

**А.М. Игнатова, С.В. Наумов, М.Н. Игнатов**

Пермский государственный технический университет

**С.А. Пушкин, С.Б. Суслов**

Пермский государственный университет

## **ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ И ДОСТУПНОСТИ БАЗАЛЬТОИДНЫХ И ГАББРОИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНОГО УРАЛА (ПЕРМСКИЙ КРАЙ) ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

По полученному реестру минерального сырья Пермского края проведена аналитическая и экспериментальная оценка пригодности и доступности базальтоидных и габброидных групп горных пород для производства сварочных материалов.

В настоящее время минерально-сырьевой потенциал Пермского края для производства сварочных материалов изучен достаточно, однако по большинству имеющихся месторождений не были проведены сварочно-технологические испытания минерального сырья с целью оценить степень его пригодности для производства сварочных материалов.

Определение перспективных месторождений Пермского края для производства из местного сырья таких сварочных материалов, как сварочные флюсы, покрытые электроды и порошковая проволока, является одной из важнейших задач сварочного производства. На данный момент на внутреннем российском рынке преобладает импорт сварочных материалов, обусловленный тем, что большинство крупных месторождений для производства сварочных материалов находилось в странах бывшего СССР, после распада которого большинство ресурсных комплексов оказалось за границей. Это и объясняет большие затраты на транспортировку сварочных материалов для российских заводов.

Чтобы провести оценку минерально-сырьевой базы Пермского края на пригодность и доступность горных пород для производства сварочных материалов, был рассмотрен имеющийся реестр минерального сырья. Из этой базы данных, конкретизируя оценку пригодности и доступности для производства сварочных материалов, были рассмотрены габброиды и базальтоиды, комплексы которых расположены на Западном Урале.

Пермский край характеризуется большим разнообразием природных условий и ресурсов. Территория области отнесена к двум крупным физико-географическим комплексам: Русской равнине (80 %) и горному Уралу (20 %). Комплексы основных месторождений габброидной и базальтовой групп горных пород представлены на географической карте Пермского края (рис. 1).

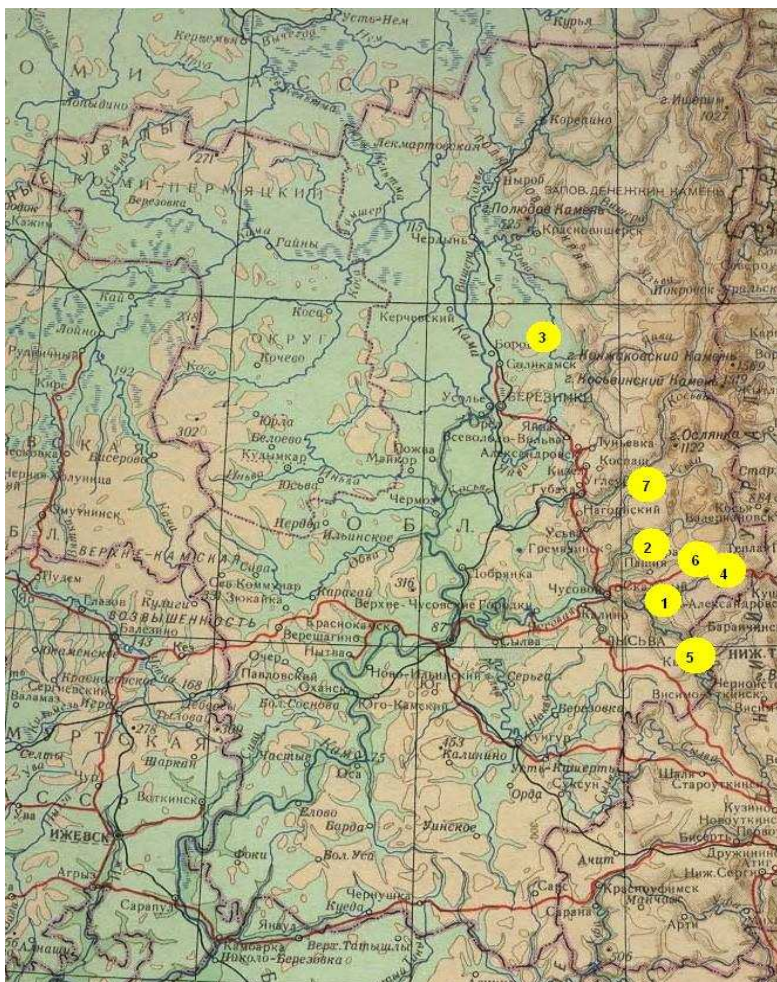


Рис. 1. Географическая карта Пермского края: 1 – Щегровитская свита; 2 – Дворецкий комплекс; 3 – Верхнесеребрянский комплекс; 4 – Сарановский комплекс; 5 – Журавликский комплекс; 6 – Кусьинский комплекс; 7 – Усьвинский комплекс

