

Д.В. Шешуков

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ПРИМЕНЕНИЕ КР-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

В статье представлены результаты качественного анализа газовых включений двух образцов солей Верхнекамского месторождения, взятых из учебной коллекции кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ. Исследование выполнялось с целью освоения методики диагностики газовых включений в минералах с помощью КР-спектроскопии. Полученные результаты были сравнены с исследованиями других специалистов.

Ключевые слова: КР-спектроскопия, Верхнекамское месторождение солей, газовые включения.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2025.177

Для определения вещественного состава включений различного агрегатного состояния разработано множество методов, некоторые из них подразумевают извлечение этих включений из минерала-хозяина [2]. В большинстве случаев извлечение такого включения не скажется на результатах анализов. С газообразной и жидкой фазой дела обстоят сложнее: из жидкой фазы могут уйти растворенные в ней летучие вещества, а газообразная фаза может смешаться с атмосферным воздухом. В этом случае подойдут либо неразрушающие оптические методы, химические анализы, либо термический анализ с приставкой газового анализатора ICP-MS.

В данной статье изучение газовых включений было проведено с помощью микроскопа с приставкой комбинационного рассеяния света. Несмотря на простоту и скорость данного метода, минусы всё же можно выделить. Одной из самых распространенных проблем, связанных с определением включений является наложение пиков минерала-хозяина на пики включения. Второе ограничение метода – глубина съемки должна составлять несколько микрон.

Для проведения исследования было отобрано 2 образца солей Верхнекамского месторождения («перистый» галит и молочный сильвин) из учебной коллекции кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ. Выбор не случайный – в данных минералах достаточно много

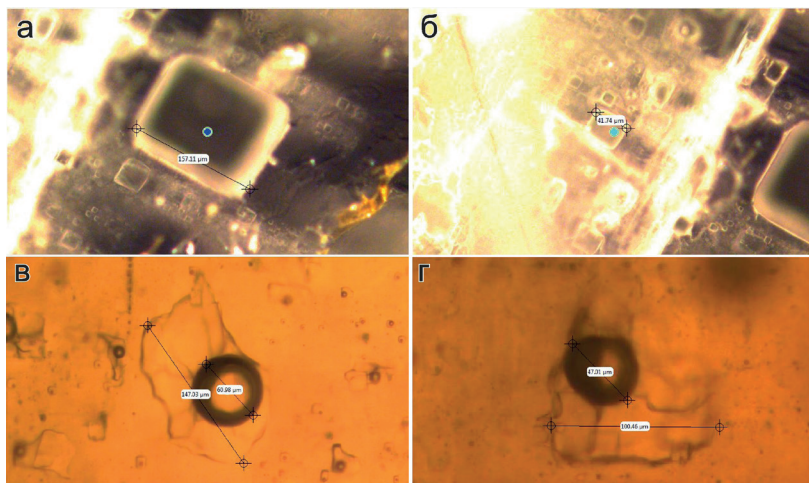


Рис. 1. Газово-жидкие микровключения в перистом галите (а, б) и молочно-белом сильвине (в, г)

крупных газовых включений. Галит и сильвин являются неактивными для метода комбинационного рассеяния света. Это значит, что можно корректно изучать включения. Включения в галите представлены в виде квадратных или прямоугольных вакуолей, заполненных газом или раствором, размеры варьируются от нескольких микрон до первых сотен микрон (рис.1. а, б). В сильвине же включения представлены в виде вакуолей неправильной формы, заполненных чаще всего двумя фазами вещества – раствором с пузырьком газа (рис.1. в, г). Размеры таких включений колеблются от первых десятков до первых сотен микрон. Газ в таких включениях может занимать до 50% объема вакуоли.

Исследование проводилось на конфокальном Рамановском микроскопе Senterra II. Исправность показаний проверялось с помощью стандартного образца кремния. Литературный пик кремния – 521 см^{-1} , фактический пик кремния – 520 см^{-1} [1]. Так как расхождение с показаниями составляют не более 3-х см^{-1} , будем считать показания прибора верными. Параметры съемки: в качестве возбуждающего излучения выступал красный лазер с длиной волны $\lambda=785\text{ нм}$, мощность лазера 25-100 мВт. Апертура $25\times1000\text{ мкм}$. Спектральный диапазон – $85\text{--}4463\text{ см}^{-1}$. Время накопления спектра – от 10 до 20 сек, количество повторов – от 5 до 30 раз. Такой разброс обусловлен различной глубиной обнаруженных включений и их размером, концентрацией газов внутри включений, а также составом минерала-хозяина. Результаты съемки представлены в таблице.

Таблица

Сравнение полученных результатов с литературными данными [1, 3, 4]

Вещество	Характерные пики, см ⁻¹	Измеренные пики при $\lambda=785$ нм, см ⁻¹			
		Включения в галите		Включения в сильвине	
		1 включение	2 включение	1 включение	2 включение
H ₂ O жидкая	2750–3900 [4]	3159-3400	3106-3393	3147-3355	3173-3360
	3219 [3]	3220	3224	3213	3214
	1630 [4]	-	1630*	1639*	-
H ₂ O пар	3657–3756 [4]	-	-	3645-3686	3677*
	3657 [3]	-	-	3662*	3677*
	1595 [4]	-	-	1583*	-
NH ₃	3336 [4, 3]	-	-	3365*	-
N ₂	2331 [3, 4], 2330 [1]	-	-	2326	2327
NO	1877 [1]	1880	1880	1880	1879
CO ₂	2349 [1]	2359	-	-	-
	1388 [1, 3, 4]	1388	1388	1386	1388
	1370 [3, 4]	-	1369	1370	-
	1286 [1], 1285 [3, 4]	1261	1284, 1262, 1252	1285, 1263, 1256	1262
	667 [1]	-	-	-	-
CO	2143 [3, 4], 2140 [1]	2143*	2143*	2123	2145*
O ₂	1555 [1, 3, 4]	1555	1555	1556	1555
NO ₂	1610 [1]	1610*	1610*	1610*	-
	1325 [1]	1330*	1328	1330	1320
	752 [1]	-	-	-	-
SO ₂	1351 [1]	1347*	1355	1356	-
	1151 [4], 1147 [1]	1151	1150, 1120	1140	1137
	524 [4], 517 [1]	524*	-	-	-

Примечание: * пики слабые или отсутствуют

Можно заметить, что полученные результаты немного отличаются от результатов исследования предшественников. Это может быть связано с индивидуальными особенностями молекул газовых включений, глубиной нахождения включений, а также с давлением внутри самого

включения. Несмотря на то, что съемка проводилась в защитном боксе прибора, велика вероятность влияния атмосферного воздуха на лазер, что может увеличивать пики тех или иных соединений.

В дальнейшем планируется проведение дополнительных анализов методом термогравиметрии (ТГА) с анализом выделяющихся газов (EGA-МС) для уточнения полученных результатов. Если по результатам термогравиметрии получится подтвердить вещественный состав газовых включений исследуемых образцов, можно будет приступать к освоению методики количественного анализа минералов и их включений.

Исследования выполнены с использованием оборудования лаборатории прецизионных методов исследования вещества ПГНИУ.

Библиографический список

1. Колесов Б.А. Прикладная КР-Спектроскопия. Новосибирск: изд-во СО РАН, 2018. 389 с.
2. Плечов П.Ю. Методы изучения флюидных и расплавных включений. Москва: изд-во КДУ, 2014. 268 с.
3. Ernst A.J. Burke Raman microspectrometry of fluid inclusions // *Lithos* 2001. V. 55. P. 139-158.
4. Frezzotti M.L., Tecce F., Casagli F. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // *Journal of Geochemical Exploration* 2012. V. 112. P. 1-20.

USING THE RAMAN-SPECTROSCOPY METHOD FOR THE QUALITATIVE DETERMINATION OF GAS INCLUSIONS

D.V. Sheshukov

gg7716payd@gmail.com

The article presents the results of a qualitative analysis of the gas inclusions of two salt samples of a Verkhnekamskoye deposit, taken from education collection of a mineralogy and petrography department of PSU. Research was performed for mastering the methodology determination of gas inclusions in minerals using Raman spectroscopy method. The results were compared with researches other specialists.

Keywords: Raman spectroscopy method, Verkhnekamskoye salt deposit, gas inclusions.