

«Память» минералов глубинного происхождения. Экспериментальное определение собственной летучести кислорода кристаллов

Е. В. Жаркова, А. А. Кадик, В. Г. Сенин

Институт геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН, Москва

kadik@geokhi.ru

Задача данной работы состоит в экспериментальном измерении собственной летучести кислорода минералов глубинного происхождения и проверке обладают ли кристаллы «памятью».

Ключевые слова: собственная летучесть кислорода минерала, «память», оливин, ортопироксен, шпинель

Ссылка: Жаркова, Е. В., А. А. Кадик, В. Г. Сенин (2012), «Память» минералов глубинного происхождения. Экспериментальное определение собственной летучести кислорода кристаллов, *Вестник ОНЗ РАН, 4*, NZ9001, doi:10.2205/2012NZ_ASEMPG

Задача данной работы состоит в экспериментальном измерении собственной летучести кислорода (intrinsic oxygen fugacity – fO_2) минералов глубинного происхождения и проверке обладают ли кристаллы «памятью».

Для экспериментов были выбраны кристаллы оливинов (Ol) из Индии, не содержащие включений, а так же кристаллы оливинов (Ol), ортопироксенов (Orx) и шпинелей (Spl) из ксенолитов шпинелевых лерцолитов щелочных базальтоидов вулкана Шаварын-Царам из Монголии.

Кристаллы Ol, Orx и Spl, собственная летучесть кислорода которых лежит в области буферного равновесия вюстит–магнетит (WM) были выдержаны в газовой атмосфере соответствующей значениям летучести кислорода буферов: QFM-2 \log ед. fO_2 , QFM-2 \log ед. fO_2 , никель–оксид никеля (Ni–NiO) и кварц–фаялит–магнетит (QFM) при температуре около 900–1100 °С в течение 8–25 часов. Затем была измерена fO_2 этих кристаллов. Эксперименты проводились на высокотемпературной установке на основе двух твердых электрохимических ячеек, которые изготовлены из окиси циркония и стабилизированы окисью иттрия, для придания электролиту кубической структуры. Температурный интервал измерений составлял от 750°С до 1100°С. Точность измерения составляла $\pm 0.2 \log fO_2$.

В результате экспериментов было определено, что собственная летучесть кислорода минералов стала соответствовать fO_2 твердофазовых буферов при которых ранее выдерживались образцы (таблицы 1–2).

Таблица 1. Значения коэффициентов «А» и «В» в эмпирической зависимости $\log fO_2 = A - B/T^\circ K$ для исследованных оливинов, ортопироксена и шпинели.

| Минерал | А | В | *r | *n |
|--|--------|-------|-------|----|
| Ol (Индия) | 9.034 | 28888 | 0.998 | 9 |
| Ol (Индия) при QFM-2 \log ед. fO_2 | 6.116 | 24412 | 0.093 | 8 |
| Ol (Индия) при QFM-3 \log ед. fO_2 | 6.789 | 26759 | 0.982 | 9 |
| ШЦ 3-1 Ol | 11.039 | 31435 | 0.992 | 11 |
| ШЦ 3-1 Ol при QFM | 8.326 | 24480 | 1 | 5 |
| ШЦ 3-1 Ol при Ni–NiO | 9.354 | 24920 | 1 | 7 |
| ШЦ 3-1 Orx | 13.421 | 33982 | 0.996 | 11 |
| ШЦ 3-1 Orx при QFM | 8.326 | 24480 | 1 | 9 |
| ШЦ 3-1 Spl | 12.468 | 32913 | 0.998 | 11 |
| ШЦ 3-1 Spl при QFM | 8.326 | 24380 | 1 | 8 |

*r – коэффициент корреляции, **n – количество экспериментальных точек.

ЖАРКОВА И ДР.: «ПАМЯТЬ» МИНЕРАЛОВ ГЛУБИННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Таким образом, в результате проведенных экспериментов показано, что кристаллы оливинов, ортопироксенов и шпинели несут в себе информацию об окислительно-восстановительных условиях, при которых они формировались, то есть они обладают «памятью» и закалка не влияет на «память» минералов.

Таблица 2. Значения величин $\log fO_2$ для исследованных оливинов, ортопироксена и шпинели при заданной температуре и атмосфере.

| Минерал | Температура, °C | $\log fO_2$ | Время выдержки |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|----------------|
| OI при QFM-2 $\log \text{ед.} fO_2$ | 1100 | -11.664 | 25 часов |
| OI при QFM-3 $\log \text{ед.} fO_2$ | 1100 | -12.7 | 16 часов |
| ШЦ 3-1 OI (Ni-NiO) | 900 | -11.890 | 17 часов |
| ШЦ 3-1 OI (QFM) | 900 | -12.541 | 8 часов |
| ШЦ 3-1 Орх (QFM) | 900 | -12.625 | 15 часов |
| ШЦ 3-1 Spl (QFM) | 1000 | -10.904 | 14–16 часов |
| QFM* | 900 | -12.55 | |
| QFM* | 1000 | -10.91 | |
| Ni-NiO** | 900 | -11.89 | |

* $\log fO_2$ (QFM) = $8.29 - 24441.9/T^\circ\text{K}$, ** $\log fO_2$ (Ni-NiO) = $9.36 - 24930/T^\circ\text{K}$

Таблица 3. Микронзондовый анализ оливинов (Индия) до и после экспериментов по определению «памяти» минералов

| Окисел | OI | | OI (QFM -2) | | OI (QFM -3) | |
|--------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | До опыта | После опыта | До опыта | После опыта | До опыта | После опыта |
| MgO | 50.51 | 50.34 | 49.83 | 49.8 | 50.48 | 49.59 |
| SiO ₂ | 40.82 | 40.59 | 40.92 | 41.41 | 40.87 | 41.22 |
| TiO ₂ | 0 | 0 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| V ₂ O ₅ | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0.08 |
| Cr ₂ O ₃ | 0 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0 |
| FeO | 8.38 | 8.68 | 8.84 | 8.68 | 8.48 | 8.46 |
| NiO | 0.45 | 0.16 | 0.45 | 0.57 | 0.48 | 0.44 |
| Сумма | 100.16 | 99.79 | 100.08 | 100.39 | 100.37 | 99.81 |

Таблица 3 а. Микронзондовый анализ исследованных образцов минералов (Шаварын Царам, ШЦ 3-1)

| Окисел | Оливин | | Ортопироксен | | Шпинель | |
|------------------------------------|----------|-------------|--------------|-------------|----------|-------------|
| | До опыта | После опыта | До опыта | После опыта | До опыта | После опыта |
| SiO ₂ | 41.01 | 41.2 | 54.55 | 55.61 | 0.051 | 0.028 |
| MgO | 49 | 48.15 | 31.85 | 30.73 | 21.014 | 21.578 |
| CaO | 0.06 | 0.04 | 0.89 | 0.9 | - | - |
| TiO ₂ | 0 | 0 | 0.16 | 0.19 | 0.15 | 0.127 |
| FeO+Fe ₂ O ₃ | 11 | 10.74 | 7.08 | 7 | - | - |
| FeO | - | - | - | - | 10.882 | 10.522 |
| MnO | 0.16 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 0.15 | 0.062 |
| Cr ₂ O ₃ | 0 | 0 | 0.3 | 0.35 | 7.202 | 6.675 |
| V ₂ O ₅ | 0 | 0.02 | - | - | 0.15 | 0.064 |
| NiO | 0.28 | 0.37 | - | - | 0.403 | 0.406 |
| Na ₂ O | - | - | 0.16 | 0.17 | - | - |
| Al ₂ O ₃ | | | 5.45 | 5.35 | 60.707 | 61.025 |
| Сумма | 101.51 | 100.63 | 100.54 | 100.45 | 100.709 | 100.487 |
| FM | 11.34 | 11.23 | 11.24 | 11.54 | - | - |
| Fo | 88.42 | 88.44 | - | - | - | - |
| Fa | 11.58 | 11.56 | - | - | - | - |
| Wo | - | - | 1.75 | 1.83 | - | - |
| En | - | - | 87.2 | 88.84 | - | - |
| Fs | - | - | 11.05 | 11.33 | - | - |

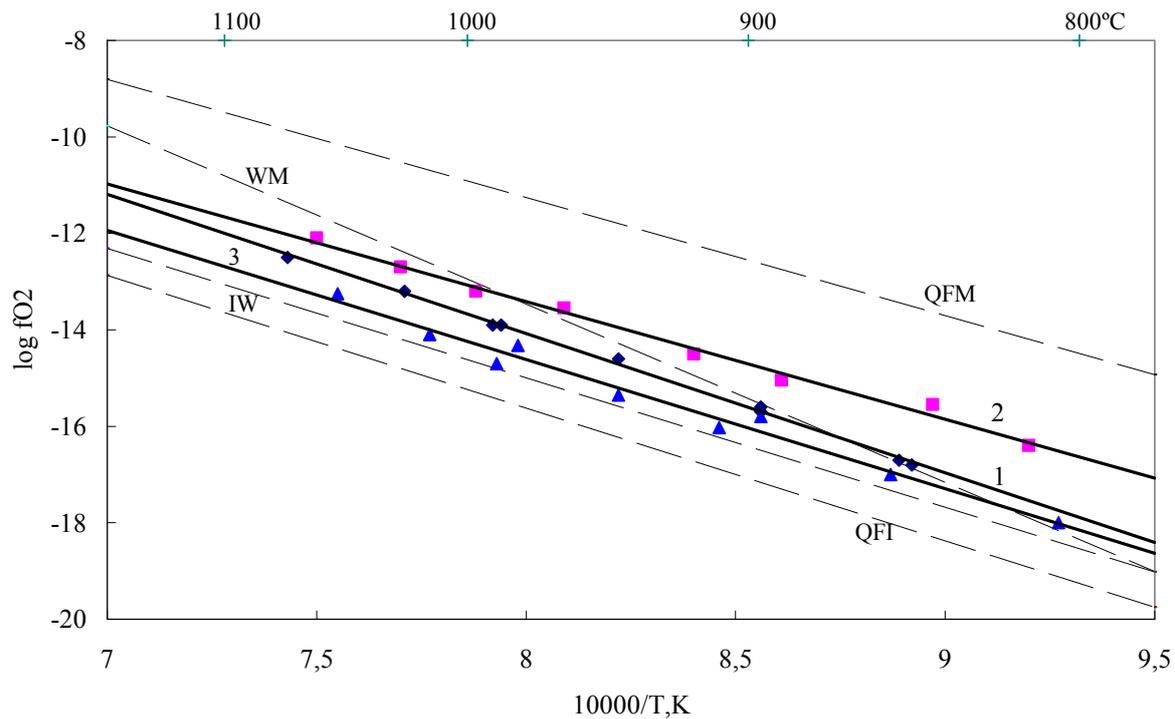


Рис. 1. Экспериментальное определение зависимости $\log fO_2 - 10^4/T^{\circ}K$ для оливина (1), (Индия). Проверка «памяти» кристаллов оливина при QFM-2 \log ед. fO_2 (2) и при QFM-3 \log ед. fO_2 (3).

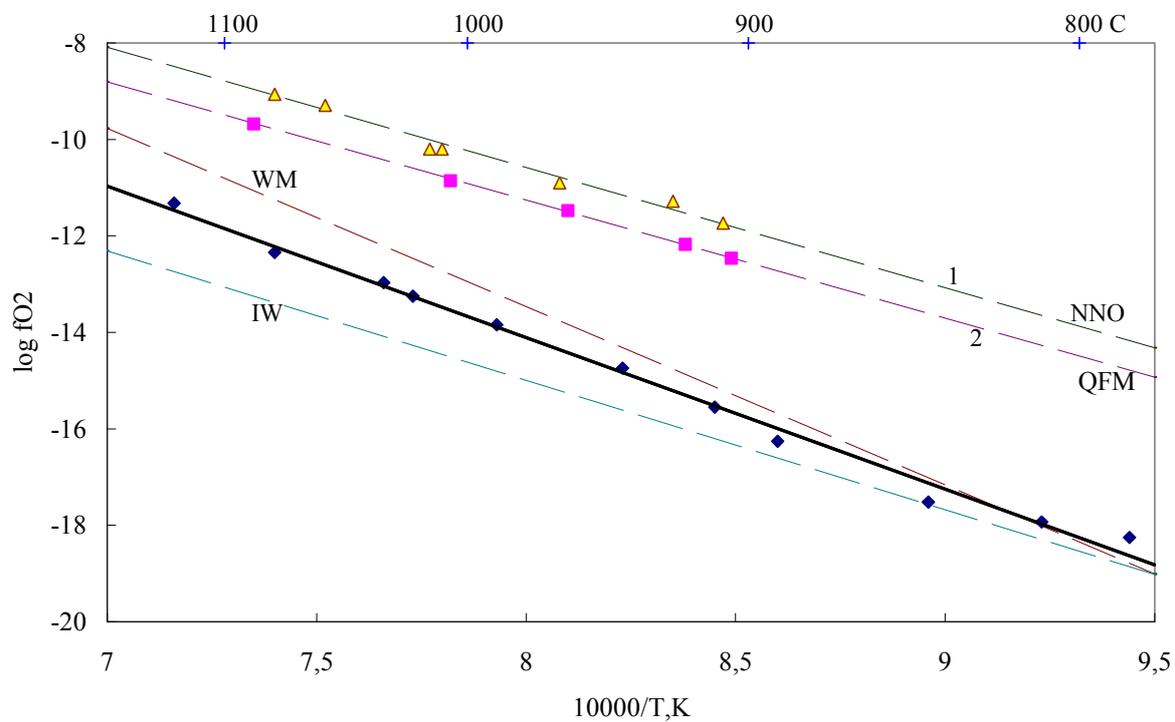


Рис. 2. Экспериментальное определение зависимости $\log fO_2 - 10^4/T^{\circ}K$ для оливина из шпинелевого лерцолита вулкана Шаварын-Царам (ШЦ 3-1 Ol). Проверка «памяти» кристаллов оливина при Ni-NiO (1) и при QFM (2).

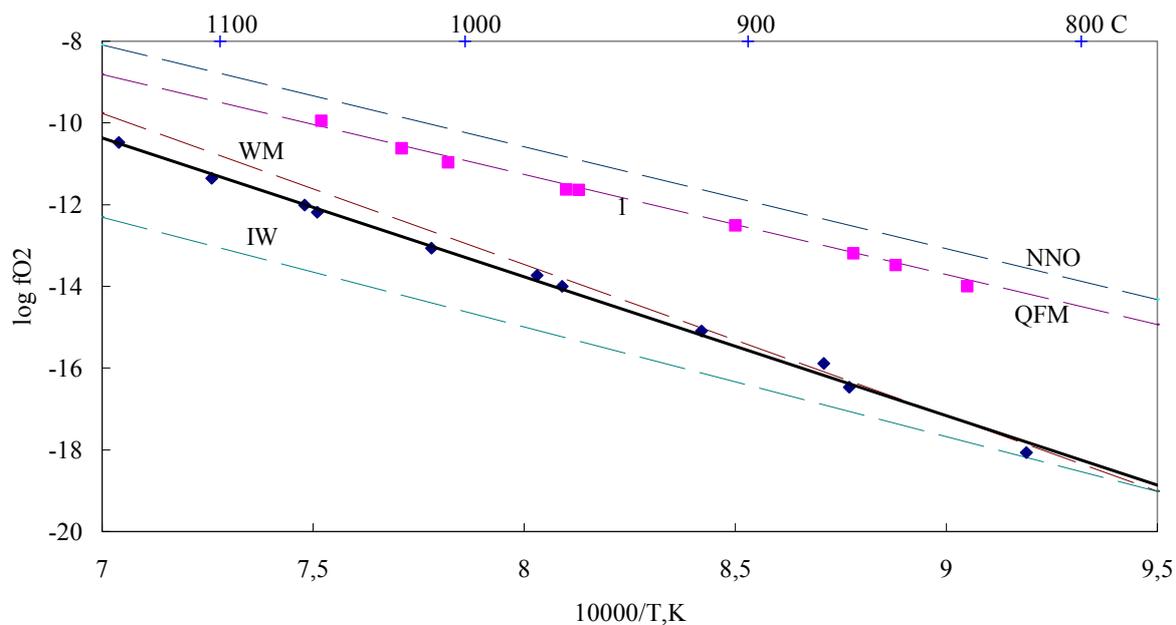


Рис. 3. Экспериментальное определение зависимости $\log fO_2 - 10^4/T^{\circ}K$ для ортопироксена из шпинелевого лерцолита вулкана Шаварын-Царам (ШЦ 3-1 Орх). Проверка «памяти» кристаллов ортопироксена при QFM (1).

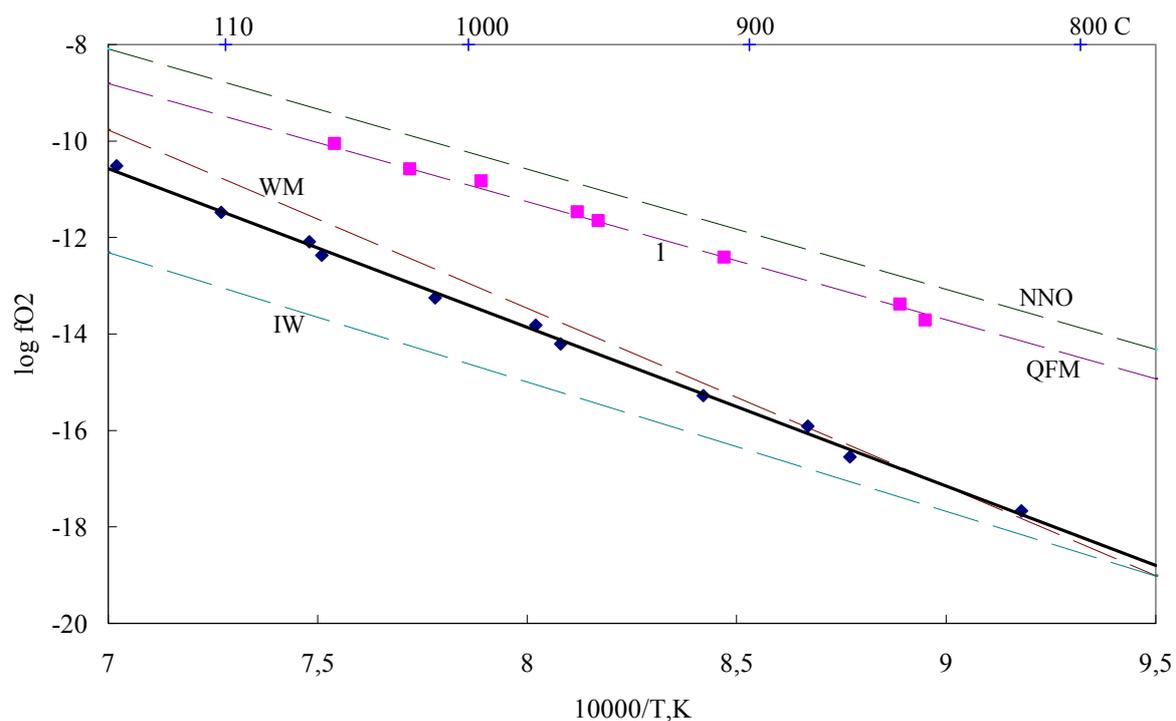


Рис. 4. Экспериментальное определение зависимости $\log fO_2 - 10^4/T^{\circ}K$ для шпинели из шпинелевого лерцолита вулкана Шаварын-Царам (ШЦ 3-1 Spl). Проверка «памяти» кристаллов шпинели при QFM (1).

Следует отметить, что прежде, чем проводить эксперименты по проверке «памяти» минералов глубинного происхождения были сделаны измерения собственной летучести кислорода кристаллов. Результаты измерений и микрозондовый анализ приведены соответственно в таблицах 1–3а и на рис.1–4. Микрозондовый анализ минералов проводился как до экспериментов, так и после. Это делается для того, чтобы показать, что химический состав кристаллов не меняется в результате проведения опытов.