

Из диаграммы распределения РЗЭ (рис. 2.) видно повышенное содержание тяжелых элементов (на порядок) и небольшой европиевый минимум. Что касается минимума, то он связан с фракционированием плагиоклаза, а вот повышенное содержание тяжелых элементов указывает на обогащенный источник. Это подтверждает и спайдерграмма (рис 3.). Для гранитоидов Чекинского массива концентрации микроэлементов с большими ионными радиусами и легких лантаноидов примерно соответствует их содержаниям в верхней коре. Содержание высокозарядных и тяжелых редкоземельных элементов существенно превышает их концентрации в верхней коре. Для базальтов отличительной особенностью является близкое к нижней коре содержание элементов с высокими ионными радиусами, а в остальном графики примерно совпадают. На диаграмме четко выделяется стронциевый минимум, он связан с небольшим содержанием плагиоклаза, так как в породах Чекинского массива много калинатриевого полевого шпата. В целом конфигурация графиков гранитоидов чекинского комплекса повторяет график верхней коры, но при этом располагается почти на порядок выше. Это все свидетельствует о том, что щелочные гранитоидные расплавы имели существенно обогащенный коровый источник, который претерпел предварительную флюидальную подготовку со значительным привнесом калия и высокозарядных элементов. На классификационной диаграмме по Дж. Пирсу точки составов гранитоидов Чекинского массива практически полностью ложатся в поле гранитов активных континентальных окраин. На диаграммах соотношений Nb-Zr; Y-Zr прослеживается единый четкий тренд, что свидетельствует о едином источнике вещества для всей серии горных пород.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: (1) Массив Чека сложен щелочными гранитоидами двух фаз внедрения: первая – щелочные граниты и граносиениты и вторая – щелочные сиениты. Дайки первого этапа имеют обе фазы внедрения, они представлены риолитами и кварцевыми сиенитами. Дайки второго этапа представлены высокотитанистыми базальтами (до трахибазальтов). Преобладает первая интрузивная фаза. (2) Отличительной чертой первой интрузивной фазы является достаточно четкое разделение эгириновых, рибекитовых и эгирин-рибекитовых разновидностей, в щелочных сиенитах второй фазы такое разделение провести трудно. (3) Массив имеет клинообразную форму, наклоненную на запад и вероятно, с глубиной выклинивается. (4) Для гранитоидов Чекинского массива характерен единый сильно обогащенный коровый источник.

АНДЕЗИТОБАЗАЛЬТЫ ЦЕОЛИТОВОЙ ФАЦИИ НИЗКОГРАДНОГО МЕТАМОРФИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ЭФФУЗИВОВ БОЛГАРИИ)

Шанина В.В.
МГУ, Москва, viosha@mail.ru

Огромные площади на всех континентах мира занимают базальты, они составляют более 75 % от всех вулканических образований. Более 1 миллиона лет (в большинстве случаев), данные породы не подвергаются вторичным преобразованиям (за исключением гипергенных и локальных гидротермальных процессов), но затем, в зависимости от тектонической динамики развития той или иной территории, эффузивные толщи погружаются вглубь земной коры, где подвергаются воздействием температуры, давления и воды. Выделяется несколько этапов преобразования, первым из которых является низкоградный метаморфизм. Он наиболее широко распространен в земных недрах, охватывая значительные территории Камчатки, Кавказа, Крыма, практически все базальты Сибирской платформы. Определены температуры и давление при которых происходят преобразования первичных минералов во вторичные, определены типы и название этих минералов.

Но в то же время, еще очень много нерешенных вопросов: где и как происходят первые преобразования и в каком порядке, на каком расстоянии от зон активного движения термальных вод наблюдаются изменения в минералогии базальтов и какие зоны при этом образуются, какие минералы первыми начинают реагировать на внешние воздействия, какие формы и структуры образуют вторичные минералы, насколько активно все эти процессы влияют на изменение физико-механических свойств исходных пород.

В большинстве случаев массивы эффузивных пород, доступные для изучения, или еще не подверглись изменениям или наоборот уже полностью изменены. В данной же работе представилась уникальная возможность изучения первых преобразований, происходящих в массиве андезитобазальтов под влиянием низкоградного метаморфизма, когда в породе только начинают образовываться первые вторичные минералы - селадонит, цеолиты, кремнистые минералы.

На Юго-востоке Болгарии находится карьер Груево, в котором разрабатывают андезитобазальты для выработки щебенки. Карьер заложен в слоистой пачке вулканитов состоящей из 7-9 потоков, нижний из которых и разрабатывается на щебенку. Вскрывается не вся мощность пачки, а всего 60 метров. Потоки смяты в пологие складки (углы наклона от 5 до 15 градусов). Контакт с подстилающими породами не виден. Выработано 3 мощных уступа длиной по 300 метров и высотой метров 10-12. Образцы для работы отобраны в самом

нижнем уступе, чтобы исключить влияние процессов выветривания на изменение физико-механических свойств. Породы имеют палеогеновый возраст, и их только-только коснулись первые преобразования низкоградного метаморфизма, выразившиеся в широком и интенсивном развитии по трещинам вторичных минералов отвечающих этому этапу.

Макроскопически в исследованных образцах четко выделяются три зоны (наименее измененные андезитобазальты – зона «А», наиболее измененные – зона «Б» и зона «В», сложенная вторичными минералами (селадонит, халцедон и цеолиты (клиноптилолит, морденит)), а в некоторых случаях даже удалось выделить подзоны («Б1» и «Б2», «В1» и «В»). Как эталон исходных андезитобазальтов из образца, отобранного наиболее далеко от трещин, по которым и происходят основные преобразования, была выделена зона «0», которая имеет черный цвет и внешне ничем не отличается от зоны «А». В целом и микроскопически все андезитобазальты (зоны «О», «А» и «Б») одинаковы: структура породы порфировая, вкрапленники представлены основным плагиоклазом (который преобладает), ромбическим (гиперстен) и клинопироксеном (авгит). Пироксены микротрещиноваты. Наблюдаются 2 поколения плагиоклазов (одни росли быстро и захватывали стекло из расплава, а вторые – «чистые» (росли спокойно). Так же наблюдаются два поколения и титаномагнетита (более мелкие и более крупные кристаллы). В породе встречаются гломеропорфировые вкрапленники с габбровой структурой. Основная масса сложена вулканическим стеклом (содержание 40-60%), плагиоклазами, пироксенами и титаномагнетитом. Вулканическое стекло неоднородно, встречаются более светлые и более темные разности. Структура основной массы гиалопилитовая, с участками интерсертальной. Текстура массивная.

Таблица 1. Физико-механические свойства андезитобазальтов и продуктов их низкоградного метаморфизма

Зона	Плот г/см ³	Плот тв.ч. г/см ³	n, %	no, %	W _г , %	W, %	V _p , км/с	V _{pw} , км/с	V _{pw} -V _p , км/с	R _c , МПа	R _{cw} , МПа	Магн восп, х*10 ⁻³ СИ
О	2,66	2,73	2,7		0,1		5,90			247	266	39
А	2,66	2,74	3,2	0,9	0,1	0,4	5,15	5,65	0,50	152	173	38
Б ₁	2,47	2,70	10,8	6,3	1,4	2,6	4,00	4,40	0,40	83	65	41
Б ₂	2,44	2,73	11,4	7,5	0,9	3,1	3,95	4,25	0,30	70	59	40
В ₁	2,36	2,50	6,0	1,5	0,4	0,6	3,75	4,60	0,85	160		0
В	2,01	2,24	11,0	3,6	0,7	1,8	3,65	4,00	0,35	41	81	0

Проведенное изучение физических и физико-механических свойств выявило значительные изменения многих показателей по зонам (Таблица 1), которые очень хорошо отражаются на построенных в программе «Статистика» графиках (рис. 1,2). Более детальное микроскопическое изучение позволило выяснить с чем это связано: первым подвергается вторичным преобразованиям вулканическое стекло (более темная, возможно более основная, разность) и уже в зоне «А» встречаются участки, замещенные селадонитом. В результате существенно снижается прочность породы и скорость прохождения упругих волн, но при этом не изменяется плотность и внешне порода выглядит неподдавшейся преобразованиям. Зона «Б» - наиболее измененные андезитобазальты: продолжается дальнейшее преобразование стекла, а также замещение селадонитом ромбопироксенов и выщелачивание, в результате чего эта зона обладает наибольшими показателями пористости, происходит дальнейшее снижение других показателей (плотности, скоростей прохождения продольных волн, прочности). Зона «В», сложенная вторичными минералами, подразделяется на две подзоны, из которых «В1» отличается большими значениями плотности, прочности, скоростями упругих волн, но пористость, гигроскопическая влажность и водонасыщенность ниже, чем во второй подзоне, это связано с их минеральным составом, в первом случае: селадонит и халцедоны, а также окварцевание, что отражается в высоких показателях прочности на одноосное сжатие, а значительную часть подзоны «В» представляют цеолиты, что сразу же сказывается на всех свойствах.

Таблица 2. Химический состав вулканического стекла из зоны «Б1»

	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	O
Исходн. в. стекло	4,97		13,55	27,44	0,65	5,32	0,61	47,47
Изменен. в. стекло	1,75	2,21	9,52	30,01	4,36	2,14	2,77	47,25

Таблица 3. Химический состав ромбопироксенов из зоны «Б1»

Минерал	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	O
Измен. Ромбо-Рх	7,27	2,58	25,06		13,12		8,62	43,34
Неизм. ромбо-Рх	9,27	2,55	25,81	0,26	10,36	0,22	7,33	44,21

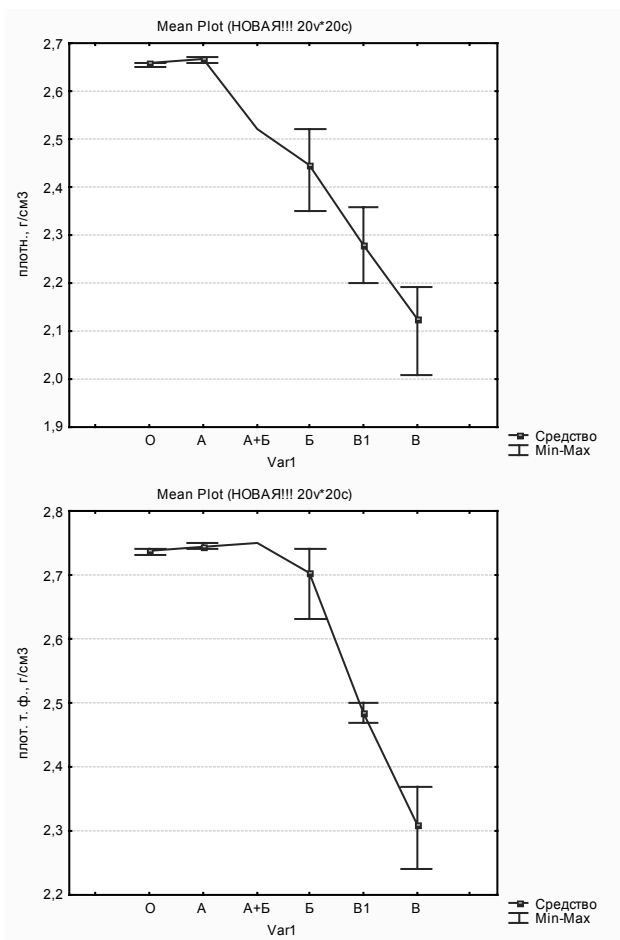


Рис. 1. Изменение значений плотности пород и твердой фазы по зонам.

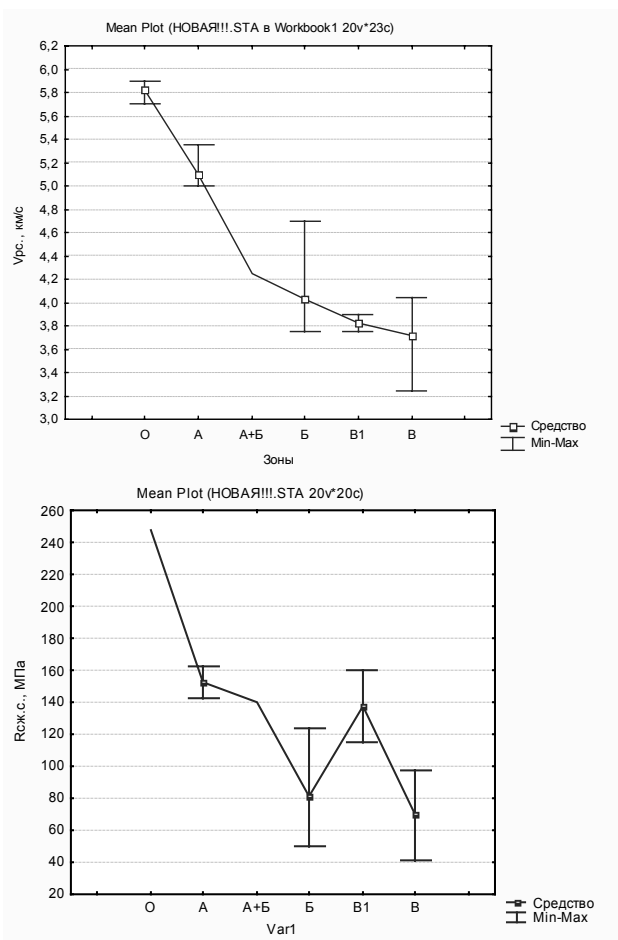


Рис. 2. Изменение скоростей прохождения упругой продольной волны и прочности пород на одноосное сжатие по зонам.

Изменения химического состава, происходящие при низкоградном метаморфизме, изучались на растровом электронном микроскопе LEO 1450, с помощью микрозонда INCA, также с помощью него были сделаны фотографии, на которых видно, что в зоне «Б» участки стекла, как неизменного монокристаллического, так и с нарушенной структурой, с большим количеством трещин и пустот, замещенного селадонитом, изменяется его состав: снижение содержания натрия, алюминия и кальция, при увеличении железа, магния и калия (Таблица 2). Вынос калия и магния происходит из изменяющихся ромбопироксенов (Таблица 3). Проведенные комплексные исследования показали, что преобразования состава и строения исходных андезитобазальтов под воздействием низкоградного метаморфизма носят зональный характер и приводят к определенным и закономерным изменениям их физико-механических свойств:

1. Первые преобразования состава исходных андезитобазальтов, выражающиеся в замещении вулканического стекла селадонитом, вызывают существенные изменения свойств, снижая скорость прохождения упругих волн и прочность, при этом макроскопически порода выглядит неизменной.

2. Дальнейшие преобразования приводят к значительному изменению первичных минералов и свойств породы. Вулканическое стекло полностью раскристаллизовывается, ромбические пироксены замещаются селадонитом. При этом еще больше снижаются скорости прохождения волн и прочность породы, идет уменьшение значений плотности грунта в целом и твердой фазы. Существенно увеличивается пористость (наибольшие значения из всех зон). Изменения заметны на макроуровне (изменился цвет породы).

3. Вторичные изменения происходят не только на границе с трещинами, но и захватывают прилегающие области мощностью до 5-10 см.

4. В открытых трещинах и образовавшихся пустотах откладывается селадонит, халцедон, растут кристаллы цеолитов (кинопитилолит, морденит). Происходит дальнейшее снижение плотности, скорости продольных волн, прочности.

Автор выражает благодарность научному руководителю Ладыгину Владимиру Михайловичу за помощь в рассмотрении темы; Спиридонову Эрнесту Максавичу за предоставленные образцы; Соколову

Вячеславу Николаевичу и Чернову Михаилу Сергеевичу за помощь в изучении морфологии и состава этих пород.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И СТРОЕНИЕ БАЗИТ-ГИПЕРБАЗИТОВОГО КЯБСКОГО МАССИВА (БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС)

Юрченко Ю.Ю.

ФГУП ВНИГНИИ им. Карпинского, Санкт-Петербург, yuri_yurchenko@vsegei.ru

Геологическая позиция. Кябский массив расположен в пределах Беломорского подвижного пояса (БПП), вытянутого с северо-запада на юго-восток более чем на 1500 км. В ранней литературе (*Геология...*, 1960) БПП выделяют как зону развития беломорид, или Беломорский район (блок, мегаблок). По последним данным, БПП представляет собой метаморфический пояс, сложенный серией тектонических покровов, образованных в разных геодинамических обстановках.

Широкое распространение в пределах БПП имеют массивы базит-гипербазитов, приуроченные к замкам разнообразных син- и антиформ, которые в свою очередь приурочены к тектоническим покровам. Становление массивов связано с процессом развития складок, когда их замок является ослабленной зоной. Также нередко наблюдается и возможна трассировка разломов телами базит-гипербазитов. Внедрение тел происходит только после формирования окончательного облика складки, но возможны ситуации, когда складки той же генерации «изгибают», «сносят» тела ранее внедренных базит-гипербазитов (складки-течения). В последнем случае имеет место быть реидная деформация, придающая базит-гипербазитовым телам вид тектонических клиппов.

Для выделения тектонических покровов в раннедокембрийских глубокометаморфизованных и сложно-дислоцированных комплексах необходимо непосредственное выявление и изучение покровного структурного парагенезиса, включающего региональные сместители, ограничивающие покровы, крупные (иногда гигантские) лежащие складки, а также сопутствующие покровообразованию сланцеватые и линейные текстуры, складки послонного сдвигового течения, будинаж и другие структурные формы.

Базит-гипербазиты Кябского массива расположены в зоне регионального несогласия трех покровов – Хетоламбинского, Чупинского и Ковдозерского (*Ранний...*, 2005), которые «падают» в сторону Кандалакшского залива. Ковдозерский покров представлен котозерским подкомплексом и надвинут на Чупинский покров, который в свою очередь лежит на Хетоламбинском (рис. 1). Сам массив приурочен ядру синформы, образуемой указанными покровами.

Толщи котозерского подкомплекса, представленные саамско-среднелопийскими мигматит-плагиогранитами и амфиболитами. Ниже по разрезу выделяются среднелопийские сложнодислоцированные гнейсы, гранито-гнейсы и гнейсо-граниты лоухской толщи. Стратификация толщи основана на особенностях состава слагающих ее пород. Средний лопий заканчивается этапом магматизма, продуктом которого является друзитовый боярский комплекс перидотитов, анортозитов и троктолитов. Следующий этап магматизма имел место в раннем протерозое и выразился образованием полярногорского комплекса гранитов и аплитов. Завершающим этапом является процесс пегматитообразования, производные которого объединены в чупинский комплекс. Породы Кябского массива (относимые к серии базит-гипербазитовых малых интрузий куземского комплекса) разные исследователи датируют как позднеархейским, так и раннепротерозойским возрастом.

Строение. Как уже выше указывалось, Кябский массив приуроченный к ядру синформной структуры, лежит в Чупинском покрове, сложенном породами лоухской толщи. Массив представляет собой геологическое тело площадью порядка 1,8 км² неправильной «подковообразной» формы. С северо-восточного фланга массив ограничен региональным сдвигом. Севернее сдвига наблюдаются тела такого же, как Кябский массив, состава и строения, но меньших (на порядок) размеров (рис. 1)

Предположительно массив имеет структуру тектонического клиппа. На западном фланге наблюдаются зоны активного развития динамокластитов (по классификации *Кутейникова Е.С. и др. (1994)* – в различной степени будинированных и катаклазированных пород). Наличие катаклазитов может говорить о процессе дилатансии пород, который происходит при нагрузке, достигающей предела упругих деформаций. Совокупность геологических данных указывает на начальную стадию формирования мегамеланжа.

Ядерная часть массива сложена гарцбургитами, а периферическая – чередованием гарцбургитовой составляющей с оливиновыми ортопироксенитами, что может быть признаком расслоенности.

Автором составлена схема геолого-ландшафтного дешифрирования композиционного космофотоснимка (рис. 2-А, Б), из которой следует, что условно массив можно разделить на три зоны: «А», «В», «С». Выделение зон основывалось на особенностях геоморфологии и внутреннего строения массива. При сопоставлении уже имеющейся геологической основы и снимка появилась возможность выявить