Базальтоиды и габброиды Пермского края располагаются в виде свит, комплексов, массивов или участками. К глубинным изверженным породам габброидной группы на территории Пермского края отнесены дайки габбро-диабазов (23 участка) и обнажение тешенита (один участок). К излившимся

изверженным породам отнесены граносиениты Троицкого массива и обнажения пикритового порфирита.

На рис. 2 показаны основные месторождения габброидов Пермского края.

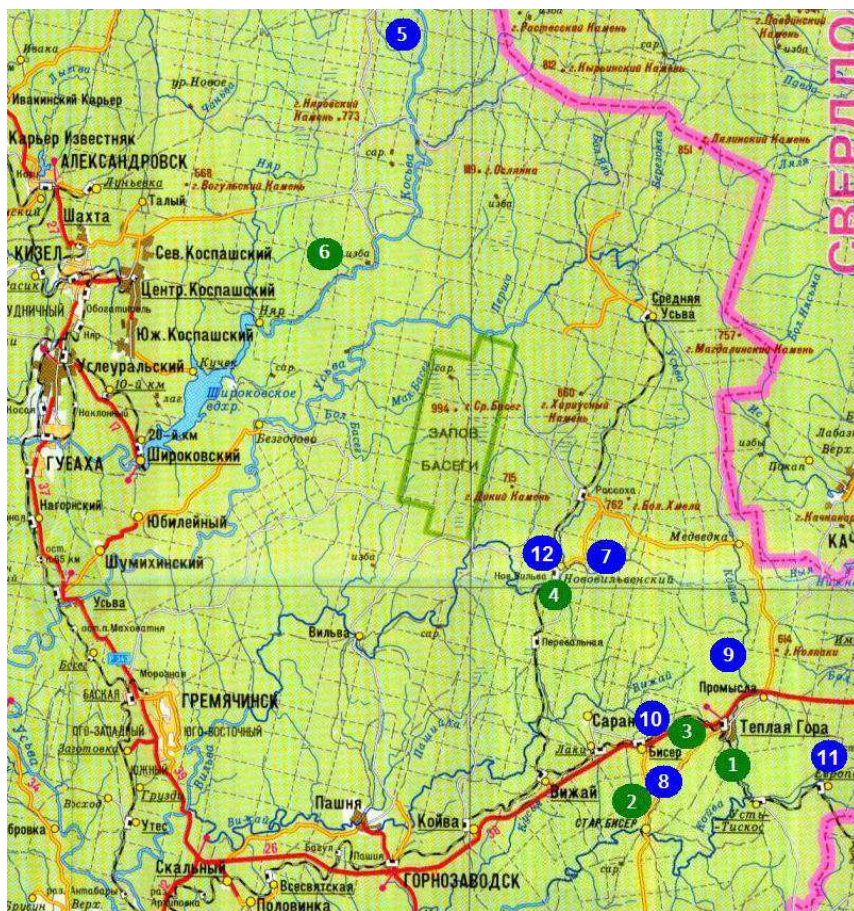


Рис. 2. Месторождения габброидов Пермского края: зеленые – действующие или предварительно изученные буровыми и горными работами, синие – обнажения и проявления, имеющие перспективы для реализации: 1 – Ломовское месторождение габбро-диабазов; 2 – Ольховская дайка габбро-диабазов; 3 – Ново-Бисерская дайка габбро-диабазов; 4 – Ново-Вильвенская дайка габбро-диабазов; 5 – участок щелочных габброидов (тешенитов) «Южная Ветка»; 6 – Троицкое месторождение граносиенитов; 7 – обнажение «Мелкое» (пикритовые порфириты); 8 – Бисерская дайка габбро-диабазов; 9 – участок «Большая Шалдинга»; 10 – Вижайская дайка габбро-диабазов; 11 – северная дайка габбро-диабазов участка «Европейский»; 12 – Дайка габбро-диабазов «Мясной камень»

Все месторождения габброидов и базальтов привязаны к поселкам или железнодорожным станциям, следовательно, к ним уже имеются пути подхо-



да, что делает горные породы Пермского края доступными для производства сварочных материалов.



