

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ. VI. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФЛЮОРИТА И БАРИТА

© 2020 г. В. Б. Наумов^{a, *}, В. А. Дорофеева^a, О. Ф. Миронова^a

^aИнститут геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
ул. Косыгина, 19, ГСП-1, Москва, 119991 Россия

*e-mail: naumov@geokhi.ru

Поступила в редакцию 18.11.2019 г.

После доработки 21.01.2020 г.

Принята к публикации 22.01.2020 г.

На основе созданной нами и постоянно пополняемой базы данных, включающей на настоящий момент более 22300 публикаций по флюидным и расплавленным включениям в минералах, обобщены результаты по физико-химическим параметрам формирования гидротермальных месторождений флюорита и барита. Рассмотрены следующие параметры флюидов: температуры, давления, плотности, соленость, газовый состав. Рассчитан средний состав флюидов (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S , C_nH_m) в флюорит-баритовых месторождениях, а также для сравнения в месторождениях Au, Sn, W, Cu, Pb, Zn, Sb, Hg. По данным раман-спектроскопии индивидуальных включений приведен средний состав главных газовых компонентов природных флюидов (CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S) этих месторождений. Рассчитаны средние концентрации F, S и Ba в магматических силикатных расплавах и в природных минералообразующих флюидах.

Ключевые слова: месторождения флюорита и барита, флюидные включения, физико-химические параметры, летучие компоненты

DOI: 10.31857/S0016752520090071

Статья продолжает цикл работ, посвященных обобщению физико-химических параметров формирования гидротермальных месторождений. В первой работе (Наумов и др., 2009) на основе созданной нами базы данных, включавшей на тот период более 17500 публикаций по флюидным и расплавленным включениям, были обобщены результаты по основным физико-химическим параметрам природных минералообразующих флюидов (температура, давление, плотность, соленость водных растворов, газовый состав). Для флюидов, участвовавших в магматических, метаморфических, гидротермальных и осадочных процессах, был установлен широкий интервал температур (20–1300°C) и давлений (от 1 до 21000 бар). Была рассмотрена частота встречаемости температур и солености гидротермальных флюидов в интервале 20–1000°C и 0–80 мас. % экв. NaCl, а также температур и плотностей этих флюидов в интервале 20–1000°C и 0.01–1.90 г/см³. По данным более 3000 определений, полученных самым распространенным методом анализа индивидуальных включений (раман-спектроскопия), был

рассчитан средний состав газовой фазы природных флюидов.

Задачей наших последующих исследований стало обобщение данных по основным физико-химическим параметрам минералообразующих флюидов, участвовавших в формировании гидротермальных месторождений разных элементов (Au, Ag, Sn, W, Mo, Cu, Zn, Pb, Sb, As, U, Hg, а также флюорита и барита). Эти обобщения основываются на созданной нами (с 1964 г. и по настоящее время) базе данных по флюидным и расплавленным включениям в минералах. Принцип наполнения базы количественными данными подробно описан в статьях (Наумов и др., 2009; Миронова, 2010). В следующих работах на основе постоянно пополняемой базы данных были рассмотрены физико-химические параметры флюидов на месторождениях и рудопроявлениях Sn, W (Наумов и др., 2011), Au, Ag, Pb, Zn (Наумов и др., 2014), U (Наумов и др., 2015), Cu, Mo (Наумов и др., 2017) и Sb, As, Hg (Наумов и др., 2018). Кроме температур, давлений, солености и газового состава флюидов были приведены данные о концентрациях этих элементов в магматических силикатных рас-

плавах и в природных минералообразующих флюидах. Сейчас в базе данных насчитывается более 22300 публикаций.

В настоящей работе проведено обобщение накопленного материала (более 220 публикаций) по основным физико-химическим параметрам флюидов, участвовавших в формировании флюоритовых и баритовых месторождений. Отметим, что на современном этапе исследований рассматривается только общая характеристика флюидов на этих месторождениях без учета различий в выделяемых геологами формационных типах объектов. Мы также не затрагиваем вопросы источников этих элементов, условий и форм их переноса, причин и механизмов рудоотложения.

Представительность материала, обобщенного в данной работе (количество изученных месторождений и количество публикаций), отражена в табл. 1. Отметим, что мы выделили 3 типа месторождений: флюоритовые (без барита), флюорит-баритовые и баритовые (без флюорита). Привязка месторождения к конкретному типу проводилась на основании классификации авторов, указанной в публикациях. Из данных этой таблицы видно, что количество публикаций велико (более 220), поэтому привести их полный список невозможно. В примечании к таблице расположены в хронологическом порядке только те работы, которые внесли основной вклад в наполнение базы данных по месторождениям флюорита и барита.

В табл. 2 приведены данные о количестве публикаций и определений основных физико-химических параметров природных флюидов, полученных по включениям в минералах в разные периоды времени для каждого типа месторождений. Отметим, что сначала (с 50-х гг. прошлого столетия) в литературе были только замеры температур флюидов (температуры гомогенизации включений), с 60-х гг. публикуются данные о давлениях флюидов и о солёности растворов (по результатам криометрических исследований включений) и с 80-х гг. — данные о газовом составе флюидных включений. Рассмотрим последовательно полученные многими исследователями результаты по конкретным параметрам минералообразующих флюидов на этих месторождениях.

ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Флюорит и барит наряду с кварцем и кальцитом являются весьма распространенными минералами гидротермальных месторождений различного генезиса. В нашей базе данных находится более 48000 определений, выполненных по флюидным включениям в кварце, более 6100 — в кальците, более 5500 — во флюорите и более 1200 — в барите. Отметим, что флюорит и барит также кристаллизу-

Таблица 1. Представительность материала, обобщенного в данной работе, по флюоритовым, флюорит-баритовым и баритовым месторождениям

Месторождения	Количество	
	месторождений	публикаций
Флюоритовые	399	167
Флюорит-баритовые	102	21
Баритовые	63	36

Примечания. *Основные публикации по флюоритовым месторождениям:* Roedder, 1973; Nash, Cunningham, 1973; Benesova, Cadek, 1979; Beny et al., 1982; Deloule, 1982; Iglesias, Loreda, 1982; Belkin et al., 1984; Loreda, Iglesias, 1984; Jebrak et al., 1984; Richardson, Pinckney, 1984; Архипчук и др., 1989; Бредихина, 1990; Coelho et al., 1990; O'Connor et al., 1993; Spry, Fuhrmann, 1994; Souissi et al., 1997; Hill et al., 2000; Gonzalez-Partida et al., 2002, 2003; Alvin et al., 2004; Sanchez et al., 2009; Винокуров и др., 2014; Hurtic et al., 2014; Gigoux et al., 2016; Pei et al., 2017, 2018; Ozturk et al., 2019. *Основные публикации по флюорит-баритовым месторождениям:* Zimmerman, Kesler, 1981; Norman et al., 1985; Changkakoti et al., 1987; Zak et al., 1991; Jones, Kesler, 1992; Schwinn et al., 2006; Baatartsogt et al., 2007; Bouabdellah et al., 2013; Zou et al., 2016; Keim et al., 2019. *Основные публикации по баритовым месторождениям:* Leach, 1979, 1980; Nuelle, Shelton, 1986; Ansdell et al., 1989; Cortecchi et al., 1989; Lecuyer et al., 1999; Valenza et al., 2000; De Ronde et al., 2003; Naumov et al., 2004; Kontak et al., 2006; Wu et al., 2015; Ehya, Mazraei, 2017; Tas Ozdagan et al., 2017; Alaminia, Sharifi, 2018.

