

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФЛЮИДОВ МЕЗОЗОЙСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2020 г. В. Ю. Прокофьев^{a, *}, В. Б. Наумов^{b, **}, О. Ф. Миронова^b

^aИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

^bИнститут геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН
ул. Косыгина 19, Москва, 119991 Россия

*e-mail: vpr@igem.ru

**e-mail: naumov@geokhi.ru

Поступила в редакцию 03.10.2018 г.

После доработки 04.02.2019 г.

Принята к публикации 06.06.2019 г.

Продолжено обобщение литературных данных о физико-химических параметрах и особенностях химического состава флюидов золоторудных эндогенных месторождений. Оценены средние величины и пределы вариаций температур, давлений и солёности флюидов мезозойских месторождений золота. Выявлены особенности газового состава рудообразующих флюидов для этих месторождений. Параметры минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота рассмотрены в сравнении с аналогичными параметрами флюидов архейских, протерозойских и палеозойских месторождений золота. Установлено, что мезозойские месторождения в целом отличались от древних более высокой температурой, более низким давлением и выраженным преобладанием углекислоты над другими газами.

Ключевые слова: месторождения золота, мезозой, флюидные включения, физико-химические параметры, минералообразующие флюиды, крупные и суперкрупные месторождения

DOI: 10.31857/S0016752520020107

Статья продолжает цикл работ, посвященных флюидам месторождений золота различного возраста и начатый работой о флюидах докембрийских и палеозойских месторождений золота (Прокофьев и др., 2017; 2018). В мезозойскую эру широко развивались процессы рифто- и орогенеза, которые часто сопровождались формированием жильных месторождений золота в терригенных толщах. Такие месторождения были объединены в единую генетическую группу и получили название “орогенные” (Goldfarb et al., 2001 и др.). В мезозое также проявлен широкий спектр эндогенных месторождений золота, связанных с магматизмом разной щёлочности (эпитермальных золото-серебряных месторождений, связанных с континентальным вулканизмом, Си- и Мо-порфировых с золотом, золото-порфировых, месторождений с тонкодисперсным золотом, так называемых “месторождений типа Карлин”, месторождений золота, связанных с восстановленным гранитоидным магматизмом, скарновых месторождений и других). Настоящая работа посвящена общей оценке диапазона физико-химическим

параметров и общим особенностям химического состава минералообразующих флюидов мезозойских эндогенных месторождений золота.

На основе исследования флюидных включений в минералах руд золоторудных месторождений к настоящему времени опубликован обширный материал как о составе и параметрах минералообразующих флюидов (Наумов и др., 2014 и др.), так и по оценкам возраста процессов рудообразования. Опубликовано более 18 500 определений температур минералообразующих флюидов, 2350 определений давлений, более 15 100 определений солёности растворов и 4800 определений газового состава флюидов. Из этого массива данных были отобраны и осмыслены данные о параметрах и составе флюидов месторождений золота мезозойского возраста, опубликованные к 2018 г. в мировой литературе. Для этого использовалась база данных ГЕОХИ РАН (составитель В.Б. Наумов), включающая на настоящий момент более 21 900 публикаций по флюидным и расплавленным включениям в минералах и содержащая информацию об исследовании флюидных включений в мине-

ралах более 1100 месторождений золота разного возраста из всех регионов мира. Из массива данных были выбраны параметры минералообразующих флюидов месторождений золота с известным возрастом, относящиеся к мезозойской эре, которые приводятся и обсуждаются в данной статье. Все рассматриваемые месторождения (табл. 1) относятся к мезозойской эре, т.е. имеют возраст от 70 до 252 млн лет, подтвержденный либо изотопными данными, либо геологическими взаимоотношениями.

Параметры флюидов в базе данных приведены для отдельных образцов, если такая информация есть в исходной статье. В случаях, когда для отдельного образца авторы приводят много значений температур гомогенизации, в базу вносились средние значения для образцов, в которых разница между минимальной и максимальной температурами была меньше 50°C. Если же интервал между минимальной и максимальной температурами был 50°C или больше, то в базу вводились значения максимальной и минимальной температур. Для концентраций солей в аналогичной ситуации принималось среднее значение, если в одном образце солёность изменялась на величину менее 5 мас. %. Если изменение солёности было 5 мас. % или больше, то заносились крайние значения приводимого интервала. Для давлений природных флюидов средние значения приводились, если разница между средним и максимальным значением не превышала 10%, в противном случае вводились минимальное и максимальное значения давлений. Эти значения были использованы для построения диаграмм. В табл. 2 для каждого месторождения приведен общий диапазон параметров.

В некоторых публикациях для многофазовых включений насыщенных хлоридных рассолов приводилась в качестве температуры гомогенизации температура исчезновения газового пузырька во включении, в то время как фаза галита растворялась при более высокой температуре. Поскольку концентрация солей в таких включениях рассчитывалась по растворимости NaCl (это указывалось в статьях, хотя температуры растворения галита указаны не были), то эти данные попадают в область за кривой насыщения водного раствора хлоридом натрия. Чтобы привести информацию по таким включениям в корректную форму, нами в качестве температур гомогенизации таких включений были приведены данные расчета температуры насыщения раствора NaCl для указанной в исходной статье концентрации.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЗОЗОЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Представленные в обзоре месторождения золота охватывают главные золотоносные провин-

ции с месторождениями золота мезозойского возраста: Запада США, Восточно-Забайкальскую, Китайскую, Южно-Тихоокеанских островов, Британскую Колумбию, Аляску, Приморскую, Колымо-Чукотскую, Охотско-Чукотскую и Южно-Американских Кордильер. Возраст рассмотренных в статье месторождений приводится по имеющимся в публикации сведениям (табл. 1). Если для месторождения существует изотопная оценка возраста, то в табл. 1 приведено конкретное значение возраста. В случае определения возраста по геологическим данным в табл. 1 указано только название эры. По запасам золота изученные месторождения охватывают весь диапазон возможных значений от мелких месторождений (менее 10 т) до суперкрупных (более 1000 т). Запасы месторождений приводятся по опубликованным в открытых источниках данным, как правило, с учетом ранее добытого золота. Жирным шрифтом в табл. 1 выделены месторождения с запасами более 100 т, обычно относимые к числу крупных и суперкрупных. Порядок расположения месторождений в табл. 1 соответствует хронологии публикаций статей с данными о параметрах и составе флюидов.

Некоторая характеристика мезозойских месторождений представлена в табл. 1. Они расположены в разных странах: США, России, Канаде, Китае, Корее, Малайзии, Гондурасе, Чили. Большая часть месторождений золота являются жильными и относятся к главным промышленным типам месторождений золота: эпitherмальным месторождениям в вулканогенных породах, Cu- и Mo-порфировым, золото-порфировым, месторождениях, связанных с гранитоидами, скарновые месторождения, месторождения, приуроченные к зонам смятия, а также месторождениям в терригенных породах (орогенные). В мезозойскую эру сформировались промышленно важные эпitherмальные, порфировые и связанные с гранитоидными интрузиями месторождения золота Аляски, Восточного Забайкалья, Северо-Востока России, Дальнего Востока и Китайской Народной Республики.

Следует отметить, что в рассматриваемую выборку попали широко известные крупные месторождения золота мезозоя: Маунт Миллиган, Дарасун, Балей, Наталка, Неждановское, Майское, Купол и др.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛЮИДОВ

Основные параметры флюидов мезозойских месторождений золота приведены в табл. 2. В целом диапазон изменения физико-химических параметров флюидов палеозойских месторождений весьма широк (рис. 1, 2).

Таблица 1. Характеристика мезозойских месторождений золота

Месторождение, страна	Эпоха, возраст, млн лет	Запасы Au, т	Литература
Карийское, Россия	157	18	Литвинов и др., 1971
Дарасун, Россия	Юра-ранний мел	210	Ляхов, Дмитриев, 1971; Юргенсон и др., 1999
Golden Sunlight, USA	Поздний мел	31	Porter, Ripley, 1985
Big Hurran mine, USA	194–95	<5	Read, Meinert, 1986
Yata, China	206–182	15	Cunningham et al., 1987
Keumdong, Korea	88	75	So, Shelton, 1987
Jeoneui, Korea	Мезозой	—	So et al., 1987
Mercur, USA	Юра-ранний мел	81	Jewell, Parry, 1988
Baegwun, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1988
Banyong mine, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1988
Beonam, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1988
Buegwun, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1988
Dongjin, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1988
Youngdae mine, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1988
Daeil mine, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1989
Yeongbogari mine, Korea	Мезозой?	—	So et al., 1989
Relief Canyon, USA	Поздний мел	9	Wallace, 1989
Laforma, Canada	Мел	—	McInnes et al., 1990
Lawyers, Canada	187–190	140	Diakow et al., 1991
Baker mine, Canada	Юра	77.5	Diakow et al., 1991
Moosehorn, Canada	Поздняя юра	—	Diakow et al., 1991
Mount Graves, Canada	Поздняя юра	—	Diakow et al., 1991
Todoggone River, Canada	Ранняя юра ?	—	Diakow et al., 1991
Mount Estella pluton, USA	65	<10	Grove et al., 1991
Daedu mine, Korea	68.9–71.6	2.6	So, Yun, 1991
Buckhorn Mountain, USA	66	40	Hickey, 1992
Дукат, Россия	82–79	24	Берман и др., 1993
Barneys Canyon, USA	147–159	14	Presnell, Parry, 1996
Golden Sunlight, USA	Поздний мел	31	Spry et al., 1996
Карийское, Россия	157	18	Прокофьев и др., 1997
Shasto, Canada	193–198	4.5	Thiersch et al., 1997
Eskay Creek, Canada	Мезозой	114	Sherlock et al., 1999
Niuxinshan, China	166	20	Yao et al., 1999
Hanshan, China	213–224	60	Mao et al., 2000
Dublin Gulch, Canada	92.8	127	Baker, Lang, 2001
Emerald Lake, Canada	92.5	19	Baker, Lang, 2001
Scheelite Dome, Canada	92.5	—	Baker, Lang, 2001
Mike Lake, Canada	Мел	—	Baker, Lang, 2001
Dublin Gulch, Canada	92.8	127	Maloof et al., 2001
Shotgun, USA	67	30	Rombach, Newberry, 2001
Кючус, Россия	Поздний мел	157	Наумов и др., 2002
Светлое, Россия	Мезозой	—	Наумов и др., 2002
Майское, Россия	Мезозой	—	Наумов и др., 2002
Тунгинский узел, Россия	Мезозой	—	Наумов и др., 2002
Левосакыджинское, Россия	Мезозой	—	Наумов и др., 2002
Тас-Уряхское, Россия	Мел	40	Наумов и др., 2002
Wangu, China	70	13	Mao et al., 2002
Baidi, China	140–75	—	Zhong et al., 2002
Banqi, China	206–182	10	Zhong et al., 2002
Dongbeizhai, China	Юра	53	Zhong et al., 2002
Gaolong, China	206–182	25	Zhong et al., 2002
Gedang, China	206–182	7	Zhong et al., 2002
Jinya, China	Мел	30	Zhong et al., 2002
Lannigou, China	206–182	80	Zhong et al., 2002
Mingshan, China	206–182	10	Zhong et al., 2002
Shijia, China	140–75	10	Zhong et al., 2002
Fu Ning, China	Мезозой	—	Cromie, Zaw, 2003
Sanshandao, China	128	107	Fan et al., 2003
Dongping, China	153	100	Mao et al., 2003
Дальнее, Россия	Мел	<10	Кравцова и др., 2003

Таблица 1. Продолжение

Месторождение, страна	Эпоха, возраст, млн лет	Запасы Au, т	Литература
Дукат, Россия	82–79	24	Кравцова и др., 2003
Теремкинское, Россия	Мезозой	10	Прокофьев и др., 2004
Майское, Россия	115–107	262	Бортников и др., 2004; (1)
Paishanlou, China	126–124	40	Zhang et al., 2005
Талатуй, Россия	Мезозой	27	Прокофьев и др., 2005
Промежуточное, Россия	Поздний мел	—	Волков и др., 2006
Denggezhuang, China	118	—	Zeng et al., 2006
Купол, Россия	Мел	158	Волков и др., 2006; (2)
Прямое, Россия	Мел	—	Волков и др., 2006
Guilaizhuang, China	Мезозой	35	Hu et al., 2006
Lifanggou, China	Мезозой	7	Hu et al., 2006
Mofanggou, China	Мезозой	3	Hu et al., 2006
Нежданинское, Россия	115–124	385	Бортников и др., 2007; (3)
Промежуточное, Россия	107–110	7.5	Волков и др., 2007
Дыбы, Россия	122–125	30	Гамянин и др., 2007
Курум, Россия	92–124	<1	Гамянин и др., 2007
Эргелях 1, Россия	137–143	3	Гамянин и др., 2007
Эргелях 2, Россия	137–143	3	Гамянин и др., 2007
Эргелях 3, Россия	137–143	3	Гамянин и др., 2007
Бугдаинское, Россия	Поздняя юра	11.2	Коваленкер и др., 2007
Самозавское, Россия	127–135	7	Краснов и др., 2007
Сарылах, Россия	Ранний мел	20	Оболенский и др., 2007
Талатуй, Россия	Мезозой	27	Прокофьев и др., 2007
Fenghuangshan, China	Мел	18	Lai et al., 2007
Baijintazi, China	Мезозой	1.2	Li et al., 2007
Heijintaizi, China	Мезозой	1.5	Li et al., 2007
Huangjinping, China	Мезозой	12	Li et al., 2007
Linglong-Dakatiu, China	Ранний мел	124	Zhang et al., 2007
Yinshan, China	139–167	30	Zhang et al., 2007
Yueshan, China	130–136	10	Zhou et al., 2007
Аркачанское, Россия	Мезозой	100	Аристов и др., 2008
Наталкинское, Россия	135	497	Горячев и др., 2008; (4)
Kemess South, Canada	Ранняя юра	104	Duuring et al., 2009
Родионовское, Россия	Ранний мел	4.6	Волков и др., 2009
Shuiyindong, China	182–206	55	Su et al., 2009
Yata, China	182–206	15	Su et al., 2009
Qiyugou, China	105–183	416	Chen et al., 2009
Пауковское поле, Россия	Мезозой	—	Сидоров и др., 2009
Samgwang, Korea	127	72	Yoo et al., 2010
Сарылах, Россия	Ранний мел	20	Бортников и др., 2010
Сентачан, Россия	Ранний мел	40	Бортников и др., 2010
Школьное, Россия	135	2	Волков и др., 2011
Yinan, China	121	6.8	Zhang et al., 2011
Бадран, Россия	Мезозой	14	Оболенский и др., 2011
Балей, Россия	Поздний мел	557	Спиридонов и др., 2011
Агатовское, Россия	Поздний мел	<5	Сидоров и др., 2011
Погромное, Россия	Поздняя юра	50	Волков и др., 2011
Промежуточное, Россия	Поздний мел	7.5	Волков, Прокофьев, 2011
Дорожное, Россия	Мезозой	<5	Савва и др., 2011
Datuanshan, China	135–141	10	Deng et al., 2011
Huashupo, China	Мезозой	—	Deng et al., 2011
Shizishan, China	Триас	46	Deng et al., 2011
Tongguanshan, China	Мезозой	33	Deng et al., 2011
Xishizishan, China	Мезозой	—	Deng et al., 2011
Shaxi, China	128	—	Gu et al., 2011
Shizishan, China	Триас	46	Gu et al., 2011
Tongniujiang, China	128	—	Gu et al., 2011
Xiaomiaoshan, China	128	—	Gu et al., 2011
Zhangbaling belt, China	116–118	—	Huang et al., 2011
Mount Milligan, Canada	Мезозой	706	LeFort et al., 2011

Таблица 1. Окончание

Месторождение, страна	Эпоха, возраст, млн лет	Запасы Au, т	Литература
Duobuza, China	121.6	13	Li et al., 2011
Baocun, China	135–145	5	Xu et al., 2011
Datuanshan, China	Мезозой	—	Xu et al., 2011
Wenyu, China	127	32	Zhou et al., 2011
Sunshin, Canada	70.1–70.5	—	Kim et al., 2012
Banqi, China	206–182	10	Gu et al., 2012
Bojitian, China	206–182	—	Gu et al., 2012
Lannigou, China	206–182	80	Gu et al., 2012
Shuiyindong, China	206–182	55	Gu et al., 2012
Taipingdong, China	206–182	—	Gu et al., 2012
Yata, China	206–182	15	Gu et al., 2012
Zimudang, China	206–182	60	Gu et al., 2012
Сентябрьское, Россия	Мел	15	Николаев и др., 2013
Двойное, Россия	Мел	64	Николаев и др., 2013; (5)
Sanshandao, China	128	100	Hu et al., 2013
Qianhe, China	124–135	22	Tang et al., 2013
Sipingshan, China	87–122–135	—	Zhang et al., 2013
Yinjiagou, China	Ранний мел	7.5	Zhu et al., 2013
Xinli, China	128	30	Deng et al., 2015
Ulu Sokor, Malaysia	Триас	—	Li et al., 2015
Canan area, Honduras	Поздний мел	—	Salvioli-Mariani et al., 2015
Xincheng, China	120	>60	Wang et al., 2015
Nancha, China	170	31	Chai et al., 2016
Anjiayingzi, China	121–135	35	Fu et al., 2016
Dexing, China	170	215	Liu et al., 2016
Sanshandao, China	128	107	Wen et al., 2016
Taishang, China	150–165	108	Yang et al., 2016
Самолазовское, Россия	127–135	7	Борисенко и др., 2017
Xiadian, China	130	200	Chai et al., 2017
Jiaojia, China	Юра-ранний мел	—	Guo et al., 2017
Linglong, China	Юра-ранний мел	—	Guo et al., 2017
Lilianita, Chile	Юра-ранний мел	<10	Kojima et al., 2017
Jiangnan Orogenic Belt, China	130–144	970	Xu et al., 2017
Wang'ershan, China	119–121	>60	Yang et al., 2017
Yueyang, China	91.5–103	1330	Zhong et al., 2017
Rogovik, Russia	Поздний мел	<5	Zhuravkova et al., 2017
Qinglong, China	134–148	—	Chen et al., 2018
Daxintun, China	153	>5	Gao et al., 2018
Shangmachang, China	113.6	>11	Gao et al., 2018
Beidagou, China	115.5	>5	Gao et al., 2018
Jintingling, China	123	50	Ma et al., 2018
Brucejack, Canada	184–188	250	Tombe et al., 2018
Zijinshan, China	103–110	>300	Zhong et al., 2018

Примечания. Жирным шрифтом в табл. 1 выделены месторождения с запасами более 100 тонн, обычно относимые к числу крупных и суперкрупных. Прочерк — нет данных. В скобках указаны Интернет-ссылки на последние данные о запасах золота месторождений: (1) — https://nedradv.ru/mineral/places/mineral-objinfo.cfm?id_obj=f2f5e2370b07304ef3b5b8e49133fc5c; (2) — <http://webmineral.ru/deposits/item.php?id=3268>; (3) — <https://gold.lprime.ru/news/20181112/289035.html>; (4) — <http://poly-us.com/ru/media/press-releases/novaya-otsenka-zapasov-rudy-i-mineralnykh-resursov/>; (5) — <http://www.catalogmineralov.ru/deposit/dvoynoe/>.

Мезозойские минералообразующие флюиды золоторудных месторождений характеризуются очень широким интервалом температур от 75 до 955°C (в среднем 270°C, рис. 3, табл. 3) и концентраций солей от 0.1 до 82.0 мас. % экв. NaCl (в среднем 11.9 мас. % экв. NaCl, рис. 4, табл. 3). Высокие температуры (до 955°C) по достаточолучены для минералообразующих флюидов порфировых месторождений и месторождений, связанных с

гранитоидными интрузивами. Можно уверенно сделать вывод, что эти флюиды отделялись непосредственно от магматических очагов. Т.е. золотая минерализация в этих месторождениях формируется магматическим флюидом, отделившимся от магматического очага в форме хлоридного рассола, который на ранних стадиях рудного процесса имел достаточно высокие температуры. Большая часть данных лежит в более узком диапазоне тем-

Таблица 2. Параметры рудообразующих флюидов мезозойских месторождений золота

Месторождение, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	C*, мас. %	d, г/см ³	P, бар	Состав**	
Карийское, Россия Дарасун, Россия Golden Sunlight, USA Big Hurran mine, USA Yata, China Keumdong, Korea Jeoneui, Korea Mercur, USA Baegwun, Korea Banyong mine, Korea Beonam, Korea	310–450 (7)	32.5–45.0	1.00–1.14	590–950 (7)	H ₂ O	Литвинов и др., 1971 Ляхов, Дмитриев, 1971 Porter, Ripley, 1985 Read, Meinert, 1986 Cunningham et al., 1987 So, Shelton, 1987 So et al., 1987 Jewell, Parry, 1988 So et al., 1988 So et al., 1988 So et al., 1988 So et al., 1988 So et al., 1988 So et al., 1988 So et al., 1989 So et al., 1989 Wallace, 1989 McInnes et al., 1990 Diakow et al., 1991 Diakow et al., 1991 Diakow et al., 1991 Diakow et al., 1991 Diakow et al., 1991 Growe et al., 1991 So, Yun, 1991 Hickey, 1992 Берман и др., 1993 Прокофьев, Зорина, 1996 Presnell, Parry, 1996 Spry et al., 1996 Прокофьев и др., 1997 Thiersch et al., 1997 Sherlock et al., 1999 Yao et al., 1999 Прокофьев и др., 2000
	395 (1)	38.0	1.45	–	H ₂ O	
	130–230 (2)	1.0	0.83–0.94	–	H ₂ O	
	155–240 (9)	2.2–6.8	0.88–0.95	–	H ₂ O	
	150–240 (2)	5.0	0.86–0.96	–	H ₂ O	
	205 (1)	4.7	0.90	–	H ₂ O	
	180–355 (5)	4.0–11.1	0.64–0.97	150 (2)	H ₂ O	
	130–305 (10)	3.5–7.4	0.78–0.97	–	H ₂ O	
	200–360 (2)	5.5	0.65–0.91	–	H ₂ O	
	230–350 (2)	1.5	0.59–0.84	–	H ₂ O	
Buegwun, Korea Dongjin, Korea Youngdae mine, Korea Daeil mine, Korea Yeongbogari mine, Korea Relief Canyon, USA Laforma, Canada Lawyers, Canada Baker mine, Canada Moosehorn, Canada Mount Graves, Canada Todoggone River, Canada Mount Estella pluton, USA Daedu mine, Korea Buckhorn Mountain, USA Дукат, Россия	205–330 (4)	1.7–7.5	0.67–0.92	–	H ₂ O	
	230–340 (2)	6.5	0.70–0.89	–	H ₂ O	
	190–355 (4)	6.8–7.0	0.70–0.93	–	H ₂ O	
	230–335 (4)	5.3–6.8	0.70–0.88	–	H ₂ O	
	245–375 (4)	3.1–9.1	0.54–0.88	–	H ₂ O	
	240–375 (6)	2.6–7.9	0.54–0.87	–	H ₂ O	
	170–230 (10)	0.2–0.8	0.83–0.90	–	H ₂ O	
	135–450 (8)	3.2–43.0	0.78–1.12	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	
	100–180 (2)	1.8	0.91–0.98	–	H ₂ O	
	330 (1)	1.8	0.67	–	H ₂ O	
Дарасун, Россия Barneys Canyon, USA Golden Sunlight, USA Карийское, Россия Shasto, Canada Eskay Creek, Canada Niuxinshan, China Дарасун, Россия	130–230 (3)	1.0–6.3	0.83–0.95	–	H ₂ O	
	245–295 (2)	6.5	0.80–0.86	–	H ₂ O	
	190 (1)	3.0	0.91	–	H ₂ O	
	599–603 (6)	73.3–74.4	1.29–1.40	–	H ₂ O	
	105–325 (11)	0.9–5.4	0.71–0.97	–	H ₂ O	
	230–445 (13)	1.7–23.0	0.42–1.01	–	H ₂ O	
	200–360 (6)	2.5–2.8	0.63–0.88	90–600 (2)	H ₂ O	
	135–600 (62)	2.2–51.0	0.48–1.06	65–2040 (25)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	
	225–345 (2)	1.5	0.61–0.85	–	H ₂ O	
	140–425 (18)	1.2–14.6	0.49–1.03	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	
Дарасун, Россия Barneys Canyon, USA Golden Sunlight, USA Карийское, Россия Shasto, Canada Eskay Creek, Canada Niuxinshan, China Дарасун, Россия	125–495 (112)	0.5–56.0	0.44–1.14	85–2820 (54)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	
	170–310 (8)	0.1–4.0	0.69–0.93	–	H ₂ O	
	100–210 (30)	0.9–8.1	0.90–1.00	–	H ₂ O	
	180–335 (11)	4.1–9.6	0.74–0.92	760–3700 (9)	CO ₂ + H ₂ O	
Дарасун, Россия	120–445 (14)	5.8–52.6	0.66–1.12	95–2040 (6)	CO ₂ + H ₂ O	

