

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН  
(ГЕОХИ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта (ИФЗ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН)

Петрофизическая комиссия Межведомственного  
Петрографического комитета при Отделении Наук о Земле РАН

**ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ**

Москва, 26 - 28 сентября, Борок, 30 сентября 2022 г.

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Москва  
2022

УДК 550.3:550.4:550.8:552:11  
ББК26.0  
Ф50

Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Двадцать третья международная конференция. Москва, 26 – 28 сентября, Борок, 30 сентября 2022 г. Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2022. – 328 с.

ISBN 978-5-88918-069-2 / ISSN 2686-8938

Представлены материалы докладов, оглашенных на заседаниях тематических секций:

Физико-химические свойства пород и расплавов при высоких давлениях и температурах;  
Современные методы экспериментальных исследований;  
Петрофизика и ее роль в интерпретации геофизических данных и поиске месторождений полезных ископаемых;  
Региональные геолого-геофизические, петрофизические и геоэкологические исследования, исследования в целях освоения Арктики;  
Петролого-геофизические подходы построения моделей состава и строения планетарных тел и космохимия;  
Петрофизические и геодинамические исследования в интересах экологии.

Материалы докладов опубликованы в авторской редакции.

ISBN 978-5-88918-069-2  
ISSN 2686-8938

© ИГЕМ РАН, 2022

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytic Chemistry of RAS  
Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS  
Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy  
and Geochemistry of RAS  
Petrophysical Commission of Petrographical Committee of RAS

THE TWENTY- THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE  
PHYSICAL-CHEMICAL AND PETROPHYSICAL RESEARCHES  
IN THE EARTH'S SCIENCES

Moscow, September 26 – 28, Borok, September 30, 2022

PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE

Moscow  
2022

УДК 550.3:550.4:550.8:552:11  
ББК26.0  
Ф50

Physical-chemical and petrophysical researches in the Earth's sciences.  
Twenty-third international conference. Moscow, September 26 - 28,  
Borok, September 30, 2022. Proceeding of the conference. M.: IGEM  
RAS, 2022. - 328 p.

ISBN 978-5-88918-069-2 / ISSN 2686-8938

The book contains the proceedings of the reports presented at the  
thematic sessions of the conference:

Physical-chemical properties of rocks and melts under high  
pressures and temperatures;  
Modern techniques of experimental studies;  
Petrophysics and its role in interpretation of geophysical data and  
prospecting of mineral deposits;  
Regional geological-geophysical, petrophysical and geoecological  
studies, research for the Arctic exploration;  
Petrological-geophysical approaches to modelling of the  
composition and structure of planetary objects and cosmochemistry;  
Petrophysical and geodynamic studies for ecology.

Proceedings of the reports are published in author's edition.

ISBN 978-5-88918-069-2  
ISSN 2686-8938

© ИГЕМ РАН, 2022

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ И ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

### *Председатели комитета*

Лебедев Евгений Борисович (ГЕОХИ РАН)  
Анисимов Сергей Васильевич (ГО Борок ИФЗ РАН)  
Баюк Ирина Олеговна (ИФЗ РАН)  
Жариков Андрей Виленович (ИГЕМ РАН)  
Персиков Эдуард Сергеевич (ИЭМ РАН)

### *Члены комитета*

Дмитриев Эльдар Михайлович (ГО Борок, ИФЗ РАН)  
Краснова Мария Александровна (ИФЗ РАН)  
Кронрод Виктор Александрович (ГЕОХИ РАН)  
Кронрод Екатерина Викторовна (ГЕОХИ РАН)  
Кусков Олег Львович (ГЕОХИ РАН)  
Ладыгин Владимир Михайлович (МГУ)  
Лобанов Константин Валентинович (ИГЕМ РАН)  
Минаев Василий Александрович (ИГЕМ РАН)  
Михайлова Алла Владимировна (ГЕОХИ РАН)  
Редькин Александр Федорович (ИЭМ РАН)  
Чижова Ирина Александровна (ИГЕМ РАН)  
Цельмович Владимир Анатольевич (ГО Борок, ИФЗ РАН)

### *Консультативный комитет*

Горбачевич Феликс Феликсович (ГИ КФ РАН)  
Литвин Юрий Андреевич (ИЭМ РАН)  
Павленкова Нинель Ивановна (ИФЗ РАН)  
Пэк Александр Арнольдович (ИГЕМ РАН)  
Керн Хартмут (Кильский университет, Германия)

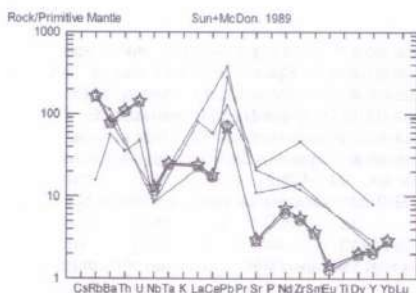


Рис 1. Многокомпонентная диаграмма Сана и МакДоналда – нормировано к примитивной мантии (spider-diagram of Sun and McDonald, 1989, normalized to primitive mantle) для стекол расплавных включений в кварце вулкана Базман (звезда – среднее для 5 стекол, кружок – одиночное стекло с минимальным содержанием воды – 4,00 мас.%) и вмещающих пород (точки, 3 кривые, обр. R-82 - риолит и R-75 - дацит).