ются при высоких температурах и в магматических процессах. Приведем эти публикации.

Для расплавных включений во флюорите из гранитов Баян-Уланского массива (Монголия) приведены температуры гомогенизации более 800°C (Наумов, Иванова, 1980). Впервые магматический флюорит был определен с помощью электронного микроскопа в составе расплавных включений с температурами гомогенизации 760–830°C в кварце онгориолитов Дурбен-Дорт-Ула, Монголия (Наумов и др., 1984). Флюорит был диагностирован по оптическим свойствам в раскрытых расплавных включениях в оливине лампроитов Западной Австралии (Соболев и др., 1985). Гомогенизация этих включений наблюдалась при 950–970°C. Высокотемпературный (1100–1200°C) флюорит был обнаружен и изучен в карбонатитовом комплексе Мушугай-Худук, Монголия (Наумов и др., 1986). Магматический флюорит исследован в расплавных включениях в анортоклазах агаитового трахита острова Пантеллерия (Италия). Термометрические эксперименты позволили установить, что он кристаллизовался при 840–890°C (Соловова и др., 1987; Наумов и др., 1989). В апатите щелочных базальтов Восточного Памира среди кристаллических дочерних фаз в первичных расплавных включениях был обнаружен и флюорит (Соловова и др., 1992). Включения солевого расплава с температурами гомогенизации 520–525°C были исследованы во флюорите из кальцит-флюоритовых карбонатитов Больше-тагнинского массива Восточного Саяна (Андре-

Таблица 2. Количество публикаций (I) и определений (II) основных физико-химических параметров природных флюидов, полученных по включениям в минералах в разные периоды времени для флюоритовых, флюорит-баритовых и баритовых месторождений

Период	Флюоритовые		Флюорит-баритовые		Баритовые	
	I	II	I	II	I	II
Температура						
1950–1970	53	303	–	–	6	20
1971–1980	55	549	2	30	8	37
1981–1990	30	307	9	61	8	28
1991–2000	12	156	3	38	8	42
2001–2010	11	165	4	195	1	4
2011–2017	6	137	3	215	5	55
1950–2020	167	1617	21	539	36	186
Давление						
1967–1970	4	9	–	–	–	–
1971–1980	3	15	1	2	1	1
1981–1990	1	3	1	11	–	–
1991–2000	1	2	–	–	1	4
2001–2010	–	–	–	–	2	6
1967–2020	9	29	2	13	4	11
Соленость						
1967–1970	4	5	–	–	–	–
1971–1980	16	80	1	16	4	29
1981–1990	17	249	2	57	4	20
1991–2000	12	141	3	38	8	42
2001–2010	9	146	4	195	1	4
2011–2020	6	137	3	215	5	55
1967–2020	64	758	13	521	22	150
Газовый состав						
1981–1990	1	18	1	17	1	28
1991–2000	–	–	1	26	–	–
2001–2010	–	–	–	–	5	57
2011–2020	1	47	1	8	–	–
1977–2020	2	65	3	51	6	85

ева и др., 2006). Во флюорите месторождения Маониупинг (Китай) были изучены расплавные включения, для которых установлены температуры гомогенизации 790–850°C (Xie et al., 2009). Анализы расплавных силикатных ($\text{SiO}_2 = 74.2\text{--}75.8$ мас. %) включений во флюорите из порфирирового Mo(-Nb) месторождения Cave Peak, Texas приведены в работе (Audetat, 2010).

Как отмечалось выше, барит кроме гидротермальных процессов может кристаллизоваться и в магматических условиях. Он был обнаружен среди многочисленных дочерних фаз в первичных расплавных включениях в монтичеллите карбо-

натитового комплекса Magnet Cove, Арканзас, США (Nesbit, Kelly, 1977). Барит являлся основной кристаллической фазой в расплавных включениях в апатите из вайомингита Лейцит Хилл, США (Шарыгин, Базарова, 1991). Гомогенизация этих включений, по мнению авторов, значительно выше 1150°C. Барит был определен среди дочерних фаз в расплавных включениях во флюорите из карбонатитового комплекса Мушугай-Худук, Монголия (Андреева и др., 1998).

Флюорит и барит кристаллизуются при достаточно высоких температурах и в постмагматических процессах. В табл. 3 представлены данные о

Таблица 3. Данные о высокотемпературных флюидных включениях во флюоритах и баритах различных объектов

Объект, местонахождение	Температура, °С	С, мас. % экв. NaCl	Литература
Флюорит			
Граниты, Забайкалье, Россия	700	80	Швадус, 1977
Naica deposit, Mexico	680	44.0	Erwood et al., 1979
Тырныауз, Россия	640	62.0	Наумов, Шапенко, 1980
Индустриальное, Россия	710	65.0	Наумов, Соколов, 1981
Capitan pluton, USA	600	81.0	Ratajeski, Campbell, 1994
Capitan Mountains, USA	650	67–81	Campbell et al., 1995
Ермаковское, Россия	650	70.0	Рейф, Ишков 1999
Keban deposit, Turkey	610	61	Ozturk et al., 2019
Kuluncak deposit, Turkey	600	64	Ozturk et al., 2019
Барит			
Koru district, NW Turkey	410–400	5.7–10.7	Cicek, Oyman, 2016
Ashele deposit, NW China	515–400	5.8–8.3	Yang et al., 2018

высокотемпературных флюидных включениях в этих минералах из разных объектов мира разного генезиса. Для флюорита были отобраны публикации, в которых имеются данные о флюидных включениях с температурами гомогенизации 600°С и выше, для барита – 400°С и выше. Таких данных, как следует из табл. 3, сравнительно мало. Для большинства определений (5500 во флюоритах и 1200 баритах) получены значительно более низкие температуры.

На рис. 1 представлены гистограммы распределения температур гомогенизации флюидных включений в минералах флюоритовых (рис. 1а), флюорит-баритовых (рис. 1б) и баритовых (рис. 1в) месторождений. К настоящему времени получен достаточно представительный материал по температурам формирования этих месторождений: 1635 определений для месторождений флюорита, 555 – для флюорит-баритовых месторождений и 191 – для месторождений барита. Для всех этих месторождений, как видно из данных гистограмм, большинство определений приходится на температуры ниже 300°С, с максимумом от 50 до 200°С. Таким образом, можно сделать определенный вывод о преобладающих низкотемпературных условиях формирования рассматриваемых месторождений.

Совместных определений температур и давлений минералообразующих флюидов на этих месторождениях, к сожалению, сравнительно немного: для флюоритовых месторождений – 29, для флюорит-баритовых – 13 и для баритовых – 11 (табл. 2). Результаты определений температур и давлений гидротермальных флюидов отражены на рис. 2. На рис. 2а представлены данные исследований флюидных включений во флюорите и барите на всех месторождениях и рудопроявлении-

ях разных элементов. Виден широкий спектр параметров – температуры от 100 до 800°С и давления от 100 до 4000 бар. На рис. 2б представлены эти же параметры для флюоритовых и баритовых месторождений – температуры ниже 420°С, давления, в основном, ниже 1200 бар.

СОЛЕННОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩИХ ФЛЮИДОВ

Изучение включений в минералах дает прямой и надежный путь для реконструкции химического состава, солёности и плотности минералообразующих флюидов. К настоящему времени накоплен представительный материал по температурам и солёности природных флюидов на флюоритовых (758 определений), на флюорит-баритовых (521 определение) и на баритовых (150 определений) месторождениях (табл. 2). В табл. 4 для этих месторождений представлена частота встречаемости (в %) температур и солёности минералообразующих флюидов в интервале 20–500°С и 0.1–40 мас. % экв. NaCl. Интервал сравнительно низкой солёности (0.1–10 мас. % экв. NaCl), где больше всего определений (66.7%), приходится на баритовые месторождения, меньше определений (43.9%) – на флюоритовые, еще меньше (13.1%) – на флюорит-баритовые. Для последних характерна высокая солёность растворов (на интервал солёности 20–40 мас. % экв. NaCl приходится 53.7% от всех определений).

В табл. 5 представлены данные о частоте встречаемости (в %) температур и плотностей гидротермальных минералообразующих флюидов на рассматриваемых месторождениях в интервале 20–500°С и 0.4–1.4 г/см³. Из данных этой таблицы следует, что большинство определений приходится на высокие значения плотностей – от 0.8

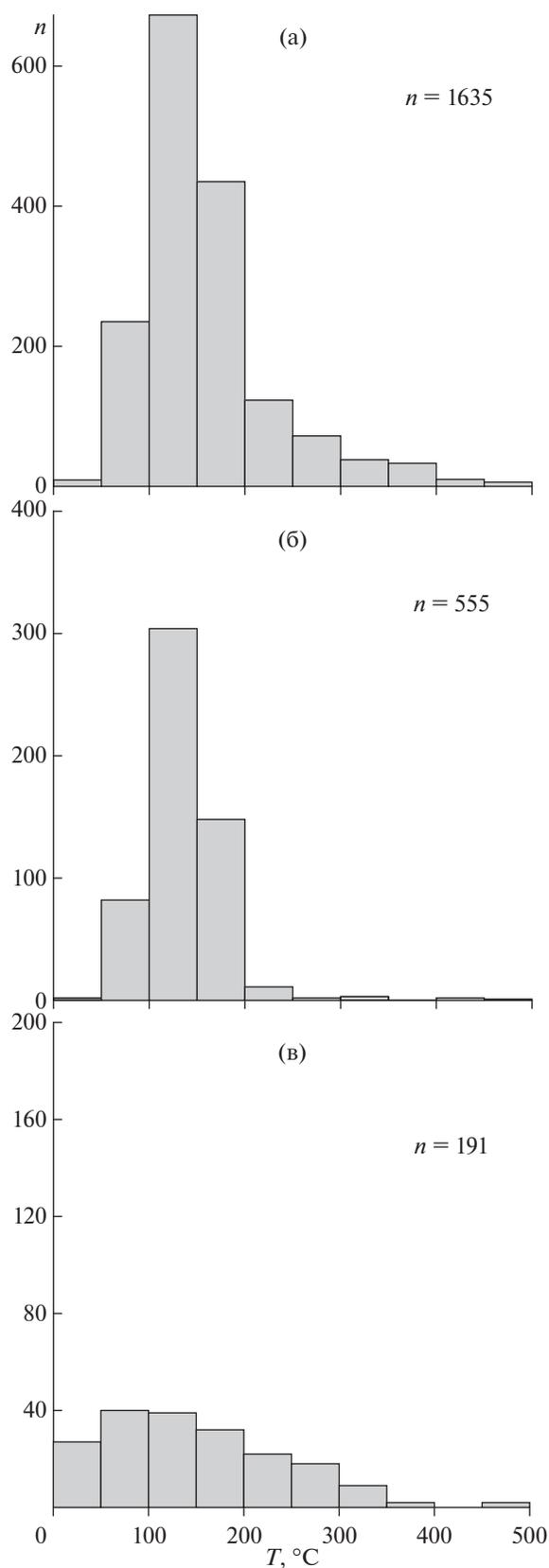


Рис. 1. Гистограммы распределения температур гомогенизации флюидных включений на флюоритовых (а), флюорит-баритовых (б) и баритовых (в) месторождениях.

до 1.2 г/см³ (90.9% для флюоритовых, 95.3% для флюорит-баритовых и 91.2% для баритовых месторождений).

ГАЗОВЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩИХ ФЛЮИДОВ

Газовые компоненты флюидных включений в минералах анализируются или деструктивными методами (масс-спектрометрия и газовая хроматография), или недеструктивными (раман-спектроскопия) методами. Деструктивные методы незаменимы при анализе непрозрачных и флюоресцирующих минералов и объектов с включениями очень малых размеров. Кроме того, эти методы позволяют определять воду – основной компонент флюидных включений и рассчитывать концентрации летучих компонентов. Их преимущества и недостатки подробно описаны в работе (Миронова и др., 1995). Со временем деструктивные методы все более вытесняются недеструктивными, на долю последних приходится уже более 75% всех публикуемых результатов.

Метод раман-спектроскопии дает качественный состав и соотношения газовых компонентов во флюиде. Чтобы перейти к их концентрации в растворе, необходимо изучать эти же включения методом микротермометрии. Именно комбинация двух методов по рекомендации (Dhamelin-court et al., 1979) наиболее часто применяется в работах последних лет. Авторы обычно приводят результаты раман-спектроскопии, т.е. относительные содержания основных газовых компонентов, и затем – их концентрации, рассчитанные с использованием данных микротермометрии.

Критический обзор методов и результатов газовых анализов флюидных включений был опубликован в 2010 г. (Миронова, 2010). Обобщение было основано на результатах более 5300 анализов из 300 публикаций. В настоящее время база данных по летучим компонентам флюидных включений в минералах содержит уже более 11000 определений, которые свидетельствуют о том, что основными летучими компонентами земной коры являются H₂O и CO₂ (табл. 6). Активно участвуют в природных процессах восстановленные формы углерода в виде метана, а также азот и в некоторых случаях сероводород. В анализах по рудным объектам вода и углекислота всегда являются преобладающими компонентами, а остальные летучие по данным раман-спектроскопии индивидуальных включений могут быть в разных количествах в зависимости от генетических особенностей и геохимической специализации изучаемых объектов (табл. 7).

Химический анализ флюидных включений в минералах все чаще встречается в мировой литературе и все шире используется в геохимических выводах. Это справедливо и для флюорит-бари-

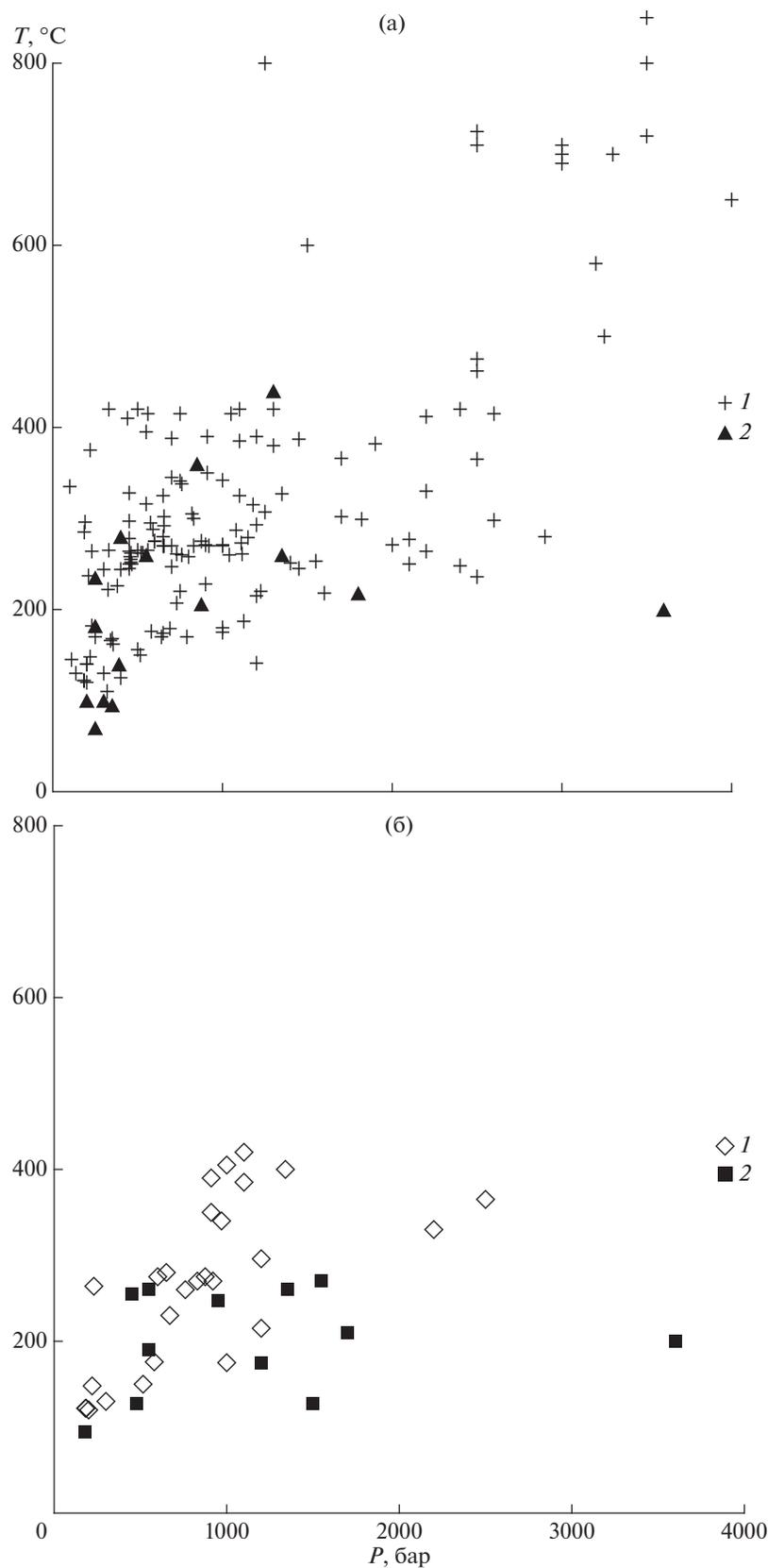


Рис. 2. График в координатах “температура–давление”. (а) – данные, полученные для флюидных включений во флюоритах (1) и баритах (2) на месторождениях разного генезиса и различной минерализации; (б) – данные, полученные для флюидных включений во флюоритах (1) и баритах (2) на флюоритовых и баритовых месторождениях.

Таблица 4. Частота встречаемости (%) температур и солёности гидротермальных минералообразующих флюидов в интервале 20–500°C и 0.1–40 мас. % экв. NaCl на месторождениях флюоритовых (758 определений), флюорит-баритовых (521 определение) и баритовых (150 определений)

Температура, °C	Месторождения	Солёность, мас. % экв. NaCl				
		0.1–10	10–20	20–30	30–40	0.1–40
20–100	Флюоритовые	8.6	3.7	3.6	1.3	17.2
	Флюорит-баритовые	1.0	4.1	8.4	0.6	14.1
	Баритовые	21.1	2.7	8.8	0.7	33.3
100–200	Флюоритовые	24.1	22.6	13.5	2.2	62.4
	Флюорит-баритовые	11.9	27.1	40.4	3.3	82.7
	Баритовые	26.5	5.4	6.1	–	38.0
200–300	Флюоритовые	7.6	2.9	0.5	1.5	12.5
	Флюорит-баритовые	0.2	1.8	0.6	–	2.6
	Баритовые	14.3	5.4	0.7	0.7	21.1
300–400	Флюоритовые	2.9	1.2	0.7	2.0	6.8
	Флюорит-баритовые	–	0.2	0.2	0.2	0.6
	Баритовые	4.1	1.4	0.7	0.7	6.9
400–500	Флюоритовые	0.7	0.3	–	0.1	1.1
	Флюорит-баритовые	–	–	–	–	–
	Баритовые	0.7	–	–	–	0.7
20–500	Флюоритовые	43.9	30.7	18.3	7.1	100.0
	Флюорит-баритовые	13.1	33.2	49.6	4.1	100.0
	Баритовые	66.7	14.9	16.3	2.1	100.0

Таблица 5. Частота встречаемости (%) температур и плотности гидротермальных минералообразующих флюидов в интервале 20–500°C на месторождениях флюоритовых (758 определений), флюорит-баритовых (521 определение) и баритовых (150 определений)

Температура, °C	Месторождения	Плотность флюида, г/см ³					
		0.4–0.6	0.6–0.8	0.8–1.0	1.0–1.2	1.2–1.4	0.4–1.4
20–100	Флюоритовые	–	–	5.1	10.8	1.1	17.0
	Флюорит-баритовые	–	0.4	0.8	11.9	0.9	14.0
	Баритовые	–	0.7	3.3	28.0	0.7	32.7
100–200	Флюоритовые	–	–	23.8	39.0	0.1	62.9
	Флюорит-баритовые	–	1.1	11.7	67.6	2.1	82.5
	Баритовые	1.3	–	26.6	9.3	–	37.2
200–300	Флюоритовые	–	4.3	6.4	1.2	–	11.9
	Флюорит-баритовые	–	–	1.7	0.8	–	2.5
	Баритовые	–	0.7	18.0	2.0	0.7	21.4
300–400	Флюоритовые	1.2	1.8	2.1	1.7	–	6.8
	Флюорит-баритовые	–	–	0.2	0.4	–	0.6
	Баритовые	0.7	3.3	2.0	1.3	–	7.3
400–500	Флюоритовые	0.3	0.3	0.8	–	–	1.4
	Флюорит-баритовые	–	0.2	0.2	–	–	0.4
	Баритовые	0.7	–	0.7	–	–	1.4
20–500	Флюоритовые	1.5	6.4	38.2	52.7	1.2	100
	Флюорит-баритовые	–	1.7	14.6	80.7	3.0	100
	Баритовые	2.7	4.7	50.6	40.6	1.4	100

Таблица 6. Средний газовый состав (мол. %) флюидов гидротермальных месторождений и метаморфических пород по данным изучения включений в минералах

Месторождения	<i>n</i>	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂	H ₂ S	C _n H _m
Флюорит-баритовые	52	98.0	0.5	0.9	0.09	0.03	0.48
Полиметаллические	246	96.3	2.5	0.6	0.5	0.02	0.10
Оловорудные	428	91.1	6.6	1.0	1.2	0.05	0.02
Медные	382	88.2	9.3	1.3	1.1	0.07	0.02
Вольфрамовые	222	82.5	12.2	2.6	1.9	0.06	0.7
Золоторудные	3410	80.2	16.2	2.4	1.0	0.08	0.13
Ртутные	10	73.3	24.7	1.0	0.15	–	0.8
Сурьмяные	139	64.8	15.4	5.6	14.1	0.06	0.02
Метаморфические породы	602	65.1	24.7	7.3	2.8	0.03	0.13

Примечания. *n* – количество определений.

Таблица 7. Средний состав (мол. %) основных газовых компонентов флюидов гидротермальных месторождений и метаморфических пород по данным раман-спектроскопии

Месторождения	<i>n</i>	CO ₂	CH ₄	N ₂	H ₂ S	C _n H _m
Золоторудные	1995	74.0	15.6	9.8	0.5	0.06
Ртутные	56	67.8	14.9	17.2	0.04	–
Сурьмяные	109	65.2	11.2	23.6	–	–
Флюорит-баритовые	29	64.7	0.1	22.8	12.4	–
Полиметаллические	138	61.9	19.5	18.6	0.01	–
Медные	88	61.5	24.3	12.9	1.2	0.09
Вольфрамовые	263	57.5	26.6	14.9	0.1	0.9
Оловорудные	166	42.0	37.9	20.0	0.09	–
Метаморфические породы	857	64.8	16.6	18.1	0.5	–

Примечания. *n* – количество определений.

товых месторождений. Так, при исследовании газового состава флюидных включений в минералах трех самых крупных месторождений миссисипского типа на территории восточного Теннесси, США (барит-флюоритового, цинкового и свинцово-цинкового) авторы на основе идентичности состава включений пришли к выводу, что минерализация происходила не из разных флюидов в каждом месторождении, а из единого флюида, гидротермальное воздействие которого испытал весь регион (Jones, Kesler, 1992).

По результатам анализа газовых компонентов флюидных включений в минералах барит-флюорит-галенитового месторождения Hansonburg (Нью Мексико, США) и на основе термодинамических расчетов было показано, что основным фактором минералообразования является не смешивание металлоносных растворов с флюидами, содержащими восстановленную серу, а понижение температуры раствора (Norman et al., 1985).

Изучение флюидных включений в минералах барит-флюоритового месторождения Fengjia (Ки-

тай) показало, что они состоят из H₂O (более 91 мол. %), CO₂, CH₄, незначительных количеств N₂ и следов C₂H₆, CO, Ar и H₂S. Используя соотношение (CH₄ + CO + H₂)/(CO₂) в качестве основного параметра окислительно-восстановительных условий минералообразования, авторы делают вывод, что рудоформирующая система эволюционировала от восстановительной к окислительной (Zou et al., 2016).

СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА, СЕРЫ И БАРИЯ В МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ И В ПРИРОДНЫХ ФЛЮИДАХ

Как упоминалось выше, в нашу базу данных заносятся опубликованные результаты анализов как по флюидным, так и по расплавам включений. База данных по концентрации элементов в расплавах включений в минералах и в заклочных стеклах вулканических пород включает на настоящий момент более 2100000 определений по 75 элементам. База данных по concentra-

Таблица 8. Среднее содержание F, S и Ba в магматических силикатных расплавах и в природных минералообразующих флюидах

Элемент	Количество определений	Среднее содержание, ppm	Доверительный интервал
Магматические расплавы			
F	27400	560	+2100/–440
S	42720	560	+1860/–430
Ba	31530	137	+970/–120
Природные флюиды			
F	404	380	+5500/–360
S	2500	1010	+7090/–880
Ba	4190	46	+980/–44

циям элементов во флюидных включениях в минералах включает более 112000 определений по 71 элементу. Поэтому мы имели возможность оценить концентрации F, S и Ba в магматических силикатных расплавах и сравнить их с содержанием в природных флюидах. Анализ типа распределения элементов показывает логнормальное распределение, характерное, как нами было установлено ранее (Наумов и др., 2010), и для подавляющего большинства других, в том числе летучих и редких, элементов. Поэтому в качестве наиболее вероятных значений средних концентраций F и Ba мы приняли величины, рассчитанные через среднеарифметические значения их логарифмов, т.е. их среднегеометрические значения. Также рассчитывались доверительные интервалы, отвечающие доверительной вероятности 0.95, для удобства представленные в натуральном выражении (первая цифра – плюс к среднему, вторая цифра – минус от среднего). Полученные результаты представлены в табл. 8. Так как представительность материала по природным флюидам мала, можно лишь сделать предварительный вывод, что содержания фтора и бария в природных флюидах в среднем меньше, чем в магматических силикатных расплавах. Это, например, показано в работе (Викентьев и др., 2012) по данным анализа флюидных и расплавных включений в фенокристаллах кварца вулканитов методом LA-ICP-MS: концентрация Ba в магматическом флюиде (30.6 г/т) существенно ниже, чем в сосуществующем риодацитом расплаве (454.9 г/т).

В заключение мы полагаем, что приведенные данные об основных физико-химических параметрах минералообразующих флюидов, основанные на достаточно представительных результатах исследований включений в минералах, должны учитываться при построении генетических моделей формирования месторождений флюорита и барита, а также различных рудных месторождений, где барит и, реже, флюорит относятся к числу распространенных минералов руд и околорудных измененных пород.

Авторы благодарны И.В. Викентьеву и В.А. Коваленкеру за редакционные замечания, учтенные при доработке текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева И.А., Коваленко В.И., Кононкова Н.Н. (2006) Натровые карбонатитовые расплавы Большетагинского массива, Восточный Саян. *ДАН*. **408**, 78-82.
- Андреева И.А., Наумов В.Б., Коваленко В.И., Кононкова Н.Н. (1998) Фторидно-сульфатные и хлоридно-сульфатные солевые расплавы карбонатитосодержащего комплекса Мушугай-Худук, Южная Монголия. *Петрология*. **6**(3), 308-316.
- Архипчук Р.З., Галабурда Ю.А., Горбачева Л.Ю. (1989) Флюоритообразующие гидротермы месторождений Центральной Азии. *Минералог. сборник, вып. 1*. (43), 84-87.
- Бредихина С.А. (1990) Физико-химические особенности образования флюорита из месторождений Вознесенского рудного поля (Приморье). *Геология и геофизика*. (12), 78-87.
- Викентьев И.В., Борисова А.Ю., Карпухина В.С., Наумов В.Б., Рябчиков И.Д. (2012) Прямые данные о рудоносности кислых магм Узельгинского рудного поля (Южный Урал, Россия). *ДАН*. **443**(3), 347-351.
- Винокуров С.Ф., Голубев В.Н., Крылова Т.Л., Прокофьев В.Ю. (2014) РЗЭ и флюидные включения в зональных флюоритах Восточного Забайкалья: распределение и геохимическое значение. *Геохимия*. (8), 715-731.
- Vinokurov S.F., Golubev V.N., Krylova T.L., Prokof'ev V.Yu. (2014) REE and fluid inclusions in zoned fluorites from Eastern Transbaikalia: Distribution and geochemical significance. *Geochem. Int.* **52**(8), 654-669.
- Миронова О.Ф. (2010) Летучие компоненты природных флюидов по данным изучения включений в минералах: методы и результаты. *Геохимия*. (1), 89-97.
- Mironova O.F. (2010) Volatile components of natural fluids: Evidence from inclusions in minerals: methods and results. *Geochem. Int.* **48**(1), 83-90.
- Миронова О.Ф., Салазкин А.Н., Наумов В.Б. (1995) Валовые и точечные методы в анализе летучих компонентов флюидных включений. *Геохимия*. (7), 974-984.
- Наумов В.Б., Иванова Г.Ф. (1980) О связи редкометального оруденения с кислым магматизмом по дан-

- ным изучения включений в минералах. *Геология рудных месторождений*. (3), 95-103.
- Наумов В.Б., Соколов А.Л. (1981) Генетические соотношения гранитов и оловорудных жил месторождения Индустриального по данным изучения включений в минералах. *Геология рудных месторождений*. (4), 74-80.
- Наумов В.Б., Шапенко В.В. (1980) Концентрация железа в высокотемпературных хлоридных растворах по данным изучения флюидных включений. *Геохимия*. (2), 231-238.
- Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. (2009) Основные физико-химические параметры природных минералообразующих флюидов. *Геохимия*. (8), 825-851.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Mironova O.F. (2009) Principal physicochemical parameters of natural mineral-forming fluids. *Geochem. Int.* **47**(8), 777-802.
- Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. (2011) Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследований флюидных включений. I. Месторождения олова и вольфрама. *Геохимия*. (10), 1063-1082.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Mironova O.F. (2011) Physicochemical parameters of the formation of hydrothermal deposits: A fluid inclusion study. I. Tin and tungsten deposits. *Geochem. Int.* **49**(10), 1002-1021.
- Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. (2014) Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследований флюидных включений. II. Месторождения золота, серебра, свинца и цинка. *Геохимия*. (6), 483-506.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Mironova O.F. (2014) Physicochemical formation parameters of hydrothermal mineral deposits: Evidence from fluid inclusions. II. Gold, silver, lead, and zinc deposits. *Geochem. Int.* **52**(6), 433-455.
- Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. (2015) Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследований флюидных включений. III. Месторождения урана. *Геохимия*. (2), 123-143.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Mironova O.F. (2015) Physicochemical parameters of formation of hydrothermal mineral deposits: Evidence from fluid inclusions. III. Uranium deposits. *Geochem. Int.* **53**(2) 113-132.
- Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. (2017) Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследований флюидных включений. IV. Месторождения меди и молибдена. *Геохимия*. (8), 715-729.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Mironova O.F. (2017) Physicochemical parameters of the origin of hydrothermal mineral deposits: Evidence from fluid inclusions. IV. Copper and molybdenum deposits. *Geochem. Int.* **55**(8), 711-725.
- Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. (2018) Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследований флюидных включений. V. Месторождения сурьмы, мышьяка и ртути. *Геохимия*. (9), 869-882.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Mironova O.F. (2018) Physicochemical parameters of the origin of hydrothermal mineral deposits: Evidence from fluid inclusions. V. Antimony, arsenic, and mercury deposits. *Geochem. Int.* **56**(9), 901-914.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Клоккятти Р., Соловова И.П. (1984) Параметры кристаллизации и составы фаз расплавных включений в кварце онгориолитов. *Геохимия*. (4), 451-464.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Соболев А.В., Тихоненков П.И., Самойлов В.С. (1986) Несмесимость силикатных и солевых расплавов по данным изучения включений в высокотемпературном флюорите. *ДАН СССР*. **288**(2), 453-456.
- Наумов В.Б., Соловова И.П., Коваленко В.И., Гужова А.В. (1989) Условия кристаллизации и особенности состава фаз расплавных включений в анортклазе апаитовых трахитов о. Пантеллерия (Италия). *Геохимия*. (2), 207-215.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А., Гирнис А.В., Ярмолюк В.В. (2010) Средний состав магматических расплавов главных геодинамических обстановок по данным изучения расплавных включений в минералах и закалочных стекол пород. *Геохимия*. (12), 1266-1288.
- Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A., Girnys A.V., Yarmolyuk V.V. (2010) Average compositions of igneous melts from main geodynamic settings according to the investigation of melt inclusions in minerals and quenched glasses of rocks. *Geochem. Int.* **48**(12), 1185-1207.
- Рейф Ф.Г., Ишков Ю.М. (1999) Ве-носные сульфатно-фторидные рассолы – продукт дистилляции остаточных пегматитов щелочно-гранитной интрузии (Ермаковское F-Ве-месторождение, Забайкалье). *Геохимия*. (10), 1096-1111.
- Соловова И.П., Наумов В.Б., Коваленко В.И., Рябчиков И.Д., Кононкова Н.Н. (1987) Магматический флюорит и условия его кристаллизации из пантеллеритового расплава. *ДАН СССР*. **297**(6), 1449-1452.
- Соболев А.В., Соболев Н.В., Смит К.Б., Кононкова Н.Н. (1985) Новые данные по петрологии оливиновых лампроитов Западной Австралии по результатам исследования магматических включений. *ДАН СССР*. **284**(1), 196-201.
- Шарыгин В.В., Базарова Т.Ю. (1991) Особенности эволюции расплава при кристаллизации вайомингитов Лейцит Хилл, США. *Геология и геофизика*. (6), 61-68.
- Швадус М.И. (1977) Включения во флюоритах из гранитов Забайкалья. *ДАН СССР*. **237**(3), 706-708.
- Alaminia Z., Sharifi M. (2018) Geological, geochemical and fluid inclusion studies on the evolution of barite mineralization in the Badroud area of Iran. *Ore Geol. Rev.* **92**, 613-626.
- Alvin M.P., Dunphy J.M., Groves D.I. (2004) Nature and genesis of a carbonatite-associated fluorite deposit at Speewah, East Kimberley region, Western Australia. *Mineral. Petrol.* **80**(3-4), 127-163.
- Ansdell K.M., Nesbitt B.E., Longstaffe F.J. (1989) A fluid inclusion and stable isotope study of the Tom Ba-Pb-Zn deposit, Yukon Territory, Canada. *Econ. Geol.* **84**(4), 841-856.
- Audetat A. (2010) Source and evolution of molybdenum in the porphyry Mo(-Nb) deposit at Cave Peak, Texas. *J. Petrol.* **51**(8), 1739-1760.
- Baatartsogt B., Schwinn G., Wagner T., Taubald H., Beitter T., Markl G. (2007) Contrasting paleofluid systems in the continental basement: a fluid inclusion and stable isotope study of hydrothermal vein mineralization, Schwarzwald district, Germany. *Geofluids*. **7**(2), 123-147.

- Belkin H.E., De Vivo B., Valera R. (1984) Fluid inclusion study of some Sarrabus fluorite deposits, Sardinia, Italy. *Econ. Geol.* **79**(2), 409-414.
- Benesova Z., Cadek J. (1979) Conditions of the origin of the Moldava fluorite deposit. *Vestn. Ustred. ustavu geol.* **54**(3), 151-161.
- Beny C., Guilhaumou N., Touray J.-C. (1982) Native-sulphur-bearing fluid inclusions in the $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S-H}_2\text{O-S}$ system – Microthermometry and Raman microprobe (MOLE) analyses – thermochemical interpretations. *Chem. Geol.* **37**, 113-127.
- Bouabdellah M., Castorina F., Bodnar R.J., Banks D., Jebbrak M., Prochaska W., Lowry D., Klugel A., Hoernle K. (2013) Petroleum migration, fluid mixing, and halokinesis as the main ore-forming processes at the peridiapiric Jbel Tirremi fluorite-barite hydrothermal deposit, northeastern Morocco. *Econ. Geol.* **108**, 1223-1256.
- Campbell A.R., Banks D.A., Phillips R.S., Yardley B.W.D. (1995) Geochemistry of Th-U-REE mineralizing magmatic fluids, Capitan Mountains, New Mexico. *Econ. Geol.* **90**, 1271-1287.
- Changkakoti A., Gray J., Morton R.D. (1987) The role of basinal brines and thermal springs in the genesis of carbonate-hosted fluorite-witherite mineralization in the Liard River area, British Columbia, Canada. *Neues Jahrb. Miner. Monatsh.* (5), 217-232.
- Cicek M., Oyman T. (2016) Origin and evolution of hydrothermal fluids in epithermal Pb-Zn-Cu+/-Au+/-Ag deposits at Koru and Tesbihdere mining districts, Canakkale, Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geol. Rev.* **78**, 176-195.
- Coelho C.E.S., Touray J.C., Dardenne M.A., Beny C. (1990) Constraints on hydrothermal solutions from fluid and solid inclusion studies in fluorite: application to the Tangua deposit, Rio de Janeiro, Brazil. *Econ. Geol.* **85**(5), 1024-1033.
- Cortecchi G., Fontes J.Ch., Maiorani A., Perna G., Pintus E., Turi B. (1989) Oxygen, sulfur, and strontium isotope and fluid inclusion studies of barite deposits from the Iglesiente-Sulcis mining district, Southwestern Sardinia, Italy. *Mineral. Dep.* **24**(1), 34-42.
- Delouie E. (1982) The genesis of fluorspar hydrothermal deposits at Montroc and Le Bure, the Tarn, as deduces from fluid inclusion analysis. *Econ. Geol.* **77**(8), 1867-1874.
- De Ronde C.E.J., Faure K., Bray C.J., Chappell D.A., Wright I.C. (2003) Hydrothermal fluids associated with seafloor mineralization at two southern Kermadec arc volcanoes, offshore New Zealand. *Mineral. Dep.* **38**(2), 217-233.
- Dhamelincourt P., Beny J.-M., Dubessy J., Poty B. (1979) Analyse d'inclusions fluides a la microsonde MOLE a effet Raman. *Bull. Mineral.* **102**, 600-610.
- Ehya F., Mazraei S.M. (2017) Hydrothermal barite mineralization at Chenarvarden deposit, Markazi Province, Iran: Evidence from REE geochemistry and fluid inclusions. *J. African Earth Sci.* **134**, 299-307.
- Erwood R.J., Kesler S.E., Cloke P.L. (1979) Compositionally distinct, saline hydrothermal solutions, Naica mine, Chihuahua, Mexico. *Econ. Geol.* **74**(1), 95-108.
- Gigoux M., Brigaud B., Pagel M., Delpech G., Guerrot C., Auge T., Negrel P. (2016) Genetic constraints on world-class carbonate- and siliciclastic-hosted stratabound fluorite deposits in Burgundy (France) inferred from mineral paragenetic sequence and fluid inclusion studies. *Ore Geol. Rev.* **72**, 940-962.
- Gonzalez-Partida E., Carrillo-Chavez A., Grimmer J.O.W., Pironon J. (2002) Petroleum-rich fluid inclusions in fluorite, Purisima mine, Coahuila, Mexico. *Internat. Geol. Rev.* **44**(8), 755-764.
- Gonzalez-Partida E., Carrillo-Chavez A., Grimmer J.O.W., Pironon J., Mutterer J., Levresse G. (2003) Fluorite deposits at Encantada-Buenavista, Mexico: Products of Mississippi Valley type processes. *Ore Geol. Rev.* **23**, 107-124.
- Hill G.T., Campbell A.R., Kyle P.R. (2000) Geochemistry of southwestern New Mexico fluorite occurrences implications for precious metals exploration in fluorite-bearing systems. *J. Geochem. Explor.* **68**(1-2), 1-20
- Hurtic N.C., Heinrich C.A., Driesner Y., Herrmann W., Wall V., Mathison I. (2014) Fluid evolution and uranium (-Mo-F) mineralization at the Maureen deposit (Queensland, Australia): unconformity-related hydrothermal ore formation with a source in the volcanic cover sequence. *Econ. Geol.* **109**(3), 737-773.
- Iglesias J.G., Loredó J. (1982) Conditions physico-chimiques de formation des mineralisations a fluorine de la province des Asturies(Espagne): correlations et synthese. *Bull. Bur. Rech. Geol. et Minieres, Sec.* **2**(4), 353-357.
- Jebbrak M., Debbah B., Touray J.-C. (1984) Saumures associees aux fluorines filoniennes du Maroc Central, dans le district d'El Hammam. *Bull. Mineral.* **107**(2), 233-240.
- Jones H.D., Kesler S.E. (1992) Fluid inclusion gas chemistry in east Tennessee Mississippi Valley-type districts: Evidence for immiscibility and implications for depositional mechanisms. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **56**, 137-154.
- Keim M.F., Walter B.F., Neumann U., Kreissl S., Bayerl R., Markl G. (2019) Polyphase enrichment and redistribution processes in silver-rich mineral associations of the hydrothermal fluorite-barite-(Ag-Cu) Clara deposit, SW Germany. *Mineral. Dep.* **54**, 155-174.
- Kontak D.J., Kyser K., Gize A., Marshall D. (2006) Structurally controlled vein barite mineralization in the Maritimes basin of eastern Canada: geologic setting, stable isotopes, and fluid inclusions. *Econ. Geol.* **101**(2), 407-430.
- Leach D.L. (1979) Temperature and salinity of the fluids responsible for minor occurrences of sphalerite in the Ozark region of Missouri. *Econ. Geol.* **74**(4), 931-937.
- Leach D.L. (1980) Nature of mineralizing fluids in the barite deposits of Central and Southeast Missouri. *Econ. Geol.* **75**(8), 1168-1180.
- Lecuyer Ch., Dubois M., Marignac Ch., Gruau G., Fouquet F., Ramboz C. (1999) Phase separation and fluid mixing in subseafloor back arc hydrothermal systems: A microthermometric and oxygen isotope study of fluid inclusions in the barite-sulfide chimneys of the Lau basin. *J. Geophys. Res.* **104**(B8), 17911-17927.
- Loredó J., Iglesias J.G. (1984) Inclusions fluides et modele genetique des mineralisations a fluorine dans le district "Villabona-Arlos" (Austurias, Espagne). *Bull. Mineral.* **107**(2), 217-226.
- Margoum D., Bouabdellah M., Klugel A., Banks D.A., Castorina F., Cuney M., Jebbrak M., Bozkaya G. (2015) Pangea rifting and onward pre-Central Atlantic opening as the main ore-forming processes for the genesis of the Aouli REE-rich fluorite-barite vein system, Upper Moulouya District, Morocco. *J. African Earth Sci.* **108**, 22-39.

- Nash J.T., Cunningham Jr. (1973) Fluid-inclusion studies of the fluor spar and gold deposits, Jamestown district, Colorado. *Econ. Geol.* **68**(8), 1247-1262.
- Naumov E.A., Airiyants A.A., Borisenko A.S., Borovikov A.A., Kamenskiy I.L., Reutskiy V.N. (2004) Helium, carbon and oxygen isotope composition study of the epithermal deposits. *Proceed. IAGOD Conference, Vladivostok, Russia*, 300-303.
- Nesbitt B., Kelly W.C. (1977) Magmatic and hydrothermal inclusions in carbonatite of the Magnet Cove Complex, Arkansas. *Contrib. Mineral. Petrol.* **63**, 271-294.
- Norman D.I., Ting W., Putnaw B.R., Smith R.W. (1985) Mineralization of the Hansonburg Mississippi-Valley-type deposit, New Mexico: insight from composition of gases in fluid inclusions. *Canad. Mineral.* **23**(3), 353-368.
- Nuelle L.M., Shelton K.L. (1986) Geologic and geochemical evidence of possible bedded barite deposits in Devonian rocks of the valley and ridge province, Appalachian Mountains. *Econ. Geol.* **81**(6), 1408-1430.
- O'Connor P.J., Hogelsberger H., Feely M., Rex D.C. (1993) Fluid inclusion studies, rare-earth element chemistry and age of hydrothermal fluorite mineralization in western Ireland – a link with continental rifting? *Trans. Inst. Mining Metallurgy, Sec. B.* **102**, 141-148.
- Ozturk H., Altuncu S., Hanilci N., Kasapci C., Goode-nough K.M. (2019) Rare earth element-bearing fluorite deposits of Turkey: An overview. *Ore Geol. Rev.* **105**, 423-444.
- Pei Q.M., Zhang S.T., Santosh M., Cao H.W., Zhang W., Hu X.K., Wang L. (2017) Geochronology, geochemistry, fluid inclusion and C, O and Hf isotope compositions of the Shuitou fluorite deposit, Inner Mongolia, China. *Ore Geol. Rev.* **83**, 174-190.
- Pei Q.M., Zhang S.T., Hayashi K.I., Wang L., Cao H.W., Zhao Y., Hu X.K., Song K.R., Chao W.W. (2018) Nature and genesis of the Xiaobeigou fluorite deposit, Inner Mongolia, Northeast China: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes. *Resource Geol.* **69**(2), 148-166.
- Ratajeski K., Campbell A.R. (1994) Distribution of fluid inclusions in igneous quartz of the Capitan pluton, New Mexico, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **58**(3), 1161-1174.
- Richardson C.K., Pinckney D.M. (1984) The chemical and thermal evolution of the fluids in the Cave-in-Rock fluor spar district, Illinois: mineralogy, paragenesis, and fluid inclusions. *Econ. Geol.* **79**(8), 1833-1856.
- Roedder E. (1973) Fluid inclusions from the fluorite deposits associated with carbonatite at Amba Dongar, India, and Okorusu, South West Africa. *Tran. Inst. Mining and Metallurgy, sec. B.* **82**, 35-39.
- Sanchez V., Vindel E., Martin-Crespo T., Corbella M., Cardellach E., Banks D. (2009) Sources and composition of fluids associated with fluorite deposits of Asturias (N Spain). *Geofluids.* **9**(4), 338-355.
- Schwinn G., Wagner T., Baatartsogt B., Markl G. (2006) Quantification of mixing processes in ore-forming hydrothermal systems by combination of stable isotope and fluid inclusion analyses. *Geochim Cosmochim. Acta.* **70**(4), 965-982.
- Souissi F., Dandurand J.L., Fortune J.P. (1997) Thermal and chemical evolution of fluids during fluorite deposition in the Zaghuan province, north-eastern Tunisia. *Mineral. Dep.* **32**(3), 257-270.
- Spry P.G., Fuhrmann G.D. (1994) Additional fluid inclusion data for the Illinois-Kentucky fluor spar district: Evidence for the lack of a regional thermal gradient. *Econ. Geol.* **89**(2), 288-306.
- Tas Ozdogan A., Uras Y., Oner F. (2017) Geochemistry of the barite deposits near Adana-Feke area (Eastern Taurides). *Rus. Geol. Geophys.* **58**(8), 1349-1365.
- Valenza K., Moritz R., Mouttaqi A., Fontignie D., Sharp Z. (2000) Vein and karst barite deposits in the western Jebilet of Morocco: fluid inclusion and isotope (S, O, Sr) evidence for regional fluid mixing related to Central Atlantic Rifting. *Econ. Geol.* **95**(3), 587-606.
- Wu S.H., Liu J.J., Zhai D.G. (2015) Factors controlling precipitation of barite and witherite and genesis of the Ankang-Xunyang barium deposits, Shaanxi, China. *Acta Geologica Sinica-English Edition.* **89**(3), 836-851.
- Xie Y.L., Hou Z.Q., Yin S.P., Dominy C.C., Xu J.H., Tian S.H., Xu W.Y. (2009) Continuous carbonatitic melt-fluid evolution of a REE mineralization system: Evidence from inclusions in the Maoniuping REE deposit, Western Sichuan, China. *Ore Geol. Rev.* **36**, 90-105.
- Yang F.Q., Li Q., Yang C.D., Zhang Z.X. (2018) A combined fluid inclusion and S–H–O–He–Ar isotope study of the Devonian Ashele VMS-type copper-zinc deposit in the Altay orogenic belt, northwest China. *J. Asian Earth Sci.* **161**, 139-163.
- Zak K., Dobes P., Sztacho P. (1991) *Variscan and late-Variscan vein mineralization types of the Czech part of the Bohemian Massif: A genetic model. Source, Transport, Deposition of Metals*, ed. M. Pagel, J. Leroy, Balkema, Rotterdam, 235-238.
- Zimmerman R.K., Kesler S.E. (1981) Fluid inclusion evidence for solution mixing, Sweetwater (Mississippi Valley-type) district, Tennessee. *Econ. Geol.* **76**(1), 134-142.
- Zou H., Zhang S.T., Chen A.Q., Fang Y., Zeng Z.F. (2016) Hydrothermal fluid sources of the Fengjia barite-fluorite deposit in southeast Sichuan, China: Evidence from fluid inclusions and hydrogen and oxygen isotopes. *Resource Geol.* **66**(1), 24-36.