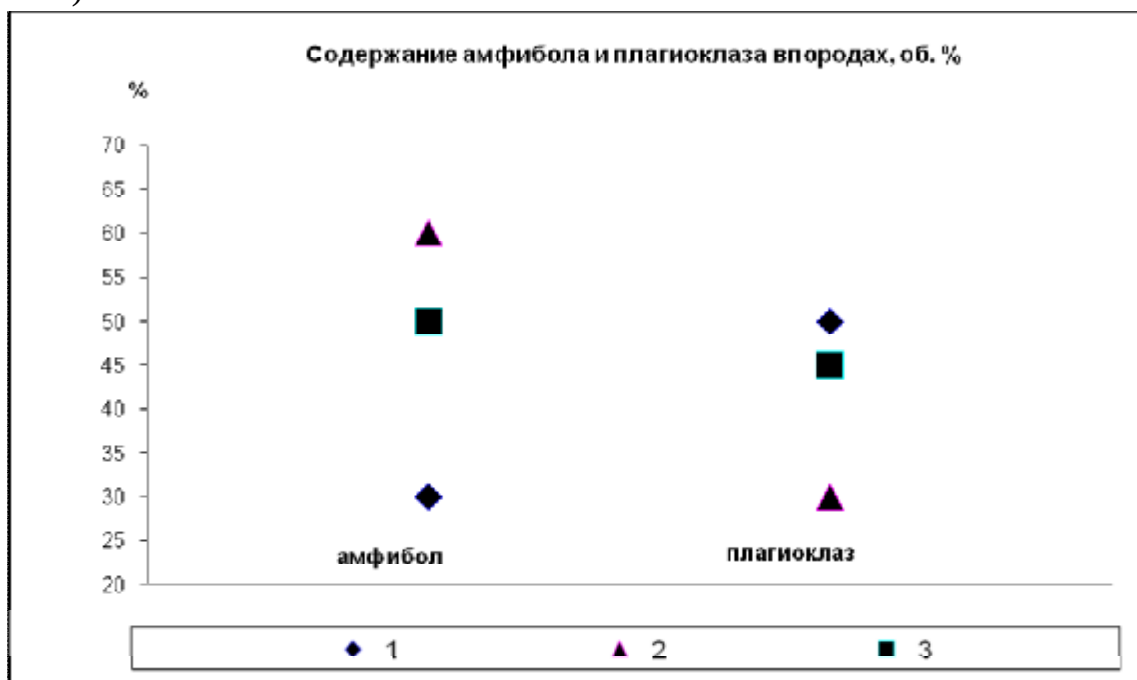


Рис. 4. Процентное соотношение плагиоклаза и амфибола в исследуемых породах.

При сравнении характера и интенсивности преобразований изучаемых породообразующих минералов в первой и второй породе были обнаружены следующие зависимости: 1) в амфиболе раньше падает ОКР и раньше проявляется аморфизация, если минерала много, как в первой породе, и наоборот, падение ОКР задерживается, а аморфизация не проявляется вовсе, если его мало, как во второй породе; 2) в плагиоклазе падение ОКР задерживается, а аморфизация идет быстрее, если минерала много, как во второй

породе, и падение ОКР идет быстрее, а аморфизация – медленнее, если его мало, как в первой породе.

Литература:

1. Фельдман В. И., Сазонова Л. В., Милявский В. В., Бородин Т. И., Соколов С. Н., Жук А. З. Ударный метаморфизм некоторых породообразующих минералов // Физика Земли. 2006. № 6. С. 32 - 36.
2. Сазонова Л.В., Милявский В.В., Бородин Т.И., Соколов С.Н., Жук А.З. Ударный метаморфизм плагиоклаза и амфибола (экспериментальные данные) // Физика Земли. 2007. № 8. С. 90-96.
3. Милявский В.В., Сазонова Л.В., Белятинская И.В., Бородин Т.И., Жерноклетов Д.М., Соколов С.Н., Жук А.З. Ударный метаморфизм плагиоклаза и амфибола при ступенчатом ударно-волновом сжатии полиминеральных горных пород // ФТВД. 2007. Том. 17. № 1. С. 126–136.
4. Козлов Е.А., Сазонова Л.В., Фельдман В.И., Дубровинская Н.А., Дубровинский Л.С. Некоторые факторы, контролирующие преобразования минералов в горных породах при ударно-волновом нагружении. Фазовые превращения при высоких давлениях. Тезисы. Черноголовка. 2002. С. У13.
5. Feldman V. I., Kozlov E. A., Zhugin Yu. N. Shock metamorphism of amphibolite minerals. Experimental data. Impact markers in the stratigraphic record. (2001) Abstract Book, 6-th ESF – Impact Workshop, Granada (Spain), 29–30.

ИЗОТОПНОЕ ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНОВ ИЗ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ MINDARIE И WIM150 ЮЖНОЙ АВСТРАЛИИ

Будаева Анастасия Леонидовна

Кафедра геохимии, геологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, bal89@rambler.ru

Циркон – акцессорный минерал, который содержит много урана, а свинец не входит в его структуру в процессе образования и роста минерала, поэтому обычно весь имеющийся в цирконе свинец – радиогенный, т.е. накопленный за счёт радиоактивного распада U и Th. Эта особенность циркона делает его уникальным для изотопного датирования U-Pb методом. Циркон встречается почти во всех типах магматических горных пород, а также является химически очень устойчивым, и при выветривании вмещающих его пород может концентрироваться в россыпях. Россыпные месторождения циркона на протяжении многих лет разрабатываются в разных регионах мира, в том числе в Южной Австралии. Происхождение этих россыпей является фундаментальной проблемой в геологии, решение которой имеет практическое значение при