Рис. 3. Габбро-диабазы Пермского края

Ранее упоминалось, что в Пермском крае распространены габбро-диабазы (рис. 3), которые представляют собой многочисленные интрузивные тела (дайки). По большинству из них произведено изучение химического состава, физико-механических свойств и блочности камня, подсчитаны ориентировочные запасы. По химическому составу, физико-механическим свойствам, литологии и петрографии габбро-диабазы всех даек практически однотипны, что обеспечивает более стабильный химический состав шихты.

Дайки габбро-диабазов, как правило, хорошо выражены в рельефе в виде гористых высот, возвышающихся над окружающей местностью. Дайки имеют линзовидную форму в плане и вытянуты на расстоянии 1–2 км, реже – менее. Ширина (мощность) даек колеблется от 80 до 320 м, составляя в среднем 150 м [3].

Характерной особенностью даек габбро-диабазов является наличие на их склонах крупноглыбовых развалов (курумов), т.е. практически готовых блоков. Добыча этих блоков будет заключена в разборке курумов, отгрузке и транспортировке блоков на камнерезный завод или сразу на завод по производству сварочных материалов, где будет осуществлена резка, дробление, просеивание и сушка габбро-диабазов с последующими операциями.

Пермский край насчитывает около десятка крупных ТЭС и ГРЭС, которые снабжают города и предприятия. Это Березниковская ТЭЦ-2, 4, 10, Кизеловская ГРЭС-3, Закамская ТЭЦ-5, Пермская ТЭЦ-6, 9, 13, Широковская ГЭС-7 и др. Снабжения электричеством добычи габбро-диабазов и производства сварочных материалов можно легко достигнуть, используя ТЭЦ Перми, п. Широковского или Камской ГЭС.

Таким образом, месторождения горных пород габброидных и базальтовых групп в Пермском крае отличаются не только высокой степенью пригодности для переработки в сварочные материалы, но и удобным территориальным расположением вблизи объектов инфраструктуры.

Ниже представлено проведенное нами первичное оценочное сопоставление компонентно-минералогического состава горных пород Пермского края и сварочных материалов.

Минералы габброидной и базальтовой группы Пермского края	Компоненты шихты в производстве сварочных материалов
<i>Габбро</i>	<i>Традиционные</i>
Кварц	Марганцовая руда
Щелочные полевые шпаты	Железная руда
Плагиоклаз	Мусковит
Оливин	Ферромарганец
Пироксен	Рутил
Роговая обманка	Кварцевый песок (кварц)
Биотит	Титанит
Мусковит	Мрамор
Магнетит, гематит, ильменит	Магнетит
Нефелин	Титаномагнетит
Апатит	Кварцит
Сфен	Флюорит
Хлорит и серпентин	Плавленый шпат
<i>Диабаз</i>	Известняк
Плагиоклаз	Ильменит
Авгит	Доломит
Базальт	<i>Нетрадиционные:</i>
Плагиоклаз	Оливинит
Пироксен	Кианит
Оливин	Силлиманит
Магнетит	Нефелин
Хромит	Сфен
Биотит	Хроматы
Авгит	
Апатит	

Минеральный и химический состав габброидов и базальтоидов Пермского края схож с минеральным сырьем для производства сварочных материалов, например, кварц габбро и кварцевый песок как традиционный компонент шихты, ильменит, магнетит, мусковит, оливин базальта и оливинит нетрадиционных компонентов, хромит и хромат и др. Данных о химическом составе горных пород Пермского края недостаточно для полной оценки их пригодности для производства сварочных материалов.

Кроме того, нами была проведена оценка минерального сырья, а именно комплексов и свит базальтоидных и габброидных групп Пермского края по химическому составу, в результате которой установлено, что данные группы горных пород соответствуют требованиям сырья для производства сварочных материалов.

В итоге было выявлено самое низкое содержание вредных примесей у габброидов Сарановского комплекса из Шакюревского массива, где содержание серы достигало до 0,01 %, в среднем же составляло всего 0,0025 %, а содержание оксида фосфора – 0,11 %, что является незначительным для минерального сырья для производства сварочных материалов. Определено также, что габброиды Журавликского комплекса из Хмелевского массива содержат менее 0,01 % серы, но большее содержание оксида фосфора – 0,45 %, хотя также в допустимых пределах для получения сварочных материалов.

Установлено, что содержание серы в трахибазальтах Щегровитской свиты не более 0,01 %, среднее содержание серы по результатам 20 проб составило 0,012 %, что говорит о содержании серы в допустимых пределах, регламентированных стандартами на сварочные материалы. Содержание оксида фосфора больше, чем в габброидах, до 0,69 %, хотя в Пермском крае имеются вулканические породы второй фазы Дворецкого комплекса, фонолиты, с низким содержанием серы и фосфора: S – 0,006 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,222%.

Шихта должна содержать как можно меньше компонентов, наиболее благоприятные свойства наблюдаются при двух компонентах, оптимальные значения коэффициентов кислотности находятся в пределах 1,6–1,9. Например, пикриты Верхнекойвинского массива Кусьинского комплекса обладают модулем кислотности 1,68, другие горные породы имеют модуль кислотности от 0,41 до 3,61.

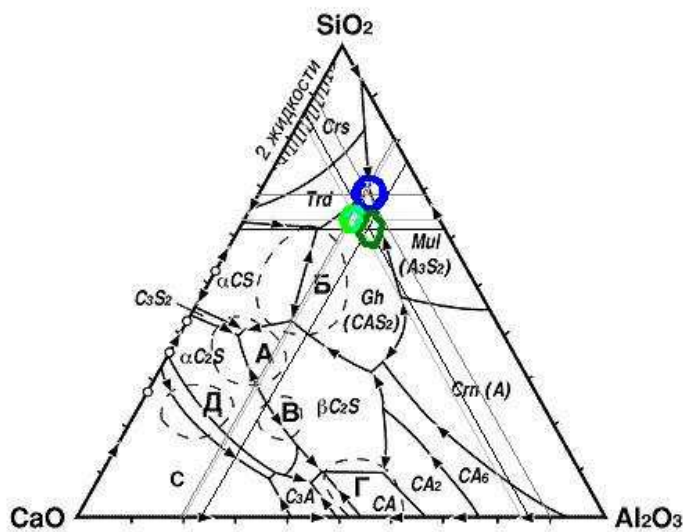


Рис. 4. Положение примерных областей фигуративных точек составов основных (область А) и кислых (Б) шлаков, алюмосиликатных (В) и высокоглиноземистых (Г) шлаков на диаграмме системы CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>

Основа горных пород габброидов и базальтов – оксид кремния, в этих породах содержится в основном оксиды  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ . Химический состав в группах горных пород стабильный, изменения незначительные.

Состав шлаков габброидных и базальтовых групп горных пород близок к системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , но обычно содержит до нескольких процентов  $\text{MgO}$ . Совмещение полей фигуративных точек наиболее распространенных шлаков (А, Б, В, Г) с диаграммой поверхности ликвидуса системы (рис. 4) наглядно показывает их преобладающий фазовый состав. Для кислых шлаков ( $> 40\% \text{SiO}_2$  – поле Б на диаграмме) характерны мелилиты, волластонит, анортит.

На диаграмме состояния  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (рис. 5) отмечены габброиды Усьвинского комплекса (габбродолериты темно-зеленым цветом, нижний круг), габброиды Журавликского массива (синим цветом, верхний круг) и Габброиды Сарановского комплекса г.Ночник (светло-зеленым цветом, круг расположенный слева). Все габброиды, как и большинство базальтов имеющие схожий химический состав, находятся ближе к фазовому составу кислых шлаков. Для кислых расплавов характерно преобладание стекловидной фазы. Часты порфиновые структуры с вкрапленниками мелилита.

Предварительная оценка говорит о том, что из исходного сырья габброидных и базальтовых групп горных пород Пермского края будут получены сварочные плавные флюсы на кислой основе. Для определения показателя плавкости горных пород Пермского края рассмотрена диаграмма плавкости системы  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-20\%\text{Al}_2\text{O}_3$ , где под эту диаграмму подходят габброиды Сарановского комплекса и др. (рис. 5).