ON A TECTONIC-MAGMATIC PECULIARITIES OF SOME STRUCTURES IN IRAN AND LESSER CAUCASUS (MIDDLE EAST) AND SOME PROBLEMS OF THEIR ORE-FORMING PROCESSES

<sup>1</sup>Romanko A.E., <sup>2</sup>Imamverdiyev N.A., <sup>3</sup>Vikentev I.V., <sup>1</sup>Dubensky A.S., <sup>1</sup>Ermolaev B.V., <sup>4</sup>Rashidi B., <sup>5</sup>Heidari M., <sup>1</sup>Kiselev A.A., <sup>1</sup>Savichev A.T., <sup>1</sup>Poleshchuk A.V.

- <sup>1</sup>Geological Institute (GIN) RAS, Moscow, a-romanko@ya.ru;  
<sup>2</sup>Baku State University (BSU), Baku, Azerbaijan; inazim17@yahoo.com;  
<sup>3</sup>Institute of geology of ore deposits (IGEM) RAS, Moscow;  
<sup>4</sup>Satrap Resources, Perth, Australia, bahman\_rashidi@hotmail.com;  
<sup>5</sup>Pars Kari Co., Tehran, Iran; mehrdad.hei@gmail.com

We present materials on Cenozoic (KZ) and older magmatism and mineralization in some structures of E. Iran L. Caucasus, Middle East. First acid melt inclusions in E. Iran (led by Prokofev V.), also in L. Caucasus (led by Imamverdiyev N.) are important for fluid regime etc. Regional economic Cu-Au (Mo+Re) porphyry (PCD) mineralization deals with enriched mantle due to lithosphere delamination during collision. U-mantle fluids influence on oil-gas (OG or hydroCarbons - HC) activity.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ SiO<sub>2</sub>-MgO-FeO И ПРИРОДНОГО ФЕРРОБАЗАЛЬТА ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ  
**Русак А.А., Луканин О.А.**

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, Москва, rusak@geokhi.ru; lukanin@geokhi.ru

Целью исследования являлось проанализировать процессы кристаллизации и дифференциации магматических расплавов, образующихся на ранних этапах формирования Земли при глобальном плавлении планетного вещества в присутствии летучих компонентов и восстановительных условиях, когда в равновесии с силикатными расплавом и кристаллами образуется металлическая фаза железа. Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи: постановка экспериментов в модельной системе SiO<sub>2</sub>-MgO-FeO-C-H [McDonough, 2017] при T=1500 и 1600°C и P=2,5-3,5 ГПа и с природным ферробазальтом [Кадик и др., 2017] при T=1500°C и P=4 ГПа; построение трехкомпонентной диаграммы выделения металлической фазы железа при восстановительных условиях.

Эксперименты проводились на твердофазовой установке типа «наковальня с лункой» с тороидальным уплотнением НЛ-13Т в течение 40 минут (система SiO<sub>2</sub>-MgO-FeO-C-H) и 1 часа (природный ферробазальт) в ГЕОХИ РАН. Продукты опытов исследовались на микроанализаторе Cameca SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и энерго-дисперсионной приставкой Bruker XFlash 6 и на аналитическом сканирующем электронном микроскопе Tescan MIRA 3 в ГЕОХИ РАН. Полученные фазы в хорошо воспроизводимых опытах характеризовались структурно-текстурной и химической однородностью, что говорит о достижении равновесия в проведенных опытах.

В экспериментах системы SiO<sub>2</sub>-MgO-FeO-C-H получены стекла, содержащие оксид кальция, при T = 1600°C и P = 2,5-3 ГПа кристаллизуется фаза кальциевого пироксена по краям образца и графит, в виде вкрапленников, центральная зона представлена стеклом и кристаллами кварца (β-кварц), при T = 1500°C и P = 3 ГПа структура стекла становится однородной и пористой с крупными вкрапленниками графита. При температурах от 1500°C CaO активно мигрирует в образец из тороида, который состоит из прессованного карбоната кальция. Металлическая фаза отсутствует, летучесть кислорода контролировалась буфером CCO (C-CO-CO<sub>2</sub>). Данный результат является случаем кристаллизации в области нестабильности металлической фазы.

В экспериментах с природным ферробазальтом кристаллизовались следующие фазы: закаленный расплав основного состава, гранат, амфибол, клинопироксен, рутил (?) и кварц (козсит). При температуре 1500°C и давлении 4 ГПа

образуются зональные гранаты, которые можно разделить на две группы: на высоко- и на низко железо-титанистые. Графит кристаллизуется между скелетными закалочными кристаллами клинопироксена. Металлическая фаза отсутствует.

