

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)

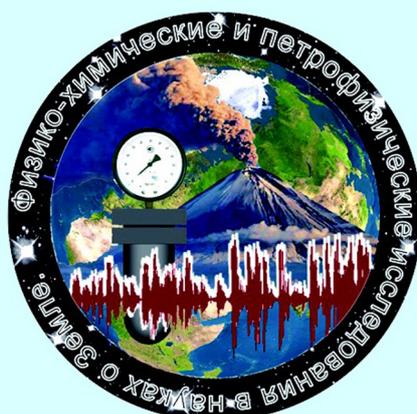
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН)

Петрофизическая комиссия Межведомственного
Петрографического комитета при Отделении Наук о Земле РАН

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

Москва, 25 - 27 сентября, Борок, 29 сентября 2023 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ



2023

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

Москва, 25 – 27 сентября, Борок, 29 сентября 2023 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Москва
2023

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

Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Двадцать четвертая международная конференция. Москва, 25 – 27 сентября, Борок, 29 сентября 2023 г. Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2023. – 344 с.

ISBN 978-5-88918-072-2 / 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 978-5-88918-072-2
ISSN 2686-8938

© ИГЕМ РАН, 2023

ХЛОР В МАЛОВОДНЫХ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ФЛЮИДАХ – РАСТВОРИТЕЛЬ ДЛЯ ЭПГ ИЛИ СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАЛОСУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ?

¹Симакин А.Г., ¹Шапошникова О.Ю., ¹Девятова В.Н.,
^{1,2}Тютюнник О.Д., ³Исаенко С.И.

¹Институт Экспериментальной Минералогии РАН (ИЭМ РАН),
Черноголовка, simakin@iem.ac.ru

²ГЕОХИ РАН, Москва

³Институт Геологии РАН (ИГ УрО РАН), Сыктывкар

Многие исследователи считают, что малосульфидные месторождения, ассоциированные с ультрабазит-базитовыми интрузиями, образовались в позднемагматическую - раннюю постмагматическую стадии с участием флюида. Большое значение придается хлору, который входит в состав амфибола, слюд и других акцессорных минералов. Действительно, ЭПГ и золото хорошо растворяются в рассолах при высокой летучести кислорода [Sullivan et al., 2022]. Причем растворимость Au и Pd на порядки выше, чем платины. Однако, летучесть кислорода при формировании малосульфидных месторождений была низкой между буферами QFM и CCO. При низкой летучести кислорода платина имеет высокую растворимость в маловодном флюиде CO-CO₂-H₂O в виде карбонила [Simakin et al., 2021].

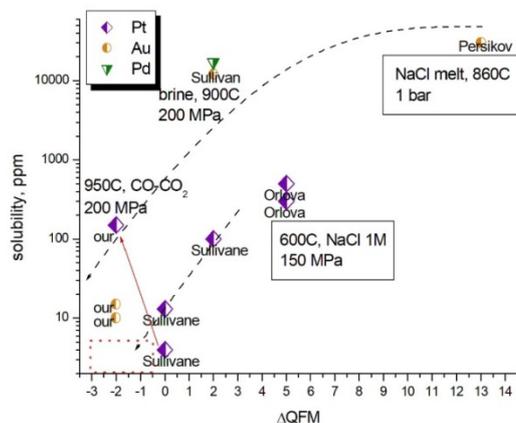


Рис.1. Растворимость Pt, Pd и Au в зависимости от летучести кислорода.

Экспериментальными методами и термодинамическими расчетами мы изучаем, как влияет хлор на растворимость ЭПГ в маловодных восстановленных флюидах. В абсолютно сухой системе могут существовать флюиды с высокой fCl_2 и низкой fO_2 . При достаточно высокой летучести хлора достигается устойчивость хлоридов ЭПГ. В этом случае возможно образование летучих хлоридно-

карбонильных комплексов, которые известны и устойчивы для Pt ($\text{PtCl}_2(\text{CO})_2$), Pd, Au ($\text{AuCl}(\text{CO})$). В маловодной части системы C-O-H-Cl [Mathez et al., 1989] предсказали содержания Cl_2 , COCl_2 не менее нескольких мольных % ($P=300$ МПа), которые замещаются HCl с ростом содержания воды. При фугитивности хлора более 1 бар по [Mathez et al., 1989] устойчивы хлориды платины и палладия. Это чрезвычайно высокая фугитивность, согласно современным данным [Thomas R.W. and Wood, 2021] при $f\text{Cl}_2 > 10^{-7}-10^{-8}$ (буфер Ag-AgCl) происходит ликвация хлоридов в базальтовом расплаве.

Согласно нашим термодинамическим расчетам буфер $\text{FeCl}_2\text{-FeCl}_3$ (FFC) задает летучесть хлора в зависимости от $f\text{O}_2$ (NNO и CCO) на 2.4 и 4.6 лог. ед. ниже границы устойчивости PtCl_2 , соответственно. Согласно термодинамическим расчетам этот уровень $f\text{Cl}_2$ может быть достигнут с учетом реакции воды с хлором: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HCl} + 1/2\text{O}_2$. При содержании воды в исходном флюиде CO-CO₂-H₂O не выше 10 мол.% ее концентрация в результате этой реакции падает на несколько порядков, что обеспечивает $f\text{Cl}_2$, отвечающую буферу FFC.

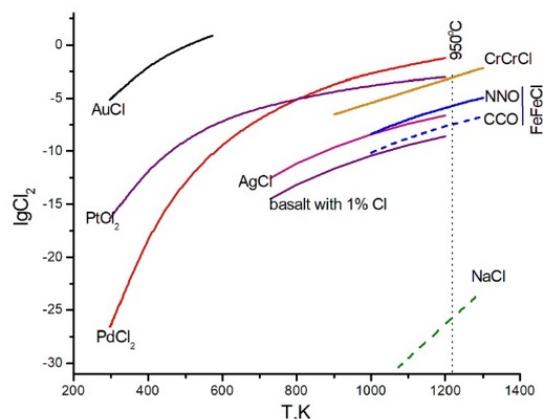


Рис.2. Рассчитанные летучести хлора в различных равновесных парах Me-MeCl_n , $\text{MeCl}_2\text{-MeCl}_3$ в зависимости от температуры.

Проведены эксперименты с флюидом CO-CO₂-(H₂O) + NaCl при $P=200$ МПа, $T=950^\circ\text{C}$. При низкой летучести кислорода NaCl инертен по отношению к благородным металлам. Для перевода хлора в активную форму использованы магнетит (как продукт разложения сидерита при генерации флюида, а также как самостоятельная фаза при использовании MgC_2O_4) и хромшпинель. Продукты химической реакции шпинели и NaCl (FeCl_3 , FeCl_2 , NaHCO_3) идентифицированы методом Рамановской спектроскопии. Предварительные данные свидетельствуют о том, что растворимость платины незначительно возросла при переходе от безхлорной системы CO₂-CO (H₂O) к хлорсодержащей с 150 ± 30 ppm до 230 ± 60 ppm. Наличие хлора

оказало большое влияние на содержание во флюиде железа и хрома. Отмечена сокристаллизация из флюида хроммагнетита вместе с платиной. Интерметаллиды платины приближаются по составу к Pt_2Fe вместо Pt_3Fe , кристаллизующегося из безхлорного флюида.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00252.

Литература

1. Mathez E.A., Dietrich V.J., Holloway J.R. et al. Carbon Distribution in the Stillwater Complex and Evolution of Vapor During Crystallization of Stillwater and Bushveld Magmas // *Journal Petrology*. 1989. V 30(1), P. 153-173.
2. Simak A., Salova T., Borisova A.Y. et al. Experimental Study of Pt Solubility in the CO-CO₂ Fluid at Low fO_2 and Subsolvus Conditions of the Ultramafic-Mafic Intrusions // *Minerals*. 2021. P#11.225.
3. Sullivan N.A., Zajacz Z., Brenan J.M. et al. The solubility of platinum in magmatic brines: Insights into the mobility of PGE in ore-forming environments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2022. V. 316. P. 253–272.
4. Thomas R.W. and Wood B.J. The chemical behaviour of chlorine in silicate melts // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2021.V. 294. P. 28-42.

IS CHLORINE IN WATER POOR REDUCED FLUIDS A SOLVENT FOR PGE OR FOR ASSOCIATED ELEMENTS IN LOW SULFIDE DEPOSITS?

¹Simakin A.G., ¹Shaposhnikova O.Yu., ¹Devyatova V.N.,

^{1,2}Tyutyunnik O.D., ³Isaenko S.I.

¹Institute of Experimental Mineralogy RAS (IEM RAS), Chernogolovka

²GEOCHI RAS, Moscow, simakin@iem.ac.ru

³Institute of Geology RAS (IG URB RAS), Syktyvkar

Results of experiments and thermodynamic calculations aimed at studying the complex interactions of spinels and low water fluid of the composition CO-CO₂-(H₂O)-NaCl at P=200 MPa and T=950°C are presented. At low oxygen fugacity, high fCl_2 values can stabilize PGE chlorides otherwise present in the native form. Under PT and fO_2 conditions of late magmatic cumulates of ultramafic-mafic intrusions, Cl fugacity can be controlled by a FeCl₂-FeCl₃ (FFC) buffer. The reaction of Cl₂ with water at a low initial water contents ($X_{H_2O} \leq 0.1$) does not reduce fCl_2 below the FFC buffer at a reasonable fO_2 for mafic cumulates.