Система  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$  с некоторым приближением соответствует составам флюсов ФЦ-16, ФЦ-16А, АН-47 и АН-15. Заштрихованная область этих флюсов лежит между изотермами 1400 и 1500 °С. Температура плавления самих флюсов составляет 1300–1350 °С благодаря введению дополнительных оксидов  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и фторидов  $\text{CaF}_2$  и  $\text{NaF}$ . Габброиды находятся выше области сварочных флюсов на диаграмме состояния между изотермами 1300 °С, при увеличении оксида магния температура плавления повышается до 1500 °С. По отношению к рассмотренным сварочным флюсам симиналы из габброидов являются длинными флюсами.

С использованием двух- и более компонентной системы из горных пород габброидной и базальтовой группы Пермского края получены требуемые области сварочных флюсов на многих диаграммах состояния. Что касается показателя плавкости, габброиды обладают требуемыми температурами плавления.

Аналитическая оценка пригодности базальтоидной и габброидной группы горных пород к использованию для производства сварочных мате-

риалов показала, что горные породы Пермского края пригодны для производства сварочных материалов, но требуется использовать двух-, трехкомпонентные системы шихты габброидов или базальтов для получения оптимальных составов, модулей кислотности, температур плавления и т.д.

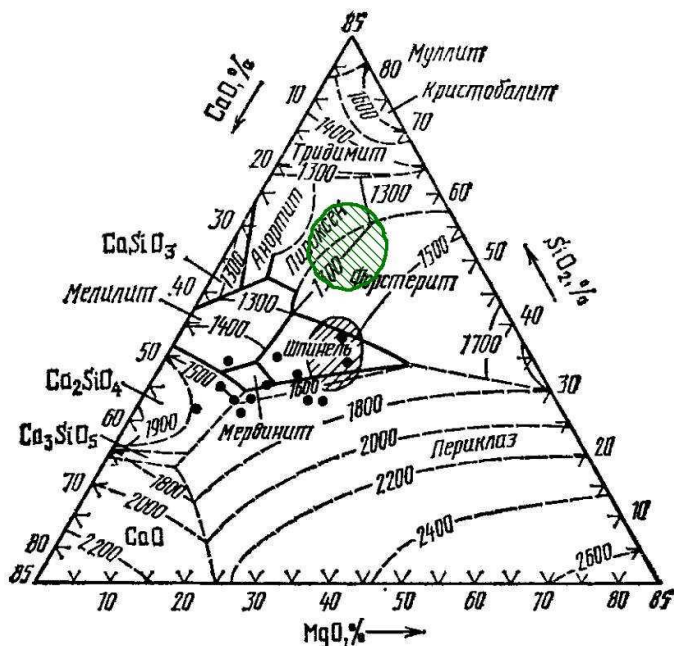


Рис. 5. Диаграмма плавкости системы CaO–MgO–SiO<sub>2</sub>–20%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (температура, °С)

Обоснованность выбора изучения горных пород Ломовского месторождения, в частности габбро-диабазов, заключается в том, что они хорошо освоены. Месторождение действующее, размещено поблизости от железной дороги (расположено в Горнозаводском районе, 3 км южнее железнодорожной станции Теплая Гора Свердловской железной дороги) и автомагистрали (Р343), находится непосредственно рядом с населенным пунктом Теплая Гора. Кроме того, положительны результаты аналитической оценки габбро-диабазов Пермского края не только по химическому составу, но и по содержанию вредных примесей.

На рис. 6 представлены геологические образцы габбро-диабазов Ломовского месторождения. Как видно, минералы распределены по всей структуре образца равномерно, мелкими фракциями.

Для силикатного анализа минерального сырья Пермского края были выбраны габбро-диабазы, дайка которых находится вблизи Ломовского месторождения габбро-диабазов; можно предполагать, что химический состав для всех габбро-диабазов этого месторождения практически одинаковый.



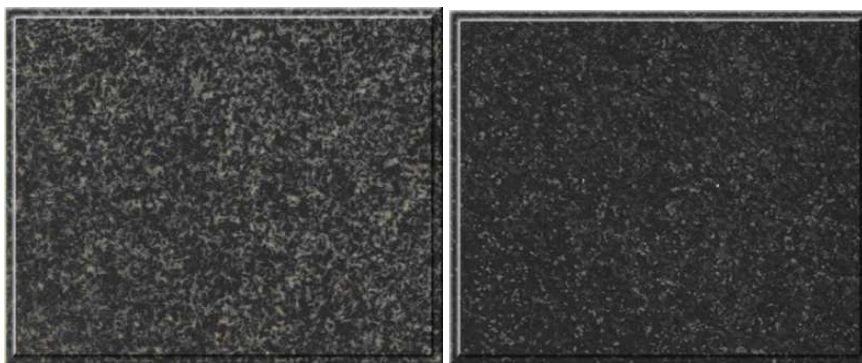


Рис. 6. Геологические образцы габбро-диабазов Ломовского месторождения [2]

По результатам силикатного анализа (таблица) габбро-диабазы Пермского края обладают низким содержанием вредных примесей серы и фосфора, общее содержание серы составляет менее 0,03 % от общего содержания элементов в породе. В ГОСТ 9087–81 «Флюсы плавленные сварочные» указано, что содержание серы на все сварочные флюсы находится в пределах 0,05–0,12 %, т.е. исследуемое сырье обладает очень низким содержанием этой вредной примеси. Содержание фосфора в виде оксида фосфора составляет 0,61 %. Это говорит о том, что общее содержание фосфора в породе, так же как и серы, находится в допустимых пределах.

**Химический состав габбро-диабазовой пробы  
Ломовского месторождения Пермского края по результатам  
силикатного анализа**

Элементы	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
Проба ГД, %	46,58	0,13	8,33	4,20	13,33	2,59
Проба ГД № 52, %	48,56	0,22	8,33	3,71	12,44	2,37
Элементы	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S <sub>общ</sub>	п.п.п.
Проба ГД, %	1,14	3,05	13,33	0,61	<0,03	3,53
Проба ГД № 52, %	1,23	4,42	8,55	0,47	<0,03	3,20

Помимо этого, габбро-диабазы Пермского края обладают благоприятным химическим составом для сварочных флюсов на оксидносиликатной основе с содержанием 46,58 % диоксида кремния, а также для сварочных флюсов на алюмосиликатной основе и оксида кальция. По данным силикатного анализа выявлено полное соответствие габбро-диабазов по химическому составу сырью для производства сварочных материалов, что дает перспективы использования минерального сырья Пермского края в производстве каменного литья и сварочных материалов.

В подтверждение однородности габбро-диабазов по всем дайкам был проведен дополнительный силикатный анализ, номер протокола № 52 (см. таблицу).

Таким образом, предварительная оценка с помощью силикатного анализа доказывает пригодность габбро-диабазов для использования в сварочном производстве с точки зрения химического состава, кроме того, были выбраны диаграммы состояния системы состава  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  и возможны диаграммы с  $\text{MgO}$ , по которым найдены температура плавления, вязкость и другие свойства материала, необходимые для дальнейшей работы.

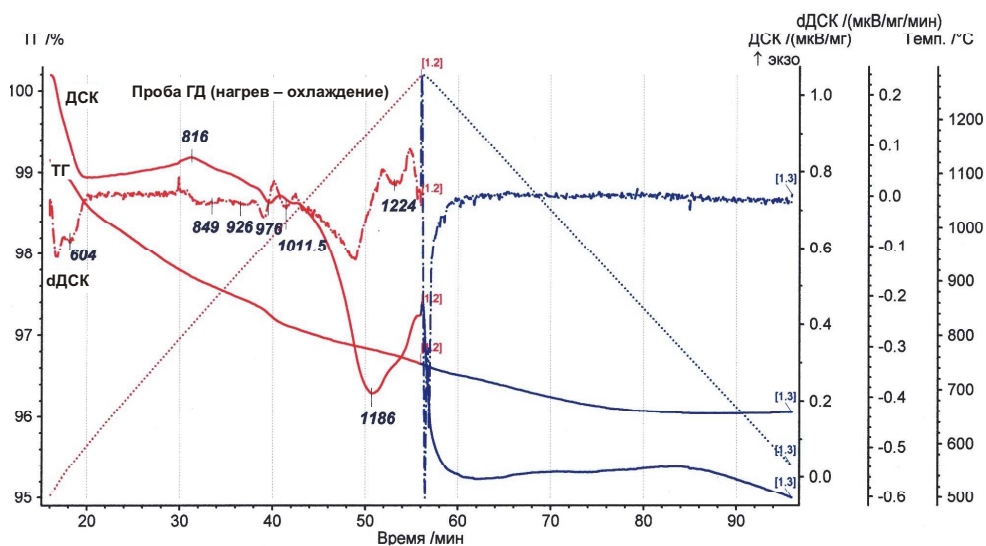


Рис. 7. Общая диаграмма нагрева и охлаждения термического анализа габбро-диабазов Ломовского месторождения

В ходе выполнения работы был проведен термический анализ минерального сырья Пермского края. Результаты термического анализа представлены в виде диаграмм нагрева и охлаждения (рис. 7).

Анализируя диаграмму, определяем, что регистрируемой величиной является напряжение, возникающее на калибровочных сопротивлениях при протекании через них тока компенсации. По этим данным прибор выводит кривые ДСК и скорость изменения кривой на диаграмме dДСК, на кривых фиксируются пики с обозначением температур. Температура нагрева и охлаждения определены проекцией кривых на линии 1, 2. ТГ – кривая изменения массы, как видно, у образца горной породы габброидной группы потери массы составили 3,4 %.

Установлено, что низкая потеря массы сопутствовала нагреву образца до 1400 °С, потери массы составляли на пяти этапах замера в общем объеме

2,5 %. Это говорит не только о чистоте минерального состава, но и об отсутствии гидратов в породе, которые являются источниками водорода в сварочных материалах. Гидраты являются также причиной пористости шлаковой корки и сварного шва в целом.

Определены температуры разложения и по пикам кривой ДСК полученные данные о подтверждении соответствия состава пород по табличным данным пиков в интервале температур. Зафиксирована температура плавления пробы минеральной породы в критической точке 1400 °С, с 1190 °С рост кривой ДСК с 0,25 мкВ/мг, достигая температуры плавления 0,43 мкВ/мг, продолжается, с характерным увеличением скорости реакций, происходящих в образце, отображенной на кривой dДСК, с 1186 °С.

Все пики кривой ДСК, отображенной на рис. 7, говорят об отличии протекания реакции при нагреве или охлаждении от эталонных. В результате этих изменений были определены переходы энтальпии, фазовые преобразования, температуры кристаллизации, стеклования, отвердевания и кинетика реакции.

