ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МЕЛАНОКРАТОВОГО БАЗАЛЬТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА

Перевозчиков Б.В., Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А., Казымов К.П.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15), e-mail: mineral@psu.ru

В последние годы базальтовое волокно, обладающее уникальными свойствами, находит очень широкое применение в разнообразных, в том числе в наукоемких, отраслях промышленности. В то же время сырье для производства базальтового волокна в нашей стране к полезным ископаемым не относится. Для получения базальтового волокна на практике используется строительный щебень магматических пород основного состава. Оценка пригодности базитового сырья для производства базальтового волокна на практике опирается на модуль кислотности, определяемый по химсоставу базитовых пород. Для улучшения технологических свойств сырья в шихту добавляют карбонатные породы, проводят опытные плавки, что удорожает процесс получения базальтового волокна. В статье приводятся результаты комплексного прецизионного изучения меланократового базальта Южного Урала с целью оценки его пригодности для производства высококачественного базальтового волокна. Проведенные исследования включали методы оптической микроскопии, рентгеноструктурного, микрозондового, рентгенофлюоресцентного и термического анализов.

Ключевые слова: меланократовый базальт, геодинамическая обстановка, метаморфизм, минеральный и химический состав, температурные эффекты плавления базальта, технология производства.

EVALUATION OF SUITABILITY OF MELANOCRATIC BASALT FOR PRODUCTION OF MINERAL FIBRE

Perevozchikov B.V., Osovetsky B.M., Menshikova E.A., Kazymov K.P.

Perm State University, Perm, Russia (614990, Perm, Bukireva street, 15), e-mail: mineral@psu.ru

Last years basalt fibre with unique properties apply in different branches of industry. But raw material for its producing doesn't belong to mineral resourses and it is investigated badly. Usually building material is used for such purpose that belongs to magmatic rocks of basic composition. The main indicator of their suitability for mineral fibre producing is the acid modul that is a special parameter calculated on the base of rock chemical composition. For improving of technological properties of initial material carbonate rocks are added to them. Suitability of raw material for producing of basalt fibre may be determined on the base of experimental melting. It restrains the process especially, when they use raw material of changeable mineral and chemical composition. Melanocratic basalt is investigated by precision methods with the purpose of its appreciation as the material for mineral fibre producing. The optical microscopy, X-ray, microprobe, termical and other analyses are included in investigation programme.

Key words: melanocratic basalt, geodynamic position, metamorphism, mineral and chemical composition, thermic of effects basalt melting, production technology.

Введение. В последние годы изделия из базальтового сырья (минеральное волокно, каменное литье) получили широкое применение в промышленности, строительстве, энергетике и других сферах народного хозяйства. Постоянно совершенствуется технология производства базальтовых изделий. В то же время от потребностей производства отстают горнорудная база и геологическая служба по обеспечению предприятий базальтовым сырьем высокого качества. Основной причиной такого состояния является непризнание сырья для производства базальтового волокна полезным ископаемым. Как следствие этого отсутствуют кондиции и требования к сырью для производства различных базальтовых изделий. Использование для производства базальтового волокна строительного щебня изменчивого

минерального и химического состава отрицательно сказывается как на технологии производства базальтового волокна, так и на его качестве.

Недостаточно разработаны технологические требования к качеству сырья. В производстве базальтового волокна в качестве основного показателя пригодности сырья используется только модуль кислотности (M_{κ} =SiO₂+Al₂O₃/CaO+MgO). Для производства минеральной ваты ГОСТ разрешает использовать сырье с M_{κ} > 1,2. Для производства ваты высшего качества M_{κ} должен превышать 1,6. Вместе с тем известно, что на производство волокна влияют химический и минеральный состав базитового сырья, в частности наличие тугоплавких минералов, степень метаморфизма и др. Сырье, применяемое для производства минерального волокна, должно быть легкоплавким, характеризоваться быстрым переходом в расплав без остатка первичной кристаллической фазы [1].

Цель исследования. Основной целью данной статьи является привлечение внимания к проблемам комплексного геологического изучения сырья, решение которых позволит стабильно получать базальтовую продукцию высокого качества. Одним из направлений изучения сырья является применение комплекса современных методов исследования, позволяющих объяснить связь качества продукции с составом минерального сырья.

Объект и методы исследования. Островодужные вулканиты кулуевской толщи Южного Урала (D₁₋₂kv) в настоящее время разрабатываются ООО «Невадорстрой» для производства строительного щебня, а также используются в качестве сырья для производства базальтового волокна. Доминирующими в составе кулуевской толщи являются базальты толеитовой серии [9], которые связаны постепенными переходами с андезитами и меланократовыми разностями базальтов, что не гарантирует устойчивого химического и минерального состава сырья. В статье рассматриваются результаты исследования меланократового базальта кулуевской толщи на университетском оборудовании комплексом современных методов: оптической и электронной микроскопии, микрозондового, дифрактометрического и термического анализов. В лаборатории ФХМИ Института геологии и геохимии УрО РАН рентгеноспектральным флуоресцентным методом на спектрометре EDX был определен химический состав меланократового базальта.

Результаты исследований. Изучение меланократового базальта в шлифах показало, что он претерпел интенсивные метаморфические преобразования. В процессе метаморфизма в базальте появились сланцеватая и линзовидная текстуры. Последняя выражается в появлении мелких зон тектонического дробления и катаклаза, выполненных хлоритом, карбонатом и частично кварцем.

В базальте хорошо сохранились порфировая, реже гломеропорфировая структуры. Размер порфировых выделений клинопироксена и плагиоклаза 0,5-1,0 мм, реже до 2,5 мм,

объем их составляет до 10-15%, поэтому базальты могут рассматриваться как мелко- и редкопорфировые. Порфировые кристаллы клинопироксена и плагиоклаза, обычно испытавшие дробление, замещаются по трещинам хлоритом, а в краевых частях окружены внутренней каймой мелкочешуйчатого хлорита черного и темно-серого цвета и внешней каймой актинолита белого и синевато-серого цвета (рис. 1).

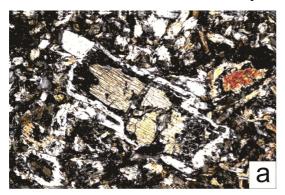




Рис. 1. Базальт. Текстура массивная. Проба 1. Николи скрещенные. Увел. ×60; а - порфировые выделения клинопироксена с высоким рельефом и яркой интерференционной окраской, частично замещенные хлоритом (темно-серые, серые чешуйки с коричневым оттенком) и актинолитом белого цвета; б - гломеропорфировое выделение плагиоклаза с темной каймой хлорита и светло-серой каймой актинолита.

Основная масса базальтов раскристаллизована и преимущественно сложена метаморфическими минералами – актинолитом, хлоритом, эпидотом, альбитом, кварцем и локально карбонатами. Кроме того, в основной массе встречаются реликтовые зерна пироксена размером 0,05-0,17 мм, окруженные узкой каймой хлорита. Структура основной массы афанитовая гранонематолепидобластовая.

Минеральный состав меланократового базальта, помимо шлифов, изучен дифрактометрическим и микрозондовым методами. Фазовый минеральный состав меланократового базальта определен на дифрактометре D2 PHASER (аналитик С.А. Губин). Темноцветные минералы составляют 89,76% массы породы. Первичные авгит-клиноэнстатит (5,96%) и авгит-диопсид (3,00%) по объему резко уступают развивающимся по ним метаморфическим минералам – актинолиту (46,70%) и хлориту (34,10%). Первичные основные плагиоклазы полностью заместились альбит-олигоклазом (5,3%), эпидотом (1,78%) и кварцем (3,16%). Анализ электронно-микроскопических фотографий базальтов позволил отчетливо различать в их составе главные минеральные компоненты, выделять мелкие зоны тектонического дробления, заполненные мелкозернистыми скоплениями хлорит-кварцевого состава (рис. 2), а также микрозерна акцессорных минералов (сфен, хромшпинелиды, магнетит). Электронно-микроскопические исследования показали большие возможности для тонких исследований базальтового сырья и полученного из него волокна.

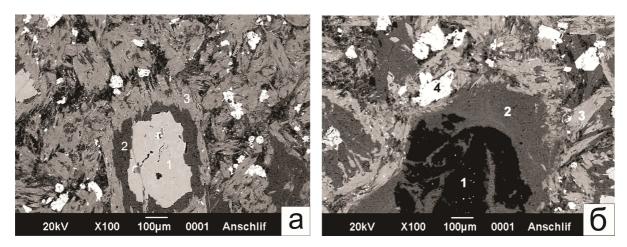


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки базальта: а — фенокристалл клинопироксена (1), окруженный каймами хлорита (2) и актинолита (3); б — выделение агрегата кварца (1) и хлорита (2), 3 — актинолит, 4 — эпидот.