Таблица 2. Продолжение

Месторождение, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	C*, мас. %	d, г/см ³	P, бар	Состав**	
Hanshan, China	150–310 (5)	3.1–10.7	0.73–0.95	–	H ₂ O	Mao et al., 2000
Dublin Gulch, Canada	140–220 (4)	2.1–15.7	0.86–1.04	–	H ₂ O	Baker, Lang, 2001
Emerald Lake, Canada	155–285 (8)	4.3–37.3	0.82–1.14	–	H ₂ O	Baker, Lang, 2001
Scheelite Dome, Canada	185 (1)	6.3	0.93	–	H ₂ O	Baker, Lang, 2001
Mike Lake, Canada	280–444 (6)	31.9–52.5	0.98–1.22	–	H ₂ O	Baker, Lang, 2001
Dublin Gulch, Canada	140–355 (16)	0.2–15.7	0.55–1.03	–	CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ O	Maloof et al., 2001
Shotgun, USA	270–565 (8)	28.0–69.0	0.76–1.30	–	H ₂ O	Rombach, Newberry, 2001
Ключевое, Россия	120–150 (2)	2.8–3.3	0.94–0.96	–	H ₂ O	Наумов и др., 2002
Светлое, Россия	140–215 (5)	2.9–14.0	0.90–1.03	–	H ₂ O	Наумов и др., 2002
Майское, Россия	175 (1)	5.6	0.99–1.02	–	H ₂ O	Наумов и др., 2002
Тунгинский узел, Россия	75–145 (2)	7.9	0.99–1.02	–	H ₂ O	Наумов и др., 2002
Левосакдыжское, Россия	120–240 (4)	1.0–5.2	0.83–0.95	–	H ₂ O	Наумов и др., 2002
Тас-Уряхское, Россия	155 (1)	2.0	0.94	–	H ₂ O	Наумов и др., 2002
Wangu, China	140–310 (14)	3.0–6.0	0.73–0.97	–	H ₂ O	Mao et al., 2002
Baidi, China	170–265 (5)	3.9–6.6	0.83–0.93	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Banqi, China	180–230 (2)	3.2	0.85–0.92	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Dongbeizhai, China	120–170 (2)	5.0	0.94–0.98	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Gaolong, China	125–290 (5)	2.4–5.1	0.78–0.96	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Gedang, China	155–305 (4)	3.4–6.0	0.77–0.94	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Jinya, China	145–270 (4)	2.9–5.1	0.82–0.95	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Lannigou, China	160–255 (3)	4.5–4.9	0.84–0.94	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Mingshan, China	135–185 (2)	4.0–5.0	0.92–0.96	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Shijia, China	150–225 (3)	1.9–6.7	0.87–0.93	–	H ₂ O	Zhong et al., 2002
Kuzhubao, China	180–275 (4)	0.8–13.0	0.76–0.99	–	CO ₂ + H ₂ O	Cromie, Zaw, 2003
Bashishan, China	210–330 (8)	4.3–9.3	0.71–0.93	–	CO ₂ + H ₂ O	Cromie, Zaw, 2003
Sanshandao, China	150–355 (36)	1.5–7.1	0.61–0.97	1200–2100 (46)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Fan et al., 2003
Dongping, China	250–375 (32)	4.7–8.9	0.30–0.86	600–1800 (32)	CO ₂ + H ₂ O	Mao et al., 2003
Дальнее, Россия	220–355 (11)	0.6–2.1	0.57–0.86	–	H ₂ O	Кравцова и др., 2003
Дукат, Россия	185–435 (23)	0.6–37.0	0.64–1.11	–	H ₂ O	Кравцова и др., 2003
Теремкинское, Россия	140–465 (52)	3.9–34.0	0.49–1.10	190–410 (3)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Прокофьев и др., 2004
Майское, Россия	120–515 (30)	0.9–37.5	0.71–1.12	190–1240 (19)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Бортников и др., 2004
Paishanlou, China	130–450 (14)	3.1–33.3	0.70–1.00	1400–1900 (2)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Zhang et al., 2005
Талатуй, Россия	305–595 (5)	5.9–48.7	0.63–1.01	150–1970 (4)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Прокофьев и др., 2005
Промежуточное, Россия	180–250 (8)	2.9–4.3	0.83–0.94	30–250 (2)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Волков и др., 2006
Dengezhuang, China	80–390 (44)	1.1–16.4	0.68–1.02	–	CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ S, H ₂ O	Zeng et al., 2006

Таблица 2. Продолжение

Месторождение, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	C*, мас. %	d, г/см ³	P, бар	Состав**	
Купол, Россия	220–270 (2)	2.1	0.78–0.86	–	H ₂ O	Волков и др., 2006
Прямое, Россия	145–430 (4)	5.3–21.0	0.50–1.09	110–360 (2)	CO ₂ + H ₂ O	Волков и др., 2006
Guilaizhuang, China	110–500 (13)	4.9–17.3	0.58–1.02	–	H ₂ O	Hu et al., 2006
Lifanggou, China	105–450 (24)	5.4–15.5	0.48–1.03	–	H ₂ O	Hu et al., 2006
Mofanggou, China	120–385 (10)	5.4–15.5	0.62–1.04	–	H ₂ O	Hu et al., 2006
Нежданское, Россия	130–380 (40)	1.9–31.1	0.65–1.12	520–1870 (34)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Бортников и др., 2007
Промежуточное, Россия	185–245 (3)	3.6–4.0	0.83–0.92	30–250 (2)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Волков и др., 2007
Дыбы, Россия	225–495 (6)	6.9–35.3	0.83–1.09	490–1500 (3)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Гамянин и др., 2007
Курум, Россия	195–375 (2)	5.1–20.4	0.85–0.91	390–510 (2)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Гамянин и др., 2007
Эргелях 1, Россия	245–360 (5)	3.7–32.7	0.70–0.96	–	H ₂ O	Гамянин и др., 2007
Эргелях 2, Россия	265–305 (4)	1.9–8.6	0.76–0.85	940–1140 (2)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Гамянин и др., 2007
Эргелях 3, Россия	270 (1)	3.6	0.80	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Гамянин и др., 2007
Арканское, Россия	250–385 (2)	3.7–26.3	0.84–0.86	1300–1700 (2)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Гамянин и др., 2007
Буданское, Россия	205–575 (11)	6.9–70.5	0.66–1.45	–	H ₂ O	Коваленкер и др., 2007
Самозавское, Россия	150–335 (19)	0.4–12.3	0.65–0.98	–	CO ₂ + CH ₄ , CO ₂ + H ₂ O	Краснов и др., 2007
Сарылах, Россия	130–380 (3)	0.5–6.4	0.59–0.98	–	CO ₂ + H ₂ O	Оболеский и др., 2007
Сентачан, Россия	200–380 (2)	0.5–6.4	0.72–0.91	–	CO ₂ + H ₂ O	Оболеский и др., 2007
Талагуй, Россия	135–610 (50)	0.4–56.3	0.20–1.21	110–3370 (36)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Прокофьев и др., 2007
Купол, Россия	225 (1)	1.9	0.81	–	H ₂ O	Сидоров и др., 2007
Fenghuangshan, China	120–620 (90)	3.4–71.5	0.63–1.40	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Lai et al., 2007
Bajintazi, China	180–385 (10)	6.9–13.2	0.58–0.98	–	CO ₂ + H ₂ O	Li et al., 2007
Heijintaizi, China	200–280 (9)	11.7–14.1	0.87–0.98	–	CO ₂ + H ₂ O	Li et al., 2007
Huangjinping, China	180–360 (6)	6.7–18.5	0.78–1.03	–	CO ₂ + H ₂ O	Li et al., 2007
Linglong, China	180–360 (13)	3.0–14.6	0.60–1.01	–	CO ₂ + H ₂ O	Zhang et al., 2007
Yinshan, China	200–580 (63)	1.2–65.8	0.45–1.25	–	H ₂ O	Zhang et al., 2007
Yueshan, China	125–650 (28)	2.0–53.0	0.86–1.22	–	H ₂ O	Zhou et al., 2007
Арканское, Россия	230–290 (4)	12.0–20.0	0.86–1.01	–	CO ₂ + H ₂ O	Аристов и др., 2008
Наталинское, Россия	205–360 (12)	1.9–6.2	0.61–0.91	1120–2430 (13)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Горячев и др., 2008
Родионовское, Россия	295–335 (2)	6.8–7.3	0.79	1180–1530 (2)	CO ₂ + H ₂ O	Волков и др., 2009
Keness South, Canada	225–463 (25)	33.5–54.9	1.05–1.14	–	H ₂ O	Duuring et al., 2009
Shuiyindong, China	210–225 (2)	4.7–6.3	0.89	–	H ₂ O	Su et al., 2009
Yata, China	150–260 (9)	2.1–7.2	0.84–0.94	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Su et al., 2009
Qiyugou, China	160–460 (24)	3.7–37.2	0.58–1.02	–	H ₂ O	Chen et al., 2009
Пауковское поле, Россия	150–430 (12)	0.5–50.5	0.78–1.22	–	H ₂ O	Сидоров и др., 2009
Samgwang, Korea	145–385 (13)	0.1–11.2	0.61–0.99	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Yoo et al., 2010