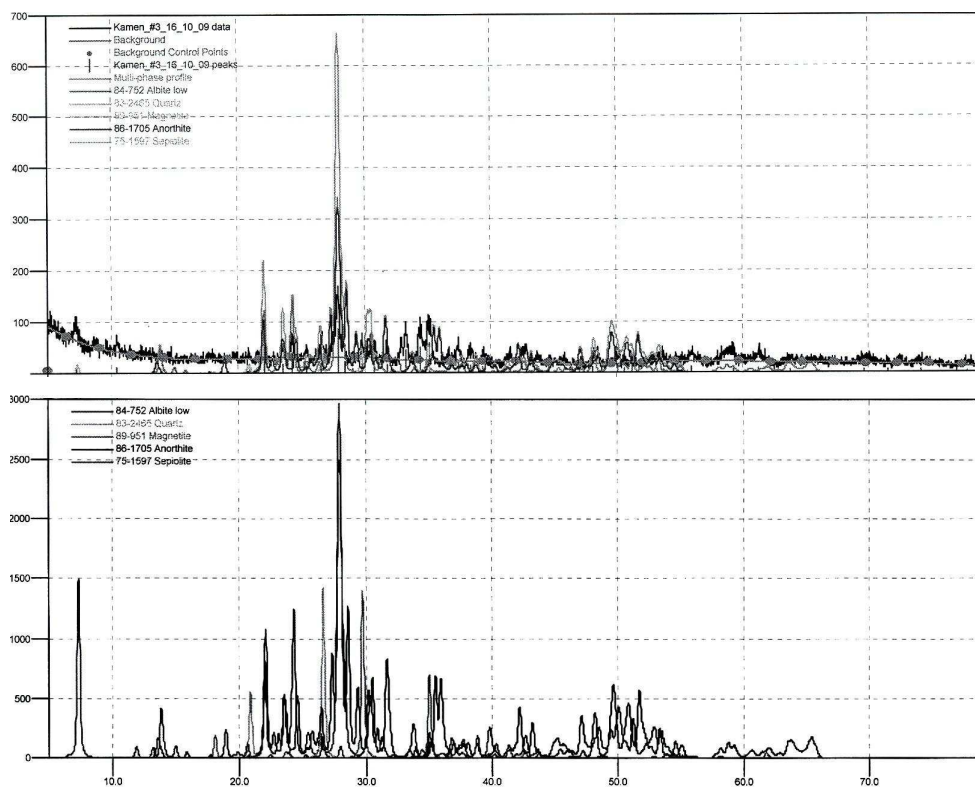


Рис. 8. Рентгеновская дифрактограмма

По диаграмме охлаждения (правая часть общей диаграммы) видны незначительные потери массы, скорость реакций протекающих в образце по кривой dДСК постоянны, со снижением температуры ниже 1300 °С при охлаждении превращений в габбро-диабазы почти нет, а ниже 780 °С они полностью отсутствуют.

Из приведенных данных следует отметить, что габбро-диабазы Пермского края обладают требуемыми теплофизическими свойствами при плавлении для получения сварочных плавящихся материалов. Оценка минерального сырья проведена для технологии получения сварочных плавящихся флюсов на этапе плавления компонентов шихты, к которому определена пригодность габбро-диабазов для операции плавки.

Для оценки пригодности габбро-диабазов Ломовского месторождения к производству сварочных материалов требовалась обработка результатов рентгенофазового анализа базальтов. Анализ проведен на рентгенофазовом дифрактометре Shimadzu XRD – 6000. Прибор предназначен для стандартного рентгеноструктурного анализа поликристаллических материалов.

В отчет о результате проведения рентгенофазового анализа, оформленный в программе Crystallographica Search-Math Version 2.0.3.1, включены данные о рентгеновском излучении – Cu, длина волны 1,54056 и 1,54439 Å. Выводилась графическая часть диаграмм при рентгеновском излучении, на первом графике изображены действительные значения, вторая диаграмма графически обрабатывается, и по имеющейся минеральной базе линии сопоставляются с исследуемым образцом (рис. 8).

В ходе обработки результатов были подобраны гистограммы таких минералов, как альбит  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ , кварц  $\text{SiO}_2$ , магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , анортит  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$  и сепиолит  $\text{Mg}_8(\text{OH})_4\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{H}_2\text{O})_{12}$ .

В результате полученных данных рентгенофазового анализа минерального состава всех образцов можно сказать, что основа этих горных пород – альбит, кварц, в редких случаях – клинохлор; спайность этих минералов по справочным данным совершенная. Альбит плавится с трудом, из-за натрия дает желтое натриево-красное пламя, что говорит о выгорании этого элемента [5].

Присутствие клинохлора затрудняет плавку, он является тугоплавким минералом, поскольку представляет собой гидроксид алюмосиликата, но при переплаве в конечном итоге получаем сложные химические соединения Mg, Fe, Al и Si с кислородом. Клинозоицит  $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$  характеризуется хорошей плавкостью, на кривой нагревания имеются два эндотермических прогиба с максимумами при температурах 950 °С (дегидратация) и 1200 °С (спекание), при увеличении температуры происходит плавление. Пироксены легко плавятся в стеклообразную структуру [4].

Данные минерального состава, полученные при рентгенофазовом анализе, говорят о том, что минералы, содержащиеся в габброидах и базальтоидах при плавлении образуют требуемый химический состав с требуемыми теплофизическими свойствами, выступая пригодными для производства сварочных плавящихся материалов.

Таким образом, базальтоидные и габброидные комплексы западного склона Урала пригодны и доступны для производства сварочных материалов. После проведения сварочно-технологических испытаний установлено, что эти горные породы показали хорошие результаты при сварке под флюсом, но требуется доработка в плане корректировки параметров сварки и составов шихты. В будущем планируется применить их в других сварочных материалах.

Реестр минерального сырья Пермского края насчитывает обширную минерально-ресурсную базу, и на первом этапе были исследованы только габброидные и базальтоидные группы горных пород. В дальнейшем будут проведены оценки пригодности и доступности минерального сырья других месторождений горных пород, а также их сварочно-технологические испытания.

### **Список литературы**

1. Аликин Э.А. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Энциклопедия. – Пермь, 2006. – 463 с.
2. Семенов Е.И. Систематика минералов. Справочник. – М.: Недра, 1991. – 334 с.
3. Бетехтин А.Г. Курс минералогии: учеб. пособие. – М.: КДУ, 2008. – 111 с.

Получено 15.07.2010