Микрозондовым методом в составе базальтов изучен химический состав минералов групп пироксенов, амфиболов, хлоритов и хромшпинелидов.

Авгит-клиноэнстатит характеризуется высокой магнезиальностью (MgO 25,11-26,97; FeO' 1,57-2,62 мас.%), близкой к высокотемпературным ортопироксенам ультраосновных пород (табл. 1). Это согласуется с общим химическим составом базальта (см. ниже). Другой особенностью авгит-клиноэнстатита является его обогащенность элементами, характерными для пироксенов базитовых пород (в мас.%: Al_2O_3 5,70-9,03; CaO 5,61-5,84; Na_2O 0,29-1,35).

Таблица 1 Химический состав основных минералов базальтов, мас. %

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	53,29	53,81	54,21	55,32	60,34	57,34	29,29	0,12
TiO ₂	0,16	0,24	0,06	0	0	0	0	0,31
Al_2O_3	2,28	1,72	1,17	9,03	5,70	1,78	20,11	10,66
FeO'	4,61	4,30	3,59	2,62	1,57	6,84	13,50	23,21
MnO	0,12	0,14	0,10	0,16	0	0,16	0,27	0,74
MgO	17,49	17,79	17,97	26,97	25,11	19,46	22,95	10,06
CaO	21,08	21,13	21,68	5,61	5,84	12,67	0,09	-
Na ₂ O	0,10	0,11	0,12	0,29	1,35	0,73	0	-
K ₂ O	=	0	=	0	0,08	0,02	-	-
NiO	-	-	-	-	-	-	-	0,055
CoO	=	=	=	-	-	-	-	0,05
Cr ₂ O ₃	0,80	0,71	0,74	0	0	0,04	0,32	54,43
V_2O_5	0,07	0,05	0	-	-	0	0,02	0,26
Сумма	100	100	99,63	100	100	99,04	86,55	99,90

Примечания: 1-3 – авгит-диопсид, 4-5 – авгит-клиноэнстатит, 6 – актинолит (среднее из 3 анализов), 7 – клинохлор (среднее из 3 анализов), 8 – хромшпинелид (среднее из 4 анализов).

В составе авгит-диопсида содержание авгитового минала ниже, чем в авгит-клиноэнстатите. Обогащенность пироксенов авгитовым миналом объясняется высокой меланократовостью базальта, вызванной повышенным содержанием в расплаве магния и железа (табл. 2) При низком содержании плагиоклазов в базальте значительная часть

Магматические амфиболы в базальтах не установлены. Широко распространенный актинолит, образовавшийся в процессе зеленосланцевого метаморфизма, по химическому составу (табл. 1) близок к усредненному актинолиту [3]. Пониженное содержание оксидов железа и повышенное количество оксида магния в актинолите коррелируются с составом исходных клинопироксенов.

При значительном количестве хлоритов в меланократовом базальте их химический состав достаточно однороден в разных частях породы и соответствует клинохлору (табл. 1). Изученный клинохлор по химсоставу практически идентичен с клинохлором из габбронорита Карелии [6]. Клинохлор, по сравнению с актинолитом, содержит намного больше Al₂O₃, FeO', Cr₂O₃ и существенно меньше SiO₂, CaO. Такое различие состава двух метаморфических минералов объясняет размещение кайм хлорита и актинолита вокруг порфировых выделений плагиоклаза и диопсида (рис. 1). Менее подвижный алюминий из магматических минералов входил в состав хлорита, а более подвижный кальций перемещался дальше в краевые части порфировых зерен, где реагировал с минералами основной массы с образованием актинолитовой каймы.

Химический состав меланократового базальта, определенный рентгеноспектральным флуоресцентным методом в лаборатории ФХМИ Института геологии и геохимии УрО РАН на спектрометре EDX-900HS (табл. 2), отражает его меланократовый состав. Это выражается в высоком содержании FeO', MnO, MgO и пониженном количестве SiO₂, Al₂O₃, CaO, Na₂O, K_2O .

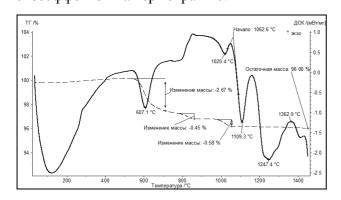
Сопоставление по химическому составу базальтов кулуевской свиты с базальтами известково-щелочной серии современных островных дуг [9] показало их большое сходство (табл. 2). Нормальные базальты кулуевской свиты по химическому составу и модулю кислотности (Мк 3,15-3,70) вполне отвечают требованиям для получения качественного базальтового волокна [4]. Меланократовые базальты, напротив, резко отличаются по химсоставу и модулю кислотности (Мк 1,98) от базальтов как кулуевской свиты, так и островных дуг Тагило-Магнитогорской мегазоны Урала [7; 8], поэтому малопригодны для производства базальтового волокна [4]. Ниже будет показана низкая пригодность меланократового базальта по результатам термических исследований. Считается, что чем выше модуль кислотности, тем более устойчиво минеральное волокно к воздействию воды и влаги и, следовательно, более долговечно. Породы с низким модулем кислотности характеризуются низкой вязкостью. Расплав, полученный из такого сырья, будет характеризоваться узким интервалом стеклообразования.

Химинеский сост	ар базапьтор	кулуевской свиты,	Mac %	
Anning Coll	ad vasandivd	RVIIVODORUM CDMIDI.	Mac. 70	

Компо- нент	1	2	3	Компо- нент	1	2	3
SiO ₂	45,83	49,92	44,46-50,12	CaO	9,34	10,52	9,74-11,03
TiO ₂	0,52	0,68	0,33-0,88	Na ₂ O	1,43	2,21	1,5-5,72
Al ₂ O ₃	8,92	15,96	12,90-20,79	K ₂ O	0,09	0,64	0,48-1,44
Fe ₂ O ₃	3,39	2,80	7,82-11,91*	S	0,04	0,03	-
FeO	7,48	6,44	-	ппп	4,90	2,24	-
MnO	0,20	0,13	-	Сумма	100,49	99,79	-
MgO	18,35	8,22	3,70-9,30	Мк	1,98	3,52	-

Примечания: 1-2 – базальты кулуевской свиты: 1 – меланократовый базальт, 1 анализ; 2 – базальты, 36 анализов по материалам геологосъемочных и поисковых работ (В.Ф. Турбанов и др., 1978; Хайбрахманов и др., 2007); 3 – базальты известково-щелочной серии современных островных дуг, 6 анализов [9].

Проведенные на синхронном термоанализаторе СТА 409 Luxx исследования показали тесную зависимость термического поведения сырья от содержания вторичных минералов. Анализ термических кривых выполнен с учетом справочных данных по термическим свойствам минералов и горных пород [5]. Полученная термограмма отличается наличием большого количества эндо- и экзоэффектов. Общая потеря массы в процессе нагревания до температуры 1500 °C незначительна – 4% (рис. 3). Ниже приводится характеристика эндо- и экзоэффектов на термограмме.



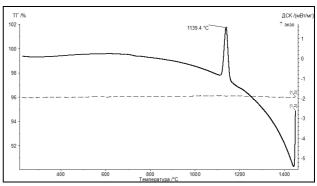


Рис. 3. Кривые нагревания (слева) и охлаждения (справа) образца меланократового базальта.

Резко проявленный эндотермический эффект с пиком 125 °C на кривой нагревания вызван удалением адсорбционной гигроскопической воды, содержащейся, вероятно, в хлоритах. Обычно при анализе габбро-базальтового сырья данный пик на диаграммах отсутствует или проявлен слабо. Эндотермический эффект (Т 607,1 °C) с потерей массы увязывается с дегидратацией «бруситового» слоя хлорита. Слабый экзотермический пик при Т 856,0 °C и небольшая потеря массы при Т 800-868 °C обусловлены дегидратацией «талькового» слоя хлорита и его перекристаллизацией в актинолит. Слабый

^{*} FeO' = FeO + 0.9 Fe₂O₃. Мк – модуль кислотности.

эндотермический пик при Т 1020,4 °C и небольшая потеря массы при Т 974-1043 °C вызваны разрушением кристаллической решетки актинолита и частичным образованием роговой обманки. Крупный эндоэффект с пиком 1109,3 °C отражает начало плавления, сопровождаемого частичной перитектической перекристаллизацией роговой обманки в диопсид. Крупный эндоэффект с пиком 1247,4 °C характеризует основную стадию плавления с частичной перитектической перекристаллизацией диопсида в клиноэнстатит. Мелкие эндотермические осложнения кривой нагревания при Т 1287 и 1339 °C предположительно связаны с плавлением основного плагиоклаза и авгит-клиноэнстатита. Последующее повышение температуры свыше 1430 °C приводит к полному расплавлению породы.