Была построена ликвидусная поверхность тройной диаграммы плавокости для системы  $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO}$ , на которой показана область возможного выделения металлической фазы железа при восстановительных условиях. Точки экспериментальных составов расплавов системы  $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO-C-H}$  попадают в область расплава, кристаллов оливина и металлической фазы  $\text{Fe}^0$ . Показано, что при увеличении давления происходило изменение состава расплава в область андезитового состава. Экспериментальный состав расплава, отвечающий природному ферробазальту, находится в равновесии с расплавом и кристаллами кварца. На тройной диаграмме  $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO}$  можно увидеть закономерность изменения летучести кислорода и концентрации оксида железа в расплаве, чем выше летучесть кислорода, тем больше в расплаве находится  $\text{FeO}$ , и наоборот, чем ниже летучесть кислорода, тем лучше железо образует отдельную металлическую фазу, и тем меньше  $\text{FeO}$  в расплаве.

Работа выполнена при поддержке государственного задания ГЕОХИ РАН.

#### Литература

1. Кадик А.А., Куровская Н.А., Луканин О.А., Игнатьев Ю.А., Колташев В.В., Крюкова Е.Б., Плотниченко В.Г., Кононкова Н.Н. Формирование N-C-O-H молекул и комплексов в расплавах базальт-андезитобазальтового состава при 1,5 ГПа и 1400°C в присутствии жидких сплавов железа // Геохимия. 2017. № 2. С. 115-126.
2. McDonough W.F. Earth's core // Springer International Publishing, AG (2017). W.M. White (ed.), Encyclopedia of Geochemistry, p. 1-13.

#### EXPERIMENTAL STUDY OF SILICATE MELTS OF THE $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO}$ MODEL SYSTEM AND NATURAL FERROBASALTS AT HIGH PRESSURES AND TEMPERATURES

Rusak A.A., Lukanin O.A.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry (GEOKHI) RAS, Moscow, [rusak@geokhi.ru](mailto:rusak@geokhi.ru); [lukanin@geokhi.ru](mailto:lukanin@geokhi.ru)

In the experiments of the  $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO-C-H}$  model system and natural ferrobasalt the metallic phase of iron is not formed. The volatility of oxygen was controlled by the CCO buffer (C-CO-CO<sub>2</sub>). The points of the experimental compositions of the  $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO-C-H}$  system melts fall into the region of the melt, olivine crystals and the Fe metal phase. The experimental composition of the melt corresponding to natural ferrobasalt is in equilibrium with the melt and quartz crystals. It is shown that with an increase in pressure, the composition of the melt changed in the region of saturation of the system with silica, i.e. in the area of andesite composition.

#### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ДВУМЯ НЕСМЕШИВАЮЩИМИСЯ РАСПЛАВАМИ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Rusak A.A.,<sup>1</sup> Шекина Т.И.,<sup>2</sup> Зиновьева Н.Г.,<sup>3</sup> Алферьева Я.О.,<sup>3</sup> Хвостиков В.А.

<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, [aleks7975@yandex.ru](mailto:aleks7975@yandex.ru), [rusak@geokhi.ru](mailto:rusak@geokhi.ru);

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), [t-shchekina@mail.ru](mailto:t-shchekina@mail.ru);

<sup>3</sup>Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (ИПТМ) РАН

Проведены эксперименты в модельной гранитной системе  $\text{Si-Al-Na-K-Li-F-O-H}$  с предельными содержаниями фтора и воды при температуре 800-400°C и давлении 1 кбар. Цель работы состояла в исследовании фазовых отношений и распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) между силикатным и алюмофторидным солевым расплавами при понижении температуры от 800 до 400°C. В работе решались следующие задачи: 1) изучить распределение РЗЭ между фазами и расплавом; 2) изучить поведение РЗЭ при понижении температуры в равновесных условиях.

Эксперименты проводились на установке высокого газового давления с внутренним нагревом при температуре 400-800°C и давлении 1 кбар в ИЭМ РАН. Опыты при температуре 400-600°C проводились по принципу: подход к равновесию «сверху». Сначала образцы нагревались до 800°C и давлении 1 кбар, выдерживались 3 дня, потом в течение 8 часов охлаждались до 400, 500, 600°C, выдерживались ещё 3 дня и закаливались. Скорость закалки составляла 150-200°C в минуту. Стартовый состав образцов А-40/11 отвечал алюмосиликатному расплаву, близкому к гранитной эвтектике, и солевому расплаву, отвечающему по стехиометрии Na,K,Li-криолиту в количестве, достаточном для выделения алюмофторидной фазы. Содержание воды варьировало от 0 до 50 мас. %. Преимущественно в расплав входило не больше 10 мас.% воды, вся остальная вода находилась в виде свободной флюидной фазы, которая практически не накапливала РЗЭ. В приготовлении исходной шихты использовались: высушенный гель  $\text{SiO}_2$ , NaF, LiF,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ . В состав системы вводился весь ряд РЗЭ от La до Lu, а также Y и Sc в виде окислов, кроме Pm, в количестве 0,5-2 мас.% элемента.

Продукты экспериментов изучали методами электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа в лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии и вулканологии Геологического факультета МГУ. Анализы главных петрогенных элементов проводили на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV (Япония) с энерго-дисперсионным Oxford X-Max<sup>N</sup> и кристалл-дифракционным INCA Wave-500 (Oxford Instrument Ltd, Великобритания) спектрометрами. РЗЭ, иттрий и