

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Фомичева Сергея Викторовича на тему **«Физико-химические основы комплексной переработки габбро-базальтового сырья»**, представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 - физическая химия.

Актуальность работы. Диссертационная работа С.В.Фомичева посвящена исследованию физико-химических свойств габбро-базальтового сырья и созданию физико-химических основ процессов его переработки. Актуальность работы определяется дефицитом сведений о составе габбро-базальтового сырья России, высокой практической значимостью продуктов его переработки и необходимостью физико-химического обоснования создания комплексных схем, обеспечивающих извлечение всех полезных составляющих. В результате проделанного комплексного исследования созданы новые способы определения минерального состава сырья по результатам химического анализа, модификации состава сырья, что позволило предложить основы его комплексной переработки. Таким образом работа представляется завершенным циклом исследований – от сырья до выделения всех ценных компонентов. В связи с этим полученные результаты представляют значительный интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Целью работы являлось создание физико-химических основ комплексной переработки габбро-базальтового сырья и его отходов. По моему мнению - это, безусловно, верная, но слишком лаконичная формулировка, которая полностью не раскрывает всего объема выполненной соискателем работы.

Автором определены задачи проводимого исследования, которые логично увязаны между собой и направлены на достижения цели работы.

Методологический подход заключается в компьютерном физико-химическом моделировании (ФХМ) природных и технологических процессов с последующей экспериментальной проверкой полученных результатов.

Экспериментальные методы современны, исследования проведены с использованием новейших приборов.

Научная новизна заключается в разработке: метода расчета минерального состава магматических горных пород; метода компьютерного моделирования процессов формирования расплавов габбро-базальтовых пород; способов модифицирования состава сырья; способа получения каменной керамики с использованием связующего компонента. Физико-химические основы комплексной переработки габбро-базальтового

сырья и отходов представляются весьма достоверными.

Практическая значимость. Каждый пункт научной новизны работы обладает практической значимостью и имеет высокий потенциал для практического использования.

На защиту выносятся: метод расчета минерального состава магматических горных пород по данным их химического анализа; метод формирования расплавов габбро-базальтовых пород для получения минеральных волокон и изделий каменного литья; безподшихтовочные методы модифицирования состава габбро-базальтового сырья; метод получения керамических материалов из габбро-базальтовых пород с использованием связующего компонента; физико-химические основы комплексной схемы переработки габбро-базальтового сырья, отходов основных производств и побочных продуктов.

Работа выполнялась в соответствии с планами научно-исследовательских работ ИОНХ РАН с 2007 г. по 2016 г. и поддерживалась программами: Президиума РАН, Отделения химии и наук о материалах и грантами РФФИ.

#### Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 28 работ в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, 2 патента Российской Федерации, 9 тезисов докладов на Международных и Всероссийских научных конференциях. Публикации и автореферат достаточно полно отражают содержание диссертации.

Структура диссертации. Рукопись состоит из введения, 5-ти глав, общих выводов и списка литературы.

Во введении приведены сведения о габбро-базальтовых породах, как нерудных полезных ископаемых, используемых в качестве строительных материалов, а также для целей петрургии и производства минеральных волокон. Дана краткая характеристика петрургии и производства дискретных и непрерывных волокон в РФ и за рубежом. Основное внимание уделено производству и широким перспективам применения непрерывных минеральных волокон и изделий на их основе в России. Обоснована актуальность проблемы: разработки принципиально новых методов модифицирования химического состава сырья месторождений России; применения методов ФХМ для расчета минерального состава сырья и процессов формирования расплавов для петрургии и производства минеральных волокон, а также создания физико-химических основ комплексной, безотходной схемы переработки сырья. Помимо этого приведены сведения о методологическом подходе и экспериментальных методах исследований; о научной новизне, практической значимости и

выносимых на защиту результатах; апробации работы, публикациях автора и его личном вкладе в решение поставленных задач.

В главе I кратко охарактеризованы три класса (плутонические, гипабиссальные и вулканические) магматических горных пород, семейства и виды которых входят в состав габбро-базальтового сырья.

Приведен перечень разрабатываемых и подготовленных к освоению габбро-базальтовых месторождений России.

Содержатся сведения общего характера (плотность, температура плавления, поведение при нагревании, взаимодействие с кислотами и др.) об отдельных минералах, входящих в состав габбро-базальтового сырья, а также о марганце, хrome и ванадии, как наиболее распространенных акцессорных металлах, присутствующих в габбро-базальтовом сырье.

В главе II на основе установленных физико-химических закономерностей влияния на свойства габбро-базальтовых расплавов содержания всех петрогенных элементов показана необходимость использования для первоначальной оценки пригодности сырья для получения волокон и изделий каменного литья, коэффициента кислотности  $K$ , определяемого по соответствующей формуле. Показано также, что кислотно-основные характеристики более реально отражает коэффициент  $K_i$ . Для характеристики сырья на основе пироксенообразующего комплекса может быть использован коэффициент  $K_{py}$ . Представление о сложности алюмокремнекислородных группировок, присутствующих в расплаве, можно получить на основе коэффициента  $M_{общ}$ , а для оценки кристаллизационных свойств расплавов и определения степени их соответствия т.н. «мономинеральному» пироксеновому составу, целесообразно пользоваться отношением  $M_{py}$ .

Возможности применения этих характеристик были оценены для 11-ти месторождений габбро-базальтового сырья РФ с максимальным и минимальным содержанием петрогенных элементов.

Приведены сведения о влиянии содержания петрогенных элементов на основные свойства габбро-базальтовых расплавов: жидкотекучесть, вязкость, литейный интервал, усадка и кристаллизационная способность.

Предложен способ расчета минеральных составов магматических горных пород по данным их химического анализа. На конкретных примерах сравнения рассчитанных минеральных составов и полученных экспериментальными методами, показана их хорошая сходимость.

Рассчитаны минеральные составы 11-ти месторождений габбро-базальтового сырья России, представленных различными семействами и видами горных пород с максимальным и минимальным содержанием основных компонентов. Для всех месторождений полученные результаты

находятся в пределах граничных значений модального минерального состава и содержания порообразующих оксидов для каждого вида горной породы, приведенных в Петрографическом кодексе РФ.

В главе III рассмотрены вопросы кристаллизационной и гравитационной дифференциации природных магм, приводящие к разделению (фракционированию) компонентов твердых и жидких фаз. Особое внимание уделено вопросу последовательности кристаллизации минералов из магматических расплавов.

Экспериментально показано, что при кристаллизации базальтового расплава также происходят эти процессы, в результате чего поверхностный слой "обогащается" кремнием и алюминием, а также натрием и калием, а придонный - железом и магнием. Фракционным "отбором" поверхностного или придонного слоев можно осуществить модифицирование состава расплава.

Установлено, что изменить фазовый состав расплава можно путем проведения процесса плавления габбро-базальтового сырья в окислительной, восстановительной или инертной атмосферах.

Показано, что методом магнитной сепарации можно разделить измельченный базальт на магнитно-обогащенную и магнитно-обедненную фракции, отличающиеся химическим и фазовым составом.

На основе результатов исследований процессов выщелачивания габбро-базальтового сырья хлороводородной и ортофосфорной кислотами предложен метод модифицирования состава габбро-базальтовых пород для получения материалов с требуемыми потребительскими свойствами.

В главе IV методом дифференциально-сканирующей калориметрии исследован процесс нагревания порошкообразного образца базальта месторождения Булатовское (Архангельская обл.). Установлено, что процесс спекания происходит в интервале температур 840-890°C, а собственно плавление – в интервале 990-1128°C. Дальнейшее повышение температуры сопровождается плавлением и растворением в образовавшемся расплаве более тугоплавких компонентов. На основе этих результатов были получены образцы спеченного базальта плотностью до 2.40 г/см<sup>3</sup>.

Разработаны научные основы способа получения керамических материалов из габбро-базальтового сырья с использованием связующего компонента, который упрощает процесс, расширяет сырьевую базу и ассортимент получаемых изделий.

Метод ультразвукового диспергирования для получения высокодисперсного порошка базальта, на основе которого были изготовлены образцы, которые по сравнению с образцами из тонкодисперсных порошков,

имели более высокую плотность (2.95 против 2.4 г/см<sup>3</sup>) и твердость (419 против 330 НВ).

Разработан способ нанесения антикоррозионных покрытий из мелкодисперсного порошка базальта на металлические поверхности с использованием алюмофосфатной связки (АФС) и алюмохромфосфатной связки (АХФС).

На основе базальтовой керамики, с добавлением рубленых непрерывных базальтовых волокон и неорганического связующего, получен фрикционный материал, который может быть использован при изготовлении тормозных колодок и дисков сцепления автотранспорта, а также для тормозных колодок самолетов, буровых установок.

Приведены имеющиеся в литературе и полученные нами сведения о некоторых физико-химических свойствах как природных базальтов, так и образцов керамики, антикоррозионных покрытий и фрикционного материала.

В главе V разработаны физико-химические основы пиро- и гидрометаллургических методов переработки отходов основных производств, использующих габбро-базальтовое сырье.

Предложены технологические варианты, позволяющие получать востребованные продукты различного состава.

Разработана принципиальная схема комплексной переработки габбро-базальтового сырья, включающая переработку отходов и побочных продуктов, а также извлечение аксессуарных металлов (Mn, Cr, V).

В выводах кратко обобщены результаты всей работы.

Список литературы включает в себя 162 ссылки.

Рассмотрение диссертационной работы Фомичева С.В. позволяет сделать вывод о том, что соискателем сделан большой вклад в создание физико-химических основ оценки и комплексной переработки габбро-базальтового сырья, практическая реализация которого позволит решить важную хозяйственную задачу – оптимизация массового производства материалов и изделий из данного сырья.

По тексту диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В работе большое внимание уделяется физико-химическому моделированию природных и технологических процессов, но чересчур кратко описаны программные средства, которые используются для этого.

2. Далеко не всегда автору удается четко и ясно донести свои идеи до читателя. Встречаются (и довольно часто) неудачные, «жаргонные» выражения, например, «термодинамические свойства».

3. Не повезло в тексте диссертации запятым. Кажется, что их у автора неограниченный запас и он часто ставит их в тех местах, где правила того не

требуют.

4. Не всегда четко определяются условия экспериментов. К примеру, данные о плотности образцов из тонкодисперсного порошка не сопровождаются указанием: порошки спекались с прессованием или без.

5. Часть таблиц и рисунков можно было вынести в приложения, чтобы разгрузить основной текст.

6. В списке литературы присутствуют ссылки на достаточно старые работы – оправдано ли их использование?

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку выполненных исследований.

Считаю, что диссертационная работа Фомичева С.В. полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.09.2013 г. №842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора химических наук, а Фомичев Сергей Викторович, достоин присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 – Физическая химия.

Чекмарев Александр Михайлович

Профессор кафедры Технология редких элементов и наноматериалов на их основе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский химико-технологический университет" им. Д.И.Менделеева (РХТУ им. Д.И.Менделеева), доктор химических наук по специальности 05.17.02 - технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (химические науки), профессор, член-корреспондент РАН,  
Адрес РХТУ им. Д.И.Менделеева: 125047, Москва, Миусская пл., д.9 .  
Телефон: (499) 978-86-60, e-mail: chekmarv@rctu.ru

Подпись руки проф. А.М.Чекмарева удостоверяю.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (РХТУ им. Д.И.Менделеева)

к.т.н.



Калинина Н.К.

Сведения об оппоненте

по диссертационной работе Фомичева Сергея Викторовича «**Физико-химические основы комплексной переработки габбро-базальтового сырья**» представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия (химические науки).

Фамилия Имя Отчество	Чекмарев Александр Михайлович
Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов
Ученая степень и отрасль науки	доктор химических наук, химия и технология редких и радиоактивных элементов, гидрометаллургия, сольвометаллургия, экстрактивная металлургия
Ученое звание	Профессор, член-корр РАН
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
Занимаемая должность	Профессор РХТУ им. Д.И.Менделеева
Почтовый индекс, адрес	125047, г. Москва, Миусская площадь, д.9
Телефон	Телефон/факс: +7 (499) 978-86-57
Адрес электронной почты	chekmarv@rctu.ru
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных журналах за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<p>1. Физико-химические основы получения карбонатных растворов <math>u(vi)</math> для экстракционной переработки в карбэк-процессе. Чекмарев А.М., Бояринцев А.В., Степанов С.И., Цивадзе А.Ю. Радиохимия. 2017. Т. 59. № 4. С. 301-305.</p> <p>2. Экстракция скандия из сернокислых растворов смесями <math>d2эгфк</math> и сульфата <math>mtaa</math> в толуоле. Степанов С.И., Хейн П., Бояринцев А.В., Гиганов В.Г., Маунг Маунг А., Чекмарев А.М. Химическая технология. 2016. № 10. С. 466-470.</p> <p>3. Исследование состояния урана <math>(vi)</math> в карбонатных и фторидно-карбонатных растворах методом производной электронной спектроскопии. Чехлов А.А., Бояринцев А.В., Степанов С.И., Чекмарев А.М. Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28. № 9 (158). С. 32-35.</p> <p>4. Красноуфимский монацит как сырье для</p>

	производства редкоземельных элементов и удобрений. Вальков А.В., Сергиевский В.В., Степанов С.И., Чекмарев А.М. Цветные металлы. 2012. № 3. С. 21-23.
--	---