Таблица 2. Продолжение

Месторождение, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	C*, мас. %	d, г/см ³	P, бар	Состав**	
Сарылах, Россия Сентаган, Россия Школьное, Россия Qiyugou, China Yinan, China Бацран, Россия Балей, Россия Агаповское, Россия Погромное, Россия Промежуточное, Россия	170–310 (12)	1.6–6.8	0.72–0.92	300–3400 (17)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Бортников и др., 2010
	155–320 (14)	1.6–6.4	0.71–0.95	1160–1960 (13)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Бортников и др., 2010
	190–350 (23)	2.1–10.0	0.77–1.02	365–2320 (8)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Волков и др., 2011
	109–476 (22)	3.9–47.0	0.65–1.10	–	H ₂ O	Fan et al., 2011
	100–575 (18)	2.1–70.2	0.81–1.45	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Zhang et al., 2011
	140–320 (3)	4.5–10.0	0.80–0.97	100–2000 (2)	CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ O	Оболенский и др., 2011
	150–355 (52)	0.5–6.8	0.67–0.94	40–150 (22)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Спиридонов и др., 2011
	205–230 (6)	3.7–6.0	0.88–0.89	–	H ₂ O	Сидоров и др., 2011
	285–365 (6)	6.5–11.1	0.71–0.85	980–2800 (11)	CO ₂ + H ₂ O	Волков и др., 2011
	180–250 (8)	2.9–4.3	0.83–0.92	250 (1)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Волков, Прокофьев, 2011
Дорожное, Россия Datianshan, China Huashupo, China Shizishan, China Tongguanshan, China Xishizishan, China Shaxi, China Shizishan, China Tongniujing, China Xiaomiaoshan, China	125–165 (4)	5.0–10.50	0.94–1.01	–	H ₂ O	Савва и др., 2011
	205–435 (7)	7.6–43.8	0.72–1.09	–	H ₂ O	Deng et al., 2011
	190–525 (11)	9.6–42.4	0.70–1.07	–	H ₂ O	Deng et al., 2011
	150–600 (11)	2.1–56.2	0.52–1.05	–	H ₂ O	Deng et al., 2011
	290–580 (10)	6.0–37.8	0.64–0.85	–	H ₂ O	Deng et al., 2011
	91–570 (8)	1.1–54.5	0.87–1.12	–	H ₂ O	Deng et al., 2011
	110–520 (10)	8.0–58.0	0.80–1.13	–	H ₂ O	Gu et al., 2011
	160–610 (13)	2.1–56.2	0.69–1.19	–	H ₂ O	Gu et al., 2011
	190–450 (3)	30.0–48.0	1.00–1.10	–	H ₂ O	Gu et al., 2011
	90–370 (4)	0.7–43.0	0.81–1.14	–	H ₂ O	Gu et al., 2011
Zhangbaling belt, China Mount Milligan, Canada Duobuza, China Baocun, China Datianshan, China Wenyu, China Sunshin, Canada Banqi, China Bojitian, China Lannigou, China	115–335 (20)	6.3–11.6	0.72–1.04	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Huang et al., 2011
	120–270 (106)	4.2–28.5	0.84–1.12	–	H ₂ O	LeFort et al., 2011
	615–955 (23)	34.0–82.0	0.75–1.85	400–1600 (15)	H ₂ O	Li et al., 2011
	240–310 (4)	16.1–26.0	0.91–1.01	–	H ₂ O	Xu et al., 2011
	160–440 (14)	8.7–29.3	0.67–1.03	–	H ₂ O	Xu et al., 2011
	115–330 (12)	0.1–12.8	0.67–1.01	850–1780 (4)	CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ O	Zhou et al., 2011
	135–310 (16)	0.5–6.2	0.70–0.97	–	CO ₂ + H ₂ O	Kim et al., 2012
	100–290 (6)	0.5–5.9	0.77–0.98	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
	120–195 (3)	0.5–6.9	0.92–0.95	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
	85–270 (9)	0.4–8.7	0.84–0.98	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
Shuiyindong, China Taipingdong, China Yata, China Zimudang, China Сентябрьское, Россия	125–225 (5)	0.2–6.3	0.87–0.94	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
	100–270 (9)	0.2–7.3	0.83–0.96	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
	105–230 (3)	0.7–7.9	0.89–0.96	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
	100–275 (6)	0.2–7.5	0.83–0.96	–	H ₂ O	Gu et al., 2012
	155–360 (27)	0.9–8.1	0.67–0.94	80–570 (8)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Николаев и др., 2013

Таблица 2. Окончание

Месторождение, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	C*, мас. %	d, г/см ³	P, бар	Состав**	
Двойное, Россия	254–153 (6)	0.5–2.1	0.81–0.94		H ₂ O	Николаев и др., 2013
Sanshandao, China	110–270 (9)	0.4–10.1	0.86–0.96	–	H ₂ O	Hu et al., 2013
Qianhe, China	160–305 (64)	6.1–21.8	0.81–1.04	–	H ₂ O	Tang et al., 2013
Sipingshan, China	120–225 (3)	1.4–9.0	0.92–0.95	–	H ₂ O	Zhang et al., 2013
Yinjiagou, China	265–420 (32)	5.3–49.6	0.46–1.20	–	H ₂ O	Zhu et al., 2013
Xinli, China	115–370 (94)	3.5–11.5	0.59–0.98	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Deng et al., 2015
Ulu Sokor, Malaysia	110–490 (66)	0.3–58.0	0.65–1.23	130–2460 (9)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Li et al., 2015
Canan area, Honduras	240–340 (8)	0.9–6.2	0.68–0.83	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Salvioli-Mariani et al., 2015
Xincheng, China	170–295 (32)	2.4–13.3	0.81–0.99	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Wang et al., 2015
Nancha, China	130–430 (12)	0.4–11.7	0.61–0.94	1520–3670 (3)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Chai et al., 2016
Anjiayingzi, China	180–360 (11)	1.3–15.6	0.69–0.91	500–1100 (4)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Fu et al., 2016
Dexing, China	105–525 (33)	1.1–63.0	0.58–1.12	1500–3000	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Liu et al., 2016
Sanshandao, China	100–390 (12)	0.2–15.5	0.80–0.96	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Wen et al., 2016
Taishang, China	160–335 (39)	0.2–9.1	0.73–0.92	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O	Yang et al., 2016
Самолазовское, Россия	210–350 (29)	9.0–50.0	–	–	H ₂ O	Борисенко и др., 2017
Xadian, China	110–410 (12)	0.7–14.7	0.65–0.97	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Chai et al., 2017
Luoshan, China	215–395 (12)	3.0–9.1	0.56–0.90	770–1850 (3)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Guo et al., 2017
Fushan, China	160–380 (39)	0.1–15.5	0.58–0.97	770–1850 (3)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Guo et al., 2017
Lilianita, Chile	290–340 (3)	3.2–13.1	0.76–0.80	–	H ₂ O	Kojima et al., 2017
Jiangnan Orogenic Belt, China	100–420 (261)	0.1–24.0	0.39–1.10	210–990 (58)	H ₂ O	Xu et al., 2017
Wang'ershan, China	160–350 (21)	1.2–15.5	0.70–0.94	400–2000 (4)	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Yang et al., 2017
Yueyang, China	160–460 (37)	0.2–46.7	0.28–1.17	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Zhong et al., 2017
Rogovik, Russia	90–300 (20)	0.1–10.5	0.77–1.00	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ + H ₂ O	Zhuravkova et al., 2017
Qinglong, China	115–345 (17)	0.2–13.2	0.65–0.95	–	H ₂ O	Chen et al., 2018
Beidagou, China	135–370 (18)	0.2–8.7	0.56t–0.93	–	CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ O	Gao et al., 2018
Shangmachang, China	145–305 (45)	0.2–8.8	0.73–0.93	–	CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ O	Gao et al., 2018
Daxintun, China	115–355 (70)	0.5–12.5	0.68–1.00	–	H ₂ O	Gao et al., 2018
Jintingling, China	165–420 (18)	0.5–11.3	0.64–0.91	–	CO ₂ + CH ₄ + H ₂ O, H ₂ O	Ma et al., 2018
Brucejack, Canada	135–195 (132)	0.5–15.5	0.90–1.04	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Tombe et al., 2018
Zijinshan, China	160–460 (37)	0.2–46.7	0.55–1.12	–	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	Zhong et al., 2018

* – C – солёность флюида, выраженная в мас. % экв. NaCl; ** – состав газовой фазы флюидных включений. В скобках указано количество определений.

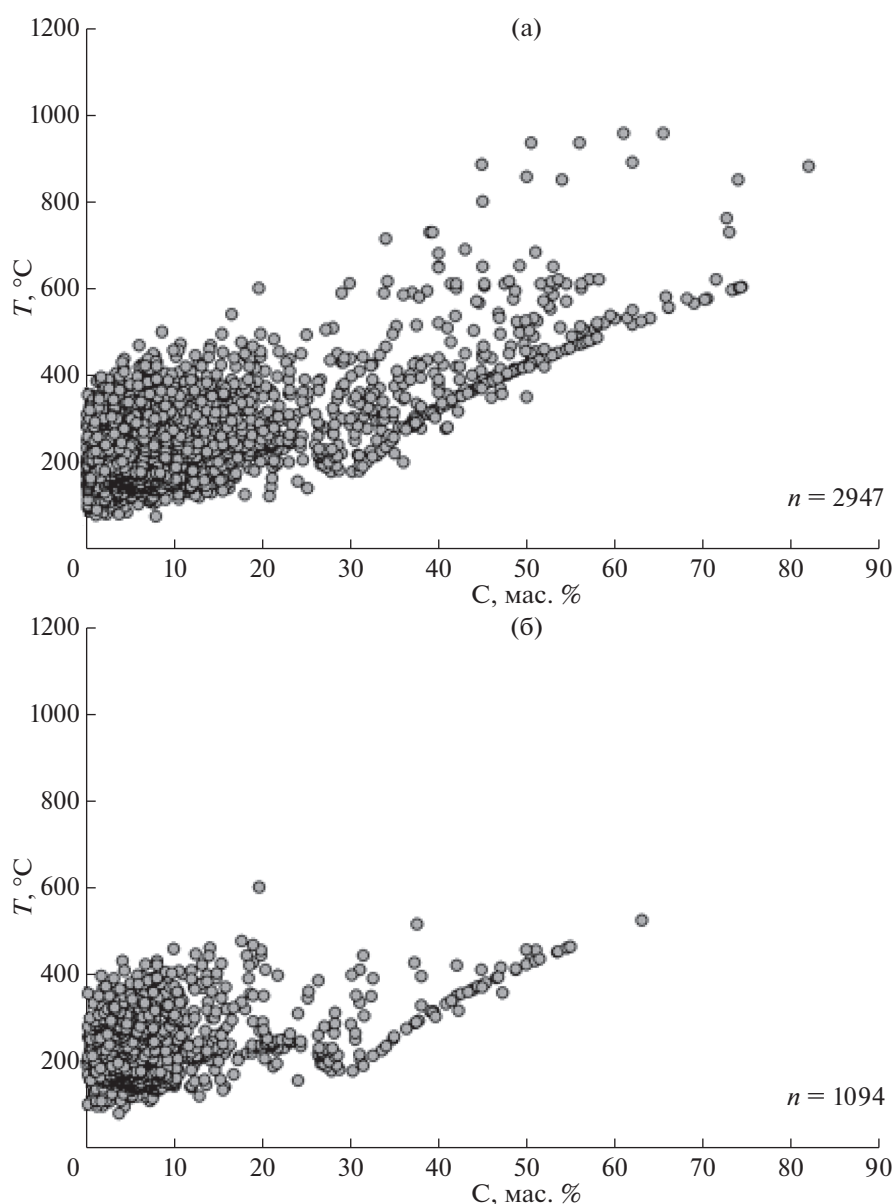


Рис. 1. Диаграмма “температура–концентрация солей” для минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота. а – все месторождения, б – крупные (более 100 т золота). n – на рис. 1–6 означает количество определений.

ператур: от 100 до 400 °C (рис. 3). Доля слабоминерализованных флюидов (менее 5 мас. %) составляет 33.6% от общего количества изученных включений, практически совпадая с данными по палеозойским месторождениям (Прокофьев и др., 2018). В составе флюидов установлены H_2O , $NaCl$, CO_2 и CH_4 . Флюиды в начальные фазы рудоотложения часто были гетерогенными, т.е. состояли из двух сосуществующих фаз (водно-солевого раствора и газовой фазы). Оценки давлений по включениям гетерогенных флюидов составили от 3700 до 30 бар (среднее 1040 бар, рис. 5, табл. 3) в температурном интервале 955–125 °C. Общей чертой мезозойских флюидов можно считать

окислительный характер, что выражается в существенном преобладании углекислоты над метаном во флюидах большинства изученных месторождений.

Надо отметить, что параметры формирования крупных и суперкрупных мезозойских месторождений имеют несколько более узкий диапазон изменения, чем вся выборка данных (рис. 1, 2, табл. 3). Средние величины температур, давлений и солёности флюидов крупных и суперкрупных месторождений также несколько меньше, чем средние величины этих же параметров для полной выборки данных по мезозойским флюидам (табл. 3).

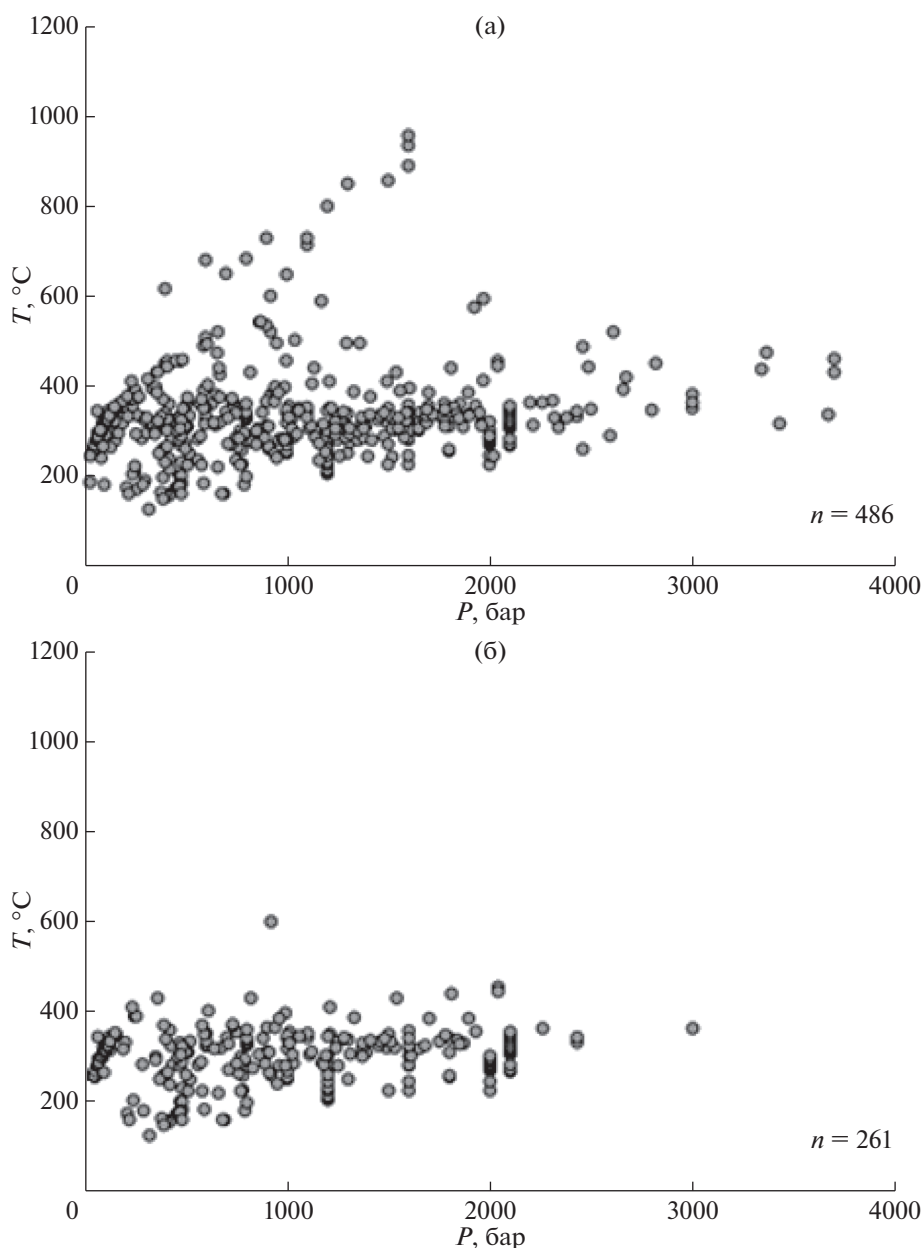


Рис. 2. Диаграмма «температура—давление» для минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота. а — все месторождения, б — крупные (более 100 т золота).

Информация о количественном содержании летучих компонентов флюидов может быть получена непосредственным анализом флюидных включений. Для этого используют как деструктивные методы с термическим или механическим вскрытием флюидных включений (газовая хроматография и масс-спектрометрия), так и путем анализа индивидуальных включений без разрушения образца (раман-спектроскопия). В последнем случае для анализа выбирают прозрачные минералы, содержащие крупные включения, богатые газовой фазой. При этом надо быть уве-

ренным, что эти включения достаточно представительны и имеют такое же соотношение фаз, как и синхронные с ними многочисленные мелкие включения. Деструктивные методы позволяют анализировать все летучие компоненты, включая воду, и дают более правильный средний состав флюида, но при этом возможны вторичные реакции при разрушении образца. Эти вопросы подробно разобраны в работах (Миронова и др., 1995; Миронова, 2010). К сожалению, авторы, приводя многочисленные анализы таких трудных объектов как флюидные включения, не уделяют

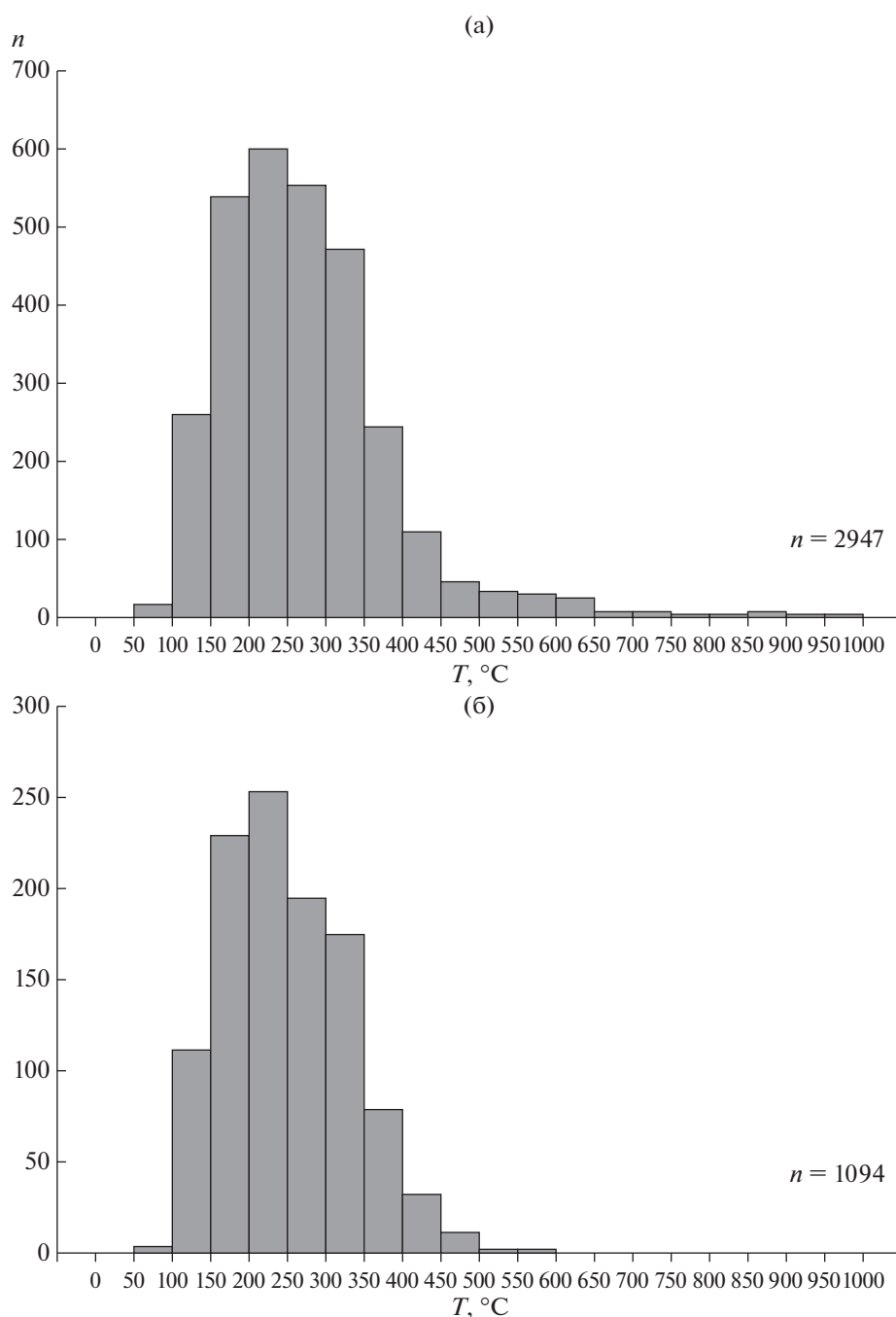


Рис. 3. Гистограмма температур минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота. а — все месторождения, б — крупные (более 100 т золота).

внимание методическим аспектам. Сравнить результаты, полученные разными методами, очень трудно и выводы можно делать только за счет набора статистики.

База данных по летучим компонентам флюидных включений (Миронова, 2010) является составной частью созданной в ГЕОХИ РАН в 1964 г. базы данных по флюидным (Наумов и др., 2009) и расплавленным (Наумов и др., 2004, 2017) включениям.

В базе данных по летучим компонентам флюидных включений в минералах, которая к настоящему времени содержит около 10500 анализов из более 400 работ, в выборке для месторождений золота, относящихся к мезозойской эре, найдено 294 анализа по 17-ти месторождениям. Выборка приведена в табл. 4 и отражена на рис. 6. Средние по месторождениям значения представлены по результатам деструктивных методов, в основном

Таблица 3. Средние величины основных физико-химических параметров минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота и пределы их вариаций

Возраст, млн лет	Температура, °C	Давление, бар	Соленость, мас. %-экв. NaCl	Доля слабосоленых флюидов (<5%), %	<i>n</i>
<i>Все месторождения</i>					
65–252	270	1040	11.9	33.6	2947
Мезозой	(75–955)	30–3700	0.1–82.0		
252–540	260	1420	9.6	34.4	1459
Палеозой	(48–600)	(4–3500)	(0.1–66.8)		
540–2500	240	2000	14.9	29.0	970
Протерозой	(50–615)	(120–6500)	(0.1–68.0)		
2500–3200	250	1750	10.3	37.9	311
Архей	(50–570)	(330–6400)	(0.1–63.0)		
<i>Крупные месторождения</i>					
65–252	250	975	9.5	37.1	1097
Мезозой	(80–600)	(38–3000)	(0.1–63.0)		
252–540	265	1330	10.4	23.2	392
Палеозой	(48–600)	(4–3460)	(0.2–62.4)		
540–2500	250	1410	22.4	12.2	238
Протерозой	(50–510)	(120–3900)	(0.1–61.1)		
2500–3200	250	2320	11.0	46.1	89
Архей	(70–520)	(700–6400)	(0.1–63.0)		

Примечания. *n* – число определений. В скобках указаны минимальные и максимальные значения.

газохроматографических, валовыми анализами для системы $H_2O-CO_2-CH_4-N_2$. Анализ индивидуальных включений методом раман-спектроскопии описывает соотношение газовых компонентов в системе $CO_2-CH_4-N_2$ без данных по воде.

Из табл. 4 видно, что основные компоненты флюидных включений – H_2O и CO_2 . Следующим по содержанию является N_2 , максимальные концентрации которого доходят до 86 мол. %. Максимальное содержание CH_4 тоже может быть значительным (74.7 мол. %), но это в отдельных анализах и для месторождений, локализованных в богатых органикой терригенных толщах.

Итак, по сравнению с докембрийскими и палеозойскими месторождениями (Прокофьев и др., 2017, 2018) флюиды мезозойских месторождений более насыщены водой, а в газовой фазе углекислота по-прежнему остается главным компонентом, а азот и метан для флюидов многих месторождений переходят в разряд второстепенных компонентов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Собранные результаты логично обсуждать в сравнении с ранее опубликованными данными по флюидам золотых месторождений докембрия и палеозоя (Прокофьев и др., 2017; 2018), общие диапазоны изменения параметров для которых

мы привели в табл. 3 и 5. Хорошо видны некоторые отличия мезозойских месторождений от более древних.

Средняя температура флюидов мезозойских месторождений золота несколько выше, чем у докембрийских и палеозойских, несмотря на близкий общий диапазон (табл. 3). Возможно, это связано с более широким распространением в мезозое, по сравнению с докембрием и палеозоем, месторождений золота, связанных с магматическими очагами.

Средняя величина флюидного давления для мезозойских месторождений золота заметно ниже, чем для докембрийских и палеозойских. Наблюдается закономерное снижение среднего давления флюида в направлении от протерозойских месторождений золота к мезозойским, которое можно объяснить уменьшением величины эрозионного среза от древних месторождений золота к молодым. Поэтому на древних месторождениях могут оказаться доступными для изучения наиболее глубокие части гидротермальных золоторудных рудообразующих систем. С этим согласуется и самая меньшая величина минимального флюидного давления на мезозойских месторождениях, которое также может быть связано с большей сохранностью в мезозое малоглубинной золотой минерализации. Эти закономерности подтверждают вывод статьи (Kesler, Wilkinson, 2006) об

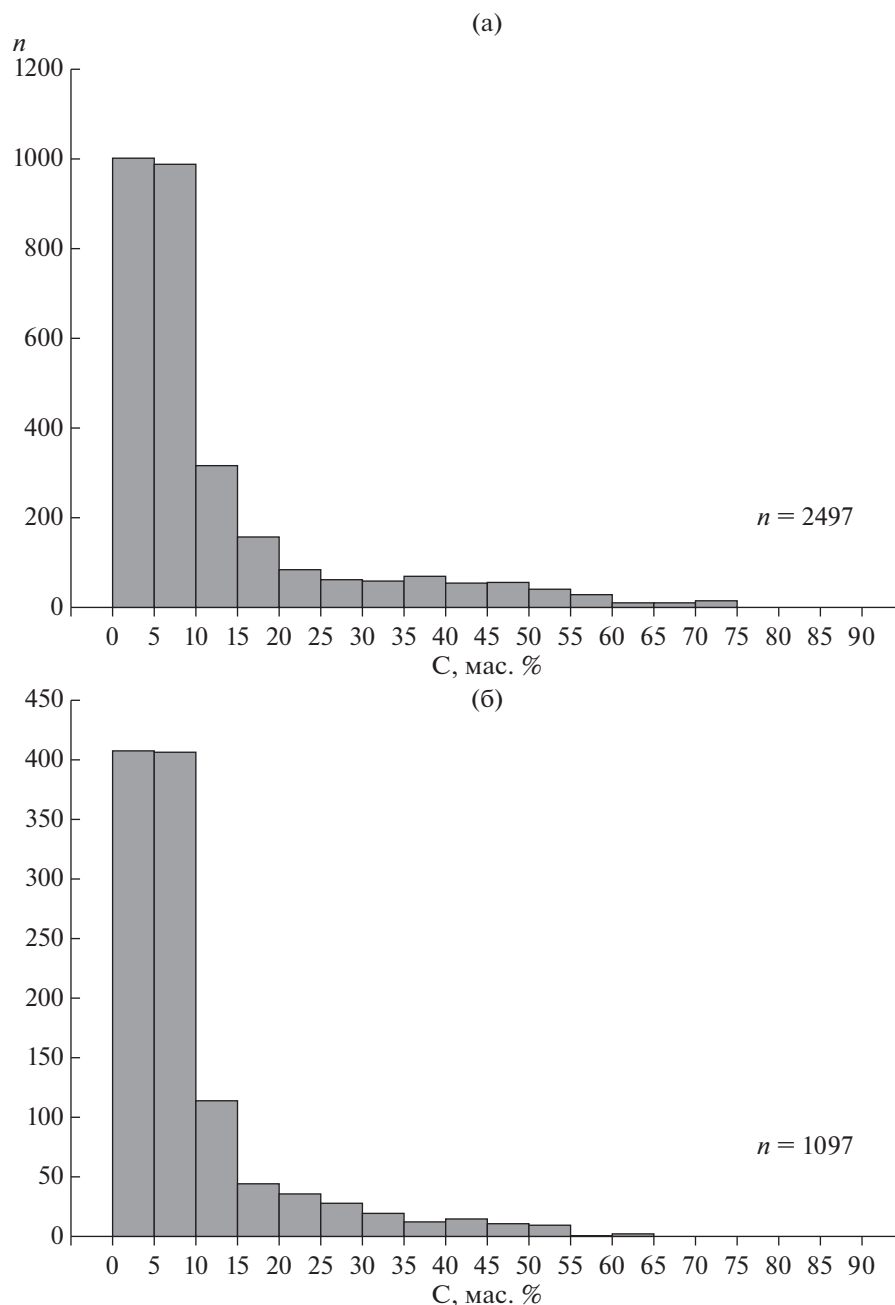


Рис. 4. Гистограмма величин солёности минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота. а — все месторождения, б — крупные (более 100 т золота).

уничтожении эрозией практически всей эпигермальной минерализации докембрия, что объясняет отсутствие таковой минерализации на всех континентах.

Средняя величина солёности флюидов мезозойских месторождений золота несколько выше, чем протерозойских. Возможно, это связано с большей долей высокотемпературных магматогенных флюидов при формировании этих месторождений.

Газовый состав флюидов мезозойских месторождений золота свидетельствует о более высокой доле в них воды и уменьшении количества растворённых газов по сравнению с более древними флюидами (табл. 5). В то же время основное количество газовой смеси начинает занимать углекислота. Возможно, это тоже отражает большую долю магматогенного компонента в составе флюидов, формировавших мезозойские месторождения золота.

Таблица 4. Газовый состав рудообразующих флюидов мезозойских месторождений золота

Месторождение, регион	Газовый состав флюидов, мол. %					Литература
	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂	n	
Eskay Creek, Canada	95.7–99.8 (99.0)	0.02–2.7 (0.4)	0.07–1.4 (0.5)	0.05–1.5 (0.2)	29	Sherlock et al., 1999
Niuxinshan, NE China	66.0–91.0(77.0)	7.0–30.0(19.7)	0.5–2.0(1.4)	–	10	Yao et al., 1999
Hanshan, NW China	–	65.0	14.9	20.0	1	Mao et al., 2000
Забайкалье и Якутия, Россия	–	7.5–100(65.4)	0.0–43.9(8.7)	0.0–75.4(25.9)	10	Наумов, 2002
Fu Ning, China	–	14.0–100(68.8)	0.0–2.0(0.2)	0.0–86.0(31.0)	19	Cromie and Zaw, 2003
Теремкинское, Россия	98.5–99.6(99.2)	0.3–1.4(0.7)	0.0(0.0)	0.05–0.12(0.09)	3	Прокофьев и др., 2004
Muru gold belt, China	94.4–96.6(95.6)	1.9–3.3(2.5)	0.0–0.6(0.2)	0.09–1.2(0.7)	8	Zeng et al., 2006
Guizhou, China	–	71.0–99.5(91.4)	0.0–1.8(0.5)	0.5–27.2(8.1)	19	Su et al., 2009
Сарылах, Сентачан, Россия	91.4–98.3(95.2)	1.6–8.4(4.5)	0.03–0.7(0.2)	–	11	Бортников и др., 2010
Бадранское, Россия	10.4–99.3(91.7)	0.2–82.9(7.6)	0.0–3.8(0.5)	0.0–6.7(0.5)	162	Оболенский и др., 2011
Youjiang basin, S China	–	23.3–100(83.2)	0.0–74.7(12.7)	0.0–17.0(5.8)	9	Gu et al., 2012
Shangmachang, Beidagou, China	89.3–99.1(96.5)	0.6–9.6(2.9)	0.1–0.4(0.2)	0.0–0.6(0.2)	13	Gao et al., 2018
Среднее по месторождениям	92.5	6.5	0.5	0.5	236	–
Среднее по месторождениям	–	78.2	3.8	18.0	58	–

Примечания. n – количество определений. Состав флюидных включений приведен без учета других газов (H₂S, углеводороды и другие) и растворенных солей. В скобках указано среднее содержание. Приведенные в таблице результаты с водой выполнены путем вскрытия флюидных включений (газовая хроматография или масс-спектрометрия), без воды – методом раман-спектроскопии индивидуальных включений без их вскрытия.

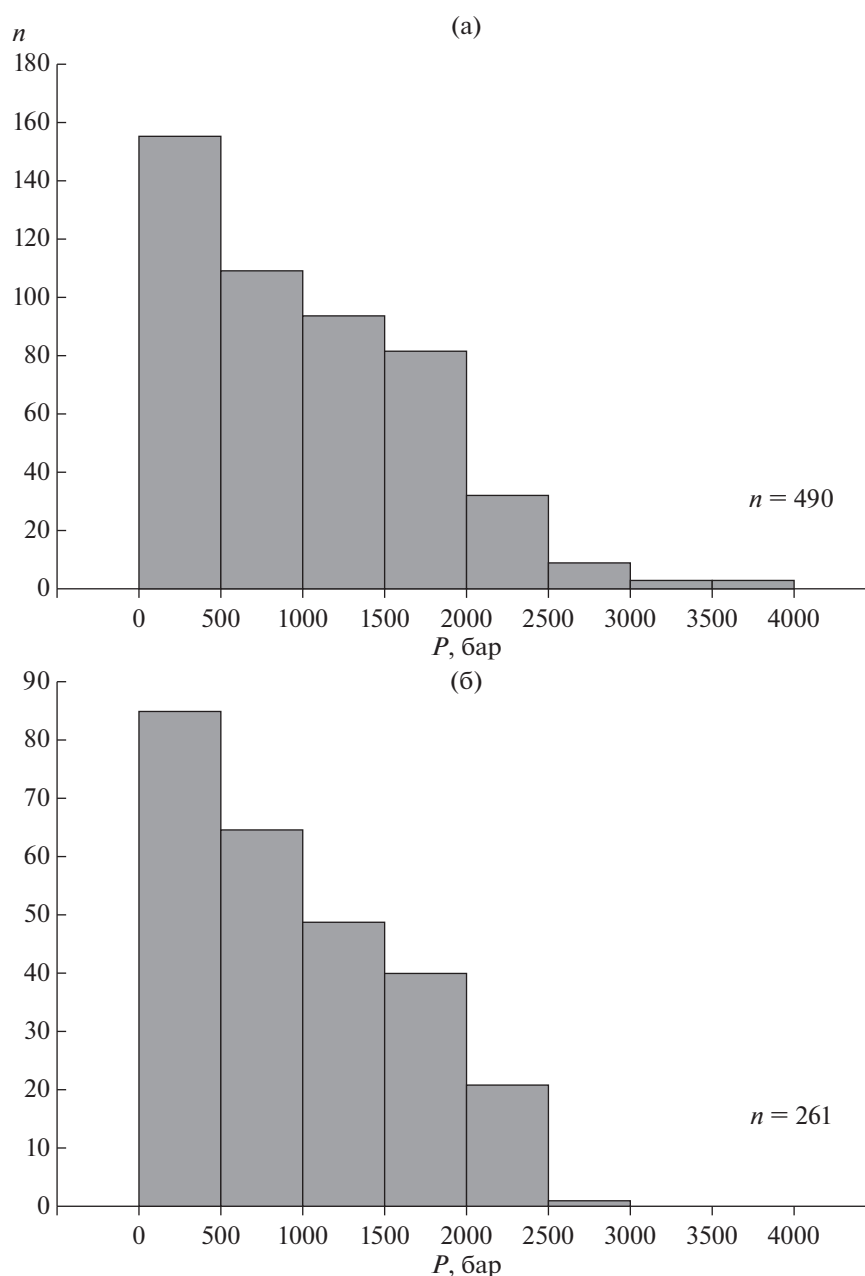


Рис. 5. Гистограмма давлений минералообразующих флюидов мезозойских месторождений золота. а — все месторождения, б — крупные (более 100 т золота).

Таблица 5. Состав флюидных включений в минералах золоторудных месторождений разного возраста, полученный валовыми и индивидуальными методами (мол. %)

Возраст	n_1	Валовые методы					Индивидуальные методы				
		H ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂	n_2	CO ₂	CH ₄	N ₂	CO ₂ /CH ₄	n_2
Архей	10	79.8	11.0	9.1	0.04	217	78.5	21.2	0.3	3.7	150
Протерозой	11	73.2	24.2	1.5	1.1	155	73.3	13.1	13.6	5.9	150
Палеозой	23	86.6	12.1	0.8	0.6	395	72.6	19.5	7.9	3.7	515
Мезозой	14	92.5	6.5	0.5	0.5	236	78.2	3.8	18.0	20.6	58

Примечания. n_1 — количество месторождений, n_2 — количество анализов. Состав флюидных включений приведен без учета других газов (H₂S, углеводороды и другие) и растворенных солей.

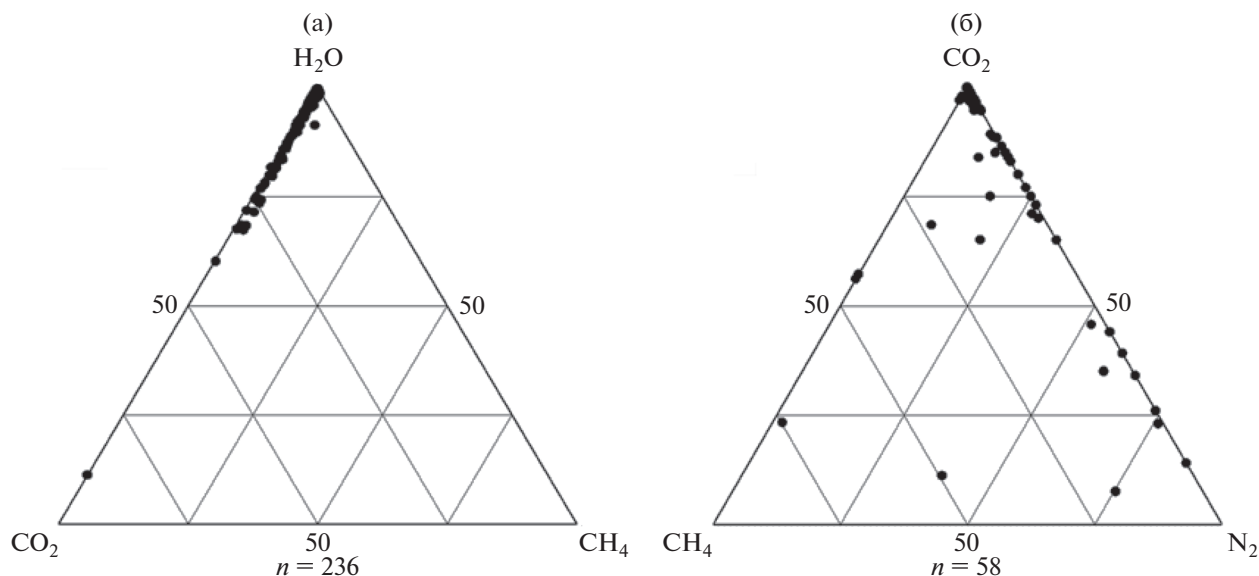


Рис. 6. Диаграммы, характеризующие соотношение газовых компонентов минералообразующих флюидов на золоторудных месторождениях мезозойского возраста. а – данные валовых анализов, б – раман-микроанализ индивидуальных включений.

Состав и параметры минералообразующих флюидов крупных и суперкрупных месторождений золота мезозойского возраста в среднем почти не отличаются от флюидов палеозойских и докембрийских месторождений большого масштаба по температуре, однако имели несколько более низкие давление и солёность. Возможно, причина этого заключается прежде всего в меньшем эрозионном срезе гидротермальных систем мезозойского возраста.

Конечно, выявленные закономерности в изменении состава и физико-химических параметров золотоносных рудообразующих флюидов в истории Земли нуждаются в дальнейшем изучении, а также детализации и проведении таких исследований в пределах отдельных генетических групп месторождений.

Авторы благодарны А.А. Савичеву и Э.М. Спиридонову за конструктивную критику и ценные советы.

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук 72-4 при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-70001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристов В.В., Константинов М.М., Кряжев С.Г., Устинов В.И. (2008) Генетические особенности месторождений золота и серебра Западного Верхоянья по термобарометрическим и изотопным данным. *Геохимия* (3), 347-352.
- Aristov V.V., Konstantinov M.M., Kryazhev S.G., Ustinov V.I. (2008) Genetic features of gold and silver deposits from the

western Verkhoyansk area: Fluid inclusion and isotope data. *Geochem. Int.* **46**(3), 313-317.

Берман Ю.С., Прокофьев В.Ю., Козеренко С.В., Елисеева Н.А., Колпакова Н.Н. (1993) Реювенация золотосеребряного оруденения вулканогенного месторождения Дукал (по результатам исследования флюидных включений). *Геохимия* (4), 539-548.

Борисенко И.Д., Боровиков А.А., Борисенко А.С., Гаськов И.В. (2017) Физико-химические условия формирования руд Самолазовского месторождения золота, Центральный Алдан. *Геология и геофизика* **58**(12), 1915-1927.

Бортников Н.С., Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Прокофьев В.Ю., Викентьева О.В. (2004) Майское многоэтапное прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): минералогия, флюидные включения, стабильные изотопы (О и S), история и условия образования. *Геология рудных месторождений* **46**, 475-509.

Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. (2007) Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия). *Геология рудных месторождений* **49**, 99-145.

Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Прокопьев А.В. (2010) Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпitherмальных антимонитовых руд. *Геология рудных месторождений* **52**, 381-417.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю. (2011) Условия формирования и состав рудообразующих флюидов золото-серебряного месторождения Промежуточное (Центральная Чукотка, Россия). *Геология и геофизика* **52**, 1835-1850.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Алексеев В.Ю., Бакшеев И.А., Сидоров А.А. (2011) Рудообразующие флюиды и условия формирования золото-сульфидно-кварце-

- вого оруденения в зоне смятия (shear zone): месторождение Погромное (Восточное Забайкалье). *ДАН* **441**, 352-257.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А. (2006) Новые данные об условиях формирования и составе рудообразующих флюидов золото-серебряного месторождения Промежуточное (Центральная Чукотка). *ДАН* **408**, 218-222.
- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Егоров В.Н., Шаповалов В.С., Прокофьев В.Ю., Колова Е.Е. (2006) Закономерности размещения и условия формирования Au-содержащих Cu—Mo-порфировых месторождений Северо-Востока России. *Геология рудных месторождений* **48**(6), 512-539.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю. (2007) О корнях эпитермальных золото-серебряных месторождений. Роль минералогии в познании процессов рудообразования. М.: ИГЕМ РАН, 86-92.
- Волков А.В., Сидоров В.А., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А. (2009) О полихронности золото-кварцевого месторождения Родионовское (Северо-Восток России). *ДАН* **424**, 217-221.
- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Горячев Н.А., Вознесенский С.Д., Альшевский А.В., Чернова А.Д. (2011) Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России). *Геология рудных месторождений* **53**, 3-31.
- Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Горячев Н.А., Бортников Н.С. (2007) Флюидные включения в кварце сингратитовых благороднометалльных месторождений Северо-Востока России. Роль минералогии в познании процессов рудообразования. М.: ИГЕМ РАН, 92-97.
- Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. (2008) Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России). *Геология рудных месторождений* **50**, 414-444.
- Коваленкер В.А., Крылова Т.Л., Киселева Г.Д., Кигай И.Н. (2007) Условия формирования Au—Mo(W)—Pb—Zn руд Бугдаинского атипичного порфирового месторождения (Восточное Забайкалье, Россия). *ДАН* **416**, 96-99.
- Кравцова Р.Г., Боровиков А.А., Борисенко А.С., Прокофьев В.Ю. (2003) Условия формирования золото-серебряных месторождений Северного Приохотья, Россия. *Геология рудных месторождений* **45**, 452-473.
- Краснов А.Н., Ломм Т., Крылова Т.Л., Грознова Е.О. (2007) Первые данные рамановской микроспектроскопии рудообразующих флюидов золотой и урановой минерализации Алдана (Республика Саха, Якутия). *ДАН* **413** (2), 233-236.
- Литвинов В.Л., Ляхов Ю.В., Попивняк И.В. (1971) Физико-химические особенности формирования Карийского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) по включениям в минералах. *Минералог. сборник Львовск. гос. ун-та* **2** (25), 152-163.
- Ляхов Ю.В., Дмитриев Л.К. (1971) Температурный режим и зональность оруденения на Дарасунском месторождении по включениям в минералах. *Зап. Забайкальский фил. Геогр. о-ва СССР* **52**, 53-64.
- 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.
- Mironova O.F., Salazkin A.N., Naumov V.B. (1995) Bulk and local techniques of analysis of volatile components in fluid inclusions. *Geokhimiya* (7), 974-984.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А., Ярмолук В.В. (2004) Средние содержания петрогенных, летучих и редких элементов в магматических расплавах различных геодинамических обстановок. *Геохимия* (10), 1113-1124.
- Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A., Yarmolyuk V.V. (2004) Average concentrations of major, volatile, and trace elements in magmas of various geodynamic settings. *Geochem. Int.* **42**(10), 977-987.
- 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., Гирнис А.В., Ярмолук В.В. (2017) Среднее содержание летучих компонентов, петрогенных и редких элементов в магматических расплавах главных геодинамических обстановок Земли. I. Расплавы основного состава. *Геохимия* (7), 618-643.
- Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Gurnis A.V., Yarmolyuk V.V. (2017) Mean Concentrations of Volatile Components, Major and Trace Elements in Magmatic Melts in Major Geodynamic Environments on Earth. I. Mafic Melts. *Geochem. Int.* **55**(7), 629-653.
- Наумов Е.А., Боровиков А.А., Борисенко А.С., Задорожный М.В., Мурзин В.В. (2002) Физико-химические условия формирования эпитермальных золоторудных месторождений. *Геология и геофизика* **43**(12), 1055-1064.
- Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Аплеталин А.В., Власов Е.А., Бакшеев И.А., Калько И.А., Комарова Я.С. (2013) Золото-теллуридная минерализация Западной Чукотки: минералогия, геохимия и условия образования. *Геология рудных месторождений* **55**(2), 114-144.
- Оболенский А.А., Гушина Л.В., Борисенко А.С., Боровиков А.А., Павлова Г.Г. (2007) Сурьма в гидротермальных процессах: растворимость, условия переноса, металлоносность растворов. *Геология и геофизика* **48**, 1276-1288.
- Оболенский А.А., Гушина Л.В., Анисимова Г.С., Серкебаева Е.С., Томиленко А.А., Гибшер Н.А. (2011) Физико-химическое моделирование процессов минералообразования Бадранского золоторудного месторождения (Якутия). *Геология и геофизика* **52**, 373-392.
- Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д. (1996) Флюидный режим Дарасунской рудно-магматической системы по данным исследования флюидных включений (Восточное Забайкалье). *Геология и геофизика* **37**(5), 50-61.
- Прокофьев В.Ю., Спиридонов А.М., Кузьмина Т.М., Гнилуша В.А., Ковалева В.Ф. (1997) Физико-химические особенности процесса формирования Карийско-

- го золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). *Геохимия* (4), 424–434.
- Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Зорина Л.Д., Куликова З.И., Матель Н.Л., Колпакова Н.Н., Ильина Г.Ф. (2000) Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия). *Геология рудных месторождений* **42**, 526–548.
- Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д., Бакшеев И.А., Плотинская О.Ю., Кудрявцева О.Е., Ишков Ю.М. (2004) Состав минералов и условия формирования руд Теремкинского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия). *Геология рудных месторождений* **46**, 385–406.
- Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д., Коваленкер В.А., Ильина Г.Ф. (2005) Первые данные об условиях формирования золоторудного месторождения Талатуй (Восточное Забайкалье). *ДАН* **401**(2), 221–225.
- Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д., Коваленкер В.А., Акинфиев Н.Н., Бакшеев И.А., Краснов А.Н., Юргенсон Г.А., Трубкин Н.В. (2007) Состав, условия формирования руд и генезис месторождения золота Талатуй (Восточное Забайкалье, Россия). *Геология рудных месторождений* **49**, 37–76.
- Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Миронова О.Ф. (2017) Физико-химические параметры и геохимические особенности флюидов докембрийских золоторудных месторождений. *Геохимия* (12), 1069–1087.
- Prokofiev V.Yu., Naumov V.B., Mironova O.F. (2017) Physicochemical parameters and geochemical features of fluids of Precambrian gold deposits. *Geochem. Int.* **55**(12), 1047–1065.
- Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Миронова О.Ф. (2018) Физико-химические параметры и геохимические особенности флюидов палеозойских золоторудных месторождений. *Геохимия* (12), 1141–1157.
- Prokofiev V.Yu., Naumov V.B., Mironova O.F. (2018) Physicochemical parameters and geochemical features of fluids of Paleozoian gold deposits. *Geochem. Int.* **56**(12), 1156–1171.
- Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Колова Е.Е. (2011) Условия образования петровскита на золоторудном месторождении Дорожное (Сусуманский район, Магаданская область). *Тезисы докл. горно-геолог. конференции, Магадан, 3–5 сентября 2011*, 187–189.
- Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В., Кравцов В.С., Прокофьев В.Ю. (2007) Геология и условия образования уникального золото-серебряного месторождения на Чукотке. *ДАН* **412**(2), 234–239.
- Сидоров В.А., Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Сидоров А.А. (2009) О “корнях” Au–Ag–эпитермального оруденения на примере Пауковского рудного поля Детринского рудного района (Северо-Восток России). *ДАН* **425**, 361–366.
- Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Краснов А.Н., Трубкин Н.В. (2011) Электрум месторождения Агатовское (Северо-Восток России) и условия его образования. *ДАН* **440**, 795–799.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. (2002) *Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ*. 560 с.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Летунов С.П., Прокофьев В.Ю. (2010) Флюидный режим процесса рудообразования Балеysкой золоторудно-магматической системы (Восточное Забайкалье). *Геология и геофизика* **51**, 1413–1422.
- Baker T., Lang J.R. (2001) Fluid inclusion characteristics of intrusion-related gold mineralization, Tombstone-Tungsten magmatic belt, Yukon Territory, Canada. *Mineral. Deposita* **36**, 563–582.
- Chai P., Hiu Z.Q., Zhang Z.Y. (2017) Geology, fluid inclusion and stable isotope constraints on the fluid evolution and resource potential of the Xiadian gold deposit, Jiaodong Peninsula. *Resource Geol.* **67**, 341–359.
- Chai P., Sun J.G., Hou Z.Q., Xing Sh.W., Wang Zh.Yu. (2016) Geological, fluid inclusion, H–O–S–Pb isotope, and Ar–Ar geochronology constraints on the genesis of the Nancha gold deposit, southern Jilin Province, northeast China. *Ore Geol. Rev.* **72**, 1053–1071.
- Chen J., Yang R.D., Dua L.J., Zheng L.L., Gao J.B., Lalic Ch.K., Wei H.R., Yuan M.G. (2018) Mineralogy, geochemistry and fluid inclusions of the Qinglong Sb–(Au) deposit, Youjiang basin (Guizhou, SW China). *Ore Geol. Rev.* **92**, 1–18.
- Chen Y.J., Pirajno F., Li N., Guo D.S., Lai Y. (2009) Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe-hosted gold deposit, Qinling Orogen, Henan province, China: Implications for ore genesis. *Ore Geol. Rev.* **35**, 245–261.
- Cromie P.W., Zaw K. (2003) Geological setting, nature of ore fluids and sulphur isotope geochemistry of the Fu Ning Carlin-type gold deposits, Yunnan Province, China. *Geofluids* **3**, 133–143.
- Cunningham C.G., Ashley R.P., Chou I-Ming, Zushu H., Chaoyuan W., Wenkang L. (1988) Newly discovered sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits in the People's Republic of China. *Econ. Geol.* **83**, 1462–1467.
- Deng J., Wang Q.F., Xiao C.H., Yang L.Q., Liu H., Gong Q.G., Zhang J. (2011) Tectonic-magmatic-metallogenic system, Tongling ore cluster region, Anhui Province, China. *Intern. Geol. Rev.* **53**, 449–476.
- Deng J., Liu X.F., Wang Q.F., Pan R.G. (2015) Origin of the Jiaodong-type Xinli gold deposit, Jiaodong Peninsula, China: Constraints from fluid inclusion and C–D–O–S–Sr isotope compositions. *Ore Geol. Rev.* **65**, 674–686.
- Diakow L.J., Panteleyev A., Schroeter T.G. (1991) Jurassic epithermal deposits in the Toodoggone River area, Northern British Columbia: examples of well-preserved, volcanic-hosted, precious metal mineralization. *Econ. Geol.* **86**, 529–554.
- Duuring P., Rowins S.M., McKinley B.S.M., Dickinson J.M., Diakow L.J., Kim Y.-S., Creaser R.A. (2009) Magmatic and structural controls on porphyry-style Cu–Au–Mo mineralization at Kemess South, Toodoggone district of British Columbia, Canada. *Mineral. Deposita* **44**, 435–462.
- Fan H.R., Zhai M.G., Xie Y.H., Yang J.H. (2003) Ore-forming fluids associated with granite-hosted gold mineralization at the Sanshandao deposit, Jiaodong gold province, China. *Mineral. Deposita* **38**, 739–750.
- Fan H.R., Hu F.F., Wilde S.A., Yang K.F., Jin C.W. (2011) The Qiyugou gold-bearing breccia pipes, Xiong'er shan region, central China: fluid-inclusion and stable-isotope evidence for an origin from magmatic fluids. *Internat. Geol. Rev.* **53**, 25–45.
- Fu L., Wei J., Chen H., Bagas L., Tan J., Li H., Zhang D., Tian N. (2016) The relationship between gold mineralization, exhumation of metamorphic core complex and magma cooling: Formation of the Anjiayingzi Au deposit, northern North China Craton. *Ore Geol. Rev.* **73**, 222–240.
- Gao Sh., Xu H., Quan Sh., Zang Y., Wang T. (2018) Geology, hydrothermal fluids, H–O–S–Pb isotopes, and Rb–Sr geochronology of the Daxintun orogenic gold deposit in Heilongjiang province, NE China. *Ore Geol. Rev.* **92**, 569–587.
- Gao S., Xu H., Zang Y.Q., Wang T. (2018) Mineralogy, ore-forming fluids and geochronology of the Shangmachang

- and Beidagou gold deposits, Heilongjiang province, NE China. *J. Geochem. Explor.* **188**, 137-155.
- Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. (2001) Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geol. Rev.* **18**, 1-75.
- Growe D.E., Millholland M.A., Brown P.E. (1991) Precious and base metal mineralization associated with high-salinity fluids in the Mount Estelle pluton, south-central Alaska. *Econ. Geol.* **86**, 1103-1109.
- Gu L.X., Wu C.Z., Zhang Z.Z., Pirajno F., Ni P., Chen P.R., Xiao X.J. (2011) Comparative study of ore-forming fluids of hydrothermal copper-gold deposits in the lower Yangtze River Valley, China. *Intern. Geol. Rev.* **53**, 477-498.
- Gu X.X., Zhang Y.M., Li B.H., Dong S.Y., Xue C.J., Fu S.H. (2012) Hydrocarbon- and ore-bearing basinal fluids: a possible link between gold mineralization and hydrocarbon accumulation in the Youjiang basin, South China. *Mineral. Deposita* **47**, 663-682.
- Guo L.N., Goldfarb R.J., Wang Zh.L., Li R.H., Chen B.H., Li J.L. (2017) A comparison of Jiaojia- and Linglong-type gold deposit ore-forming fluids: Do they differ? *Ore Geol. Rev.* **88**, 511-533.
- Hickey R.J. III (1992) The Buckhorn Mountain (Crown Jewel) gold skarn deposit, Okanogan County, Washington. *Econ. Geol.* **87**, 125-141.
- Hu F.F., Fan H.R., Jiang X.H., Li X.C., Yang K.F., Mernagh T. (2013) Fluid inclusions at different depths in the Sanshandao gold deposit, Jiaodong Peninsula, China. *Geofluids* **13**, 528-541.
- Hu H.B., Mao J.W., Niu S.Y., Li Y.F., Li M.W. (2006) Geology and geochemistry of telluride-bearing Au deposits in the Pingyi area, Western Shandong, China. *Mineral. Petrol.* **87**, 209-240.
- Huang D.Z., Wang X.Y., Yang X.Y., Li G.M., Huang S.Q., Liu Z., Peng Z.H., Qiu R.L. (2011) Geochemistry of gold deposits in the Zhangbaling Tectonic Belt, Anhui province, China. *Intern. Geol. Rev.* **53**, 612-634.
- Jewell P.W., Parry W.T. (1988) Geochemistry of the Mercur gold deposit (Utah, U.S.A.). *Chem. Geol.* **69**, 245-265.
- Kesler S.E., Wilkinson B.H. (2006) The role of exhumation in the temporal distribution of ore deposits. *Econ. Geol.* **101**, 919-922.
- Kim K.H., Lee S., Nagao K., Sumino H., Yang K., Lee J.I. (2012) He-Ar-H-O isotopic signatures in Au-Ag bearing ore fluids of the Sunshin epithermal gold-silver ore deposits, South Korea. *Chem. Geol.* **320**, 128-139.
- Kojima Sh., Soto I., Quiroz M., Valencia P., Fernandez I. (2017) Geological and geochemical characteristics of the intrