

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДОРОДА ОЛОВОНОСНОГО ФЛЮИДА ПО ТУРМАЛИНУ

Сущевская Т.М. (ГЕОХИ РАН), Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А. (ДВГИ ДВО РАН)  
[ryzhenko@geokhi.ru](mailto:ryzhenko@geokhi.ru); тел.: 8 (495) 939-70-23; [ignatiev@fegi.ru](mailto:ignatiev@fegi.ru); тел. 8 (423-2)-31-85-37

Ключевые слова: *турмалин, флюид, изотопный состав водорода, коэффициенты фракционирования, температура*

**Резюме.** На основании анализа изотопного состава водорода и кислорода в турмалине (шерл-дравит) и использования эмпирических данных по фракционированию в системах кварц-турмалин и турмалин-вода определены интервалы значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  рудообразующего флюида, сформировавшего оловорудные месторождения Солнечное, Придорожное в Комсомольском рудном районе (Хабаровский край). Полученные данные свидетельствуют о преобладании магматогенного компонента в составе флюида при образовании оловянного оруденения.

Турмалин является одним из широко распространенных минералов гидротермальных месторождений, в том числе и оловорудных. Наличие водорода в структуре позволяет предположить возможность его использования для определения изотопного состава воды минералообразующего флюида. Привлекательной чертой турмалина является его прочность, чем он выгодно отличается от листовых силикатов, обычно используемых для определения изотопного состава водорода, входящего в этих минералах в OH-группу. В связи с этим следует ожидать, что воздействие более поздних флюидов с отличным от исходного изотопным составом не должно отражаться на турмалине, как это происходит при их воздействии на гидроксил-содержащие минералы [1].

Материал, изученный в нашей работе, относится к касситерит-турмалиновому типу месторождений олова касситерит-силикатной формации. Это хорошо известные месторождения Солнечное, Придорожное и расположенные рядом в тех же геолого-структурных условиях минерализованные зоны Авральная и Левосилинская. В минеральных ассоциациях этих зон минерализации турмалин отлагается практически на протяжении всего процесса минералообразования. По мере снижения температуры состав турмалина меняется в ряду шерл-дравит. Сложный характер изоморфизма приводит к заметным изменениям в составе турмалина при изменениях физико-химических параметров [2]. Из-за широкого развития процесса перекристаллизации было затруднено выделение турмалина по отдельным генерациям. Поэтому расчеты проводили для температурных интервалов, установленных для стадий Кокориными [3], Крыловой [4] по температурам гомогенизации флюидных включений в кварце из последовательно отлагавшихся минеральных ассоциаций: для кварц-турмалиновой ( $400-450^{\circ}C$ ), кварц-касситеритовой (1) ( $350-400^{\circ}C$ ), кварц-касситеритовой (2) ( $300-350^{\circ}C$ ). Минералы для изотопного анализа (турмалин, кварц, касситерит) отбирали под биноклем в количестве порядка 50 мг.

Анализ изотопного состава кислорода и водорода в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (Владивосток) выполнен на масс-спектрометре Finnigan MAT 252 с использованием двойной системы напуска. Подготовка образцов к масс-спектрометрическому изотопному анализу силикатов проведена по методике фторирования, водорода - по лазерной методике выделения воды из минералов [5]. Воспроизводимость определения ( $1\sigma$ ) для  $\delta^{18}O$  и  $\delta D$  составляет соответственно: 0,1 ‰ и 2,5 ‰. Расчет изотопного состава как водорода, так и кислорода воды флюида проводился по уравнениям, предложенным в работе Кетцера с соавторами [6] для интервала  $350 - 600^{\circ}C$  и продленного нами до  $300^{\circ}C$ .

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на дорудном и продуктивном этапах формирования зон минерализации Солнечного и Придорожного месторождений так же, как и малопродуктивных зон Авральской и Левосилинской, флюиды были существенно магматогенными, поскольку их изотопный состав определяется интервалом значений  $\delta^{18}O$ .

(3.2-9.3) ‰ и  $\delta D$  -(31.7-76.6) ‰. Это согласуется с данными работы [4]. Колебания значений определяются, очевидно, зависимостью от температуры образования и от изменений, происходящих в химическом составе турмалинов.

Изотопный состав кислорода и водорода минералов и равновесного с ними флюида

Проба	Минерал	$\delta^{18}\text{O}\%$ , минерал	$\delta\text{D}\%$ , минерал	$\delta^{18}\text{O}\%$ , SMOW флюид <sup>х)</sup>	$\delta\text{D}\%$ SMOW, флюид <sup>х)</sup>
месторождение Солнечное, зона Главная					
3	турмалин	9.0	-101,3	5.6-6.0	-(46,6-59,4)
7/175	турмалин	8.2	-107.3	4.8-5.2	-(52,6-65,4)
3053	турмалин	9.3	-73.7	6.0-6.7	-(31,7-41,8)
3060	турмалин	10.1	-101.8	6.7-7.1	-(47,1-59,8)
3060	кварц	11.4		4.6-6.1	
3061	турмалин	11.2	-92.2	8.4-8.6	-(60.3-68.3)
3066	турмалин	9.5	-102.0	6.5-6.9	-(60.1-70.1)
3076	турмалин	11.9		8.9-9.3	
3076	кварц	11.6		6.3-7.7	
месторождение Придорожное, зона Центральная					
78	турмалин	8.7	-79.1	5.7-6.1	-(37.2-47.2)
78	кварц	10.9		5.6-6.9	
78	касситерит	1.7		7.0-7.2	
малопродуктивные минерализованные зоны Авральная и Левосилинская					
75	турмалин	9.8	-94.8	6.8-7.2	-(52.8-62.9)
78-л	турмалин	8.6	-92.5	5.6-6.0	-(50.6-60.6)
605	турмалин	9.9	-108.5	6.9-7.3	-(66.6-76.6)
2982	турмалин	7.6	-99.8	4.6-5.0	-(45.1-57.9)
2985	турмалин	7.9	-98.8	4.9-5.3	-(56.8-66.9)
2988	турмалин	6.2	-95.6	3.2-3.6	-(53.6-63.7)

<sup>х)</sup> изотопный состав флюида рассчитан с использованием данных по кварцу - [7], касситериту - [8], турмалину - [6]; данные пересчитаны для температурных интервалов 400-450<sup>0</sup>С (№ 3061), 350-400<sup>0</sup>С ( №№ 75,78, Л-78, 605, 2985, 2988, 3053, 3066, 3076), 300-350<sup>0</sup>С (№№ 3,3060, 7/175)

Представленные данные по изотопному составу водорода флюида отличаются от наших более ранних результатов [9], в которых изотопный состав водорода определен в результате прямых измерений  $\delta\text{D}$  воды, выделенной из флюидных включений в кварце под давлением. Более низкие значения  $\delta\text{D}$  могут быть объяснены присутствием воды из более поздних генераций включений, удаление которых в процессе предварительной термической декрепитации затруднено. В связи с этим представляется справедливым вывод о смешении в гидротермальной системе глубинного, магматогенного, флюида с изотопно легкими водами метеорного происхождения, что и выразилось в понижении значений  $\delta\text{D}$  воды поздних генераций включений в кварце.

*Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ, грант № 07-05-00432*

#### Литература

1. Суцевская Т.М., Устинов В.И., Веливецкая Т.А. и др. // Геохимия. 2002. № 12. С. 1227-1230.
2. Гореликова Н.В. Парагенезисы микроэлементов турмалина оловорудных формаций // ДВО РАН. Владивосток. 1988. 125с.
3. Радкевич Е.А., Асманов А.Я., Бакулин Ю.И. и др. // Геология, минералогия и геохимия Комсомольского района // М.: Наука. 1971. 335с.
4. Бортников Н.С., Ханчук А.И., Крылова Т.Л. и др. // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 6. С. 537-570.
5. Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А. // XVII Симпозиум по геохимии изотопов. - Тезисы докладов // М.: 2004. С. 98-99.
6. Kotzer T.G., Kyser T.K., King R.W. et al // Geochim. Cosm. Acta. 1993. V. 57. P. 3421-3426.

7. Matsuhisa Y., Goldsmith J.R., Clayton R.N. // *Geochim. Cosm. Acta*. 1997. V. 43. P. 1131-1140.
8. Поляков В.Б. и др. XVI Симпозиум по геохимии изотопов.- Тезисы докладов // М.: 2001. С. 190-192.
9. Bannikova L.A., Sushchevskaya T.M., Spasennykh M.Ju., Barsukov V.L. // *Geochemical Journal*. 1994. V. 28. P. 411-428.

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)*

URL: [http://www.segis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2009/informbul-1\\_2009/hydroterm-28.pdf](http://www.segis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/hydroterm-28.pdf)

*Опубликовано 1 сентября 2009 г.*

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009*

*При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна*