

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 РАН (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 ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ**

Москва, 27 - 29 сентября, Борок, 1 октября 2021 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Москва
2021

СОДЕРЖАНИЕ

Агеева О.А., Пилипенко О.В., Хаблер Г., Абарт Р. АНИЗОТРОПИЯ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ПЛАГИОКЛАЗЕ ОКЕАНИЧЕСКОГО ГАББРО	18
Баренбаум А.А. АНАЛИЗ ПРИЧИН ОЛЕДЕНЕНИЙ И $\delta^{13}\text{C}$ АНОМАЛИЙ КАРБОНАТОВ В НЕОПРОТЕРОЗОЕ НА ОСНОВЕ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	22
Белобородов Д.Е., Краснова М.А., Афиногенова Н.А., Матвеев М.А., Егоров Н.А. ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ СОПОЧНОЙ БРЕКЧИИ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ДЖАУ-ТЕПЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ТЕРМАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА	27
Березина И.А., Патонин А.В. УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И МИКРОСТРУКТУРОЙ ДЛЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД	32
Борисов А.А. РАСТВОРИМОСТЬ РОДИЯ В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ	36
Борисов М.В., Бычков Д.А., Шваров Ю.В. РАВНОВЕСНО- ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РУДООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЗЭ В ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЖИЛАХ	39
Бурмистров А.А., Самсонов А.А. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИХ ТВЕРДОСТИ ПО ШОРУ	43
Веттегрень В.И., Пономарев А.В., Мамалимов Р.И., Щербаков И.П. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ «ПЕРВИЧНЫХ» ТРЕЩИН ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦА	46
Викторов С.Д., Головин Ю.И., Тюрин А.И., Кочанов А.Н. МИКРО- И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН И ИХ ГРАНИЦ	50
Воропаев С.А., Душенко Н.В., Федулов В.С., Наймушин С.Г. ИЗУЧЕНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЛЕТУЧИХ НА ПРИМЕРЕ ХОНДРИТА АВА РАНУ (L3)	54
Гарагаш И.А. МЕХАНИЗМ СВЯЗАННОСТИ НОРМАЛЬНЫХ И КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	57
Глазнев В.Н., Муравина О.М., Минц М.В., Чернышова Д.М. ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ ПОРОД ФУНДАМЕНТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО КРАТОНА	62
Глазовская Л.И. УСЛОВИЯ ПЛАВЛЕНИЯ ЦИРКОНА В ИМПАКТНОМ ПРОЦЕССЕ	66

Горбачев Н.С., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Некрасов А.Н., Султанов Д.М.	70
ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ БАЗАЛЬТ-Fe-S-C ПРИ P=3 ГПА, T=1400°C	
Григорян Я.С., Баюк И.О.	74
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ПЕТРОУПРУГОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Гусев А.В., Хасанов Р.Р., Мен Чжиго, Пин Цзиньсонг	77
ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ НА ЛУНЕ: РЕГОЛИТ, ЛЕТУЧИЕ, РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И АНАЛИЗ ИХ ЗЕМНЫХ АНАЛОГОВ	
Данилова В.Н., Ермаков В.В., Гуляева У.А., Голубев Ф.В.	81
АКТИВНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ФЕРМЕНТОВ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ РАЙОНОВ КАК БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР	
Дарьин А.В.	85
ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЧАСТИЦ В ДАТИРОВАННЫХ СЛОЯХ ДОННЫХ ОСАДКОВ МЕТОДОМ РФА-СИ	
Дегтярев А.П.	87
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОТОКОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Pb, Zn, Cu, Cd) В САДОНСКОМ ГОРНО-РУДНОМ ПОСЛЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ РУДОДОБЫЧИ	
Ермаков В.А., Ермаков А.В.	91
ДВА РАЗНЫХ ЦИРКОНА В ОДНОМ ЭКСТРУЗИВНОМ КУПОЛЕ НА КАМЧАТКЕ	
Жаркова Е.В., Луканин О.А.	95
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА МИНЕРАЛОВ ШПИНЕЛЕВЫХ ЛЕРЦОЛИТОВ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ БАЗАЛЬТОИДОВ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ	
Жуков В.С.	102
ПАСПОРТ ПРОЧНОСТИ КОЛЛЕКТОРА ЛЕНИНГРАДСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	
Жуков В.С., Кузьмин Ю.О., Тихоцкий С.А., Егоров Н.А., Фокин И.В.	106
ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕЩИННОЙ ПОРИСТОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД	
Ильченко В.Л.	110
СООТНОШЕНИЕ ДЛИН КОНЕЧНЫХ МОД ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ РУДОНОСНЫХ КСЕНОЛИТОВ И ИХ ВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОИСКОВЫЙ ПРИЗНАК	
Ипатов С.И.	114
МИГРАЦИЯ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ В ЭКЗОПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЕ ТРАППИСТ И В ЗОНЕ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ	
Корчин В.А.	118
УПРУГИЕ МОДУЛИ ПОРОД И ИХ ИНФОРМАТИВНОСТЬ С ГЛУБИНОЙ СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОН ЗАКАРПАТЬЯ	
Костюк А.В., Горбачев Н.С., Некрасов А.Н., Султанов Д.М.	121
ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ БАЗАЛЬТ-ПЕРИДОТИТ-H ₂ O ПРИ P=3.7 ГПА, T=1000-1150°C	
Краснова М.А., Белобородов Д.Е., Пономарев А.В.	125

ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ БАЗАЛЬТ–Fe–S–C ПРИ P=3 ГПА, T=1400°C

Горбачев Н.С., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Некрасов А.Н., Султанов Д.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экспериментальной минералогии им. академика
Д.С. Коржинского (ИЭМ) РАН, gor@iem.ac.ru, nastya@iem.ac.ru

Плавление и фазовые соотношения в системе базальт-Fe-S-C-халькофильные и сидерофильные элементы представляют интерес в связи с проблемами ранней дифференциации космических тел, фазового и химического состава метеоритов и магматических железо-сульфидных месторождений. Этот интерес обусловлен тем, что при контаминации сульфидного расплава углеродом наблюдается расслоение сульфидного расплава на Fe-металлическую и Fe-сульфидную жидкости, несмешиваемые с силикатными (Горбачев, Осадчий, 1980; Gorbachev, 1990, Маракушев и др., 1995; Dasgupta et al., 2009; Hayden et al., 2011; Vuono et al., 2011). Учитывая различную феррофильность и халькофильность элементов можно ожидать их фракционирования в результате перераспределения между расплавами, смещая тем самым первичные геохимические и изотопные соотношения. Фазовые соотношения и геохимия процессов несмешиваемости в системе базальт-Fe-S-C все еще недостаточно изучены. Ниже рассмотрены некоторые особенности фазовых соотношений в системе базальт-Fe-S-C при P-T верхней мантии при 3 ГПа, 1400°C.

Эксперименты проводились в ИЭМ РАН на установке НЛ-40 (Литвин, 1991) по многоампульной закалочной методике. Исходная навеска состояла из тонких порошков силикатного стекла магнезиального базальта (Si) и рудной компоненты (OC) состоящей из смеси пирротина, металлического Fe и углерода в виде реактива «сажа». Использовалась методика «сэндвича», исходные Si и OC компоненты послойно, в последовательности OC-Si-OC загружались в графитовую ампулу. Для выяснения поведения HSE элементов в навеску добавляли Re, Os, Pt. Графитовая ампула помещалась в Pt ампулу, которая герметически заваривалась. Полированные препараты закалочных образцов изучались и анализировались на электронном сканирующем микроскопе с детектором вторичных и отраженных электронов и энерго-дисперсионным спектрометром в ИЭМ РАН и методом ICP-MS с лазерным пробоотбором в ИГЕМ РАН.

Закаленный образец состоял из силикатной (рис. 1а) и рудной (рис. 1б) фракций.

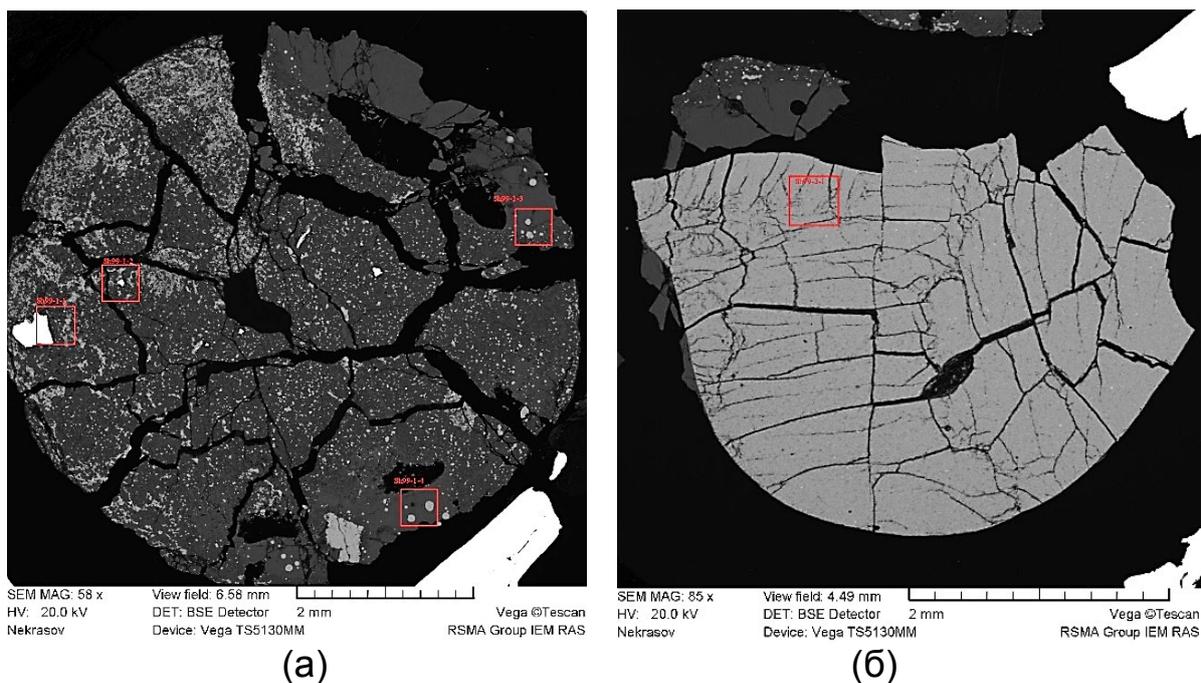


Рис. 1. BSE микрофотографии закаленного образца. Общий вид силикатной (а) и рудной (б) фракций закаленного образца.

В силикатной фракции матрица представлена стеклом высокожелезистого (18-19 мас%) базальта с включениями сульфидной фазы пирротинового состава, содержащей микровключения Fe-металлических глобуль. В матрице и в сульфидах встречаются микронного размера реликты исходного рения (Re), а также пластины осмия (Os) размером более 100 мкм, обрастающие на контакте микроглобулями реакционного Re и Fe-металлической каймой.

Re фаза содержит 89-90 мас.% Re, 5-6 мас.% Os, до 5 мас.% Fe. Пластины Os фазы содержат более 99 мас % Os, меньше 1 мас. % микропримесей. Встречаются отдельные участки высокожелезистого (19 – 22 мас%) базальтового стекла с включениями сульфидных глобуль, окруженных реакционным ореолом. Состав сульфида отвечает пирротину, содержание микропримесей – Ni, Cu, Re, Os, Pt не превышает первых десятых долей мас. %.

В рудной фракции матрица пирротинового состава содержит большое количество микровключений (до 5 мкм) различного состава. Наиболее распространены включения Fe-металлических глобуль в виде изолированных выделений, скоплений, цепочек с переменным содержанием Fe, Ni, Pt, Re. Высоко-железистые капли (> 90 мас % Fe) содержат до 1,8 мас. % Ni, <1 мас. % Pt и Re. Низко-железистые (< 90 мас.% Fe) капли обеднены Ni (< 0,5 мас.%), обогащены Pt до 13,6 мас.%, Re до 6 мас.%. Заниженные суммы

микронзондовых анализов Fe-металлических глобуль свидетельствуют о растворимости в них до 4 мас.% углерода.

Изолированные включения Fe-Re фазы, образованные по реликтам исходного Re, содержат > 29 мас.% Re, характеризуются повышенными содержаниями Pt – до 3,6 мас.%, Ni – до 1,6 мас.%.

Таким образом, особенности структуры и фазовых соотношений закаленного образца свидетельствуют, как было рассмотрено в работе (Горбачев и др., 2021), о возможности протекания в процессе формирования магматических сульфидных месторождений в углеродсодержащей обстановке процессов образования и фракционирования сульфидно-силикатного расплава, общепринятого механизма формирования магматических сульфидных месторождений, металл-сульфидного расслоения сульфидного расплава, высокой экстрагирующей способности Fe-S расплавы в отношении Pt и Re. Обнаружено различное поведение металлических рения и осмия в металл-сульфидно-силикатных системах. Рений легко обменивается элементами с сосуществующими фазами, осмий закрыт для привноса в структуру других элементов, в тоже время растворяется в расплавах системы базальт-Fe-S-C.

Работа выполнена в ИЭМ РАН по теме НИР АААА-А18-118020590140 и при поддержке гранта РФФИ № 21-17-00119.

Литература

1. Горбачев Н.С., Осадчий Е.Г. Несмесимость в силикатных расплавах как фактор ранней дифференциации метеоритов и планет // ДАН СССР, 1980, Т. 255, №3, с. 693-697
2. Горбачев Н.С., Шаповалов Ю.Б., Костюк А.В., Горбачев П.Н., Некрасов А.Н., Султанов Д.М. Фазовые соотношения в системе Fe-S-C при P=0,5 ГПа, T=1100-1250°C: расслоение Fe-S-C расплава и его роль в формировании магматических сульфидных месторождений // Доклады Академии наук, 2021, Т. 497, №1, стр. 23-29
3. Литвин Ю.А. Физико-химические исследования плавления глубинного вещества Земли. М.: Наука. 1991. 312 с.
4. Маракушев А.А. Экспериментальное исследование процессов образования хондритов // ДАН. 1995. т 345, №6, с. 797-801.
5. Buono A.S., R. Dasgupta, Cin-Ty A. Lee, D. Walker. Siderophile element partitioning between cohenite and liquid in the Fe-Ni-S-C system and implications for geochemistry of planetary cores and mantles // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013. 120, 239–250
6. Dasgupta R., A. Buono, G. Whelan, D. Walker. High-pressure melting relations in Fe-C-S systems: Implications for formation, evolution,

and structure of metallic cores in planetary bodies // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2009. V.73, P. 6678–6691

7. Gorbachev N.S. Fluid-magma interaction in sulfide-silicate systems. *Internat. Geology Rev.*, 1990. V.32. N.8.P. 749-831
8. Hayden L.A., James A. Van Orman , William F. McDonough, Richard D. Ash , Cyrena A. Goodrich. Trace element partitioning in the Fe–S–C system and its implications for planetary differentiation and the thermal history of ureilites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2011. 75, 6570–6583

PHASE RELATIONS AND DISTRIBUTION OF ELEMENTS IN THE BASALT–FE–S–C SYSTEM AT P=3 GPA, T=1400°C

**Gorbachev N.S., Kostyuk A.V., Gorbachev P.N., Nekrasov A.N.,
Sultanov D.M.**

D.S. Korzhinskii Institute of Experimental Mineralogy (IEM) RAS,
gor@iem.ac.ru, nastya@iem.ac.ru

The phase relationships and the chemical composition of the silicate and ore fractions of the basalt-Fe–S–C system were studied at P=3 GPa, T=1400°C. The chemical compositions of the coexisting phases - silicate glass, sulfide and Fe-metallic phases, relics of rhenium and osmium - have been determined. Features of the structure and phase relationships indicate the possibility of metal-sulfide layering of the sulfide melt during carbon contamination, the formation and fractionation of sulfide-silicate melt during the formation of magmatic sulfide deposits.