Анализ кривой охлаждения указывает на экзоэффект, вызванный кристаллизацией клинопироксена с пиком 1139,4 °C. Обычно на кривых охлаждения такой пик отсутствует. Появление непроплавленных включений снижает качество базальтового волокна.

Термические исследования показали, что в изученном меланократовом базальте при нагревании до полного расплавления породы (1430 °C) в атмосферных условиях оливин не обнаружен. Согласно экспериментальным данным [2], оливин начинает кристаллизоваться из базальтового расплава в условиях давления 9 кбар при температуре 1360-1300 °C. В интервале температур 1280-1260 °C вместе с оливином кристаллизуются орто- и клинопироксены. Кристаллизацию расплава при давлении 13,5 кбар отличает отсутствие оливина во всех изученных составах. При температуре 1400 °C первым кристаллизовался ортопироксен, при температуре 1360 °C к ортопироксену добавился клинопироксен. Оба пироксена кристаллизовались совместно при понижении температуры до 1290 °C.

По отсутствию в изученном меланократовом базальте оливина и достаточно близких с экспериментальными данными температурах кристаллизации пироксенов можно сделать заключение о формировании островодужных базальтоидов Южного Урала в условиях повышенного давления.

Выводы. Проведенные комплексные прецизионные исследования меланократового базальта позволили оценить особенности его минерального и химического состава, интенсивность метаморфического преобразования, установить многочисленные эндо- и экзоэффекты при нагревании, плавлении и охлаждении. Сопоставление меланократового базальта с сосуществующими нормальными базальтами кулуевской свиты и с базальтами островодужных комплексов других регионов показало их существенное отличие по химическому и минеральному составу и технологическим свойствам.

По совокупности оценочных параметров, полученных в процессе прецизионных исследований, можно сделать заключение о низкой пригодности меланократовых базальтов для использования в качестве сырья для производства базальтового волокна. С одной

стороны, это объясняется меланократовым составом базальта, а с другой - интенсивным метаморфизмом базальта в условиях зеленосланцевой фации. Тугоплавкой примесью, снижающей качество продукции, являются хромшпинелиды.

По химическому и минеральному составу для производства качественного базальтового волокна более подходят и могут быть рекомендованы базальты, особенно их неметаморфизованные или слабо метаморфизованные разности, в которых соотношение темных и светлых минералов отвечает эвтектике. При нагревании такого сырья плавление наступает при наиболее низкой температуре и минимальных энергозатратах.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования Пермского края (научный проект МИГ «Оценка минерально-сырьевой базы Пермского края для обеспечения производства высокотехнологичного базальтового волокна»).

Список литературы

- 1. Базальтовая вата: история и современность (сборник материалов). Пермь, 2003. 124 с.
- 2. Грин Д.Х., Рингвуд А.Е. Происхождение базальтовых магм // Происхождение главных серий изверженных пород по данным экспериментальных исследований. Л. : Недра, 1970. С. 107-296.
- 3. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. М. : Мир, 1965. Т. 2. 407 с.
- 4. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М. : Теплоэнергетик, 2002. 416 с.
- 5. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н. Термический анализ минералов и горных пород. Л. : Недра, 1974. 399 с.
- 6. Осовецкий Б.М. Типохимизм шлиховых минералов. Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 2001. 244 с.
- 7. Перевозчиков Б.В. Предварительный обзор пригодности базитов северной части Тагильской зоны Урала для высокотехнологичного производства базальтового волокна // Вестник Перм. ун-та. Геология. 2009. Вып. 11 (37). С. 36-45.
- 8. Перевозчиков Б.В. Методологические подходы к выбору базитового сырья для получения высококачественного базальтового волокна // Базальтовые технологии. 2012. Октябрьдекабрь. С. 12-14.
- 9. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.

Рецензенты:

Наумов Владимир Александрович, доктор геолого-минералогических наук, директор Естественно-научного института ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь.

Ибламинов Рустем Гильбрахманович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой минералогии и петрографии ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» г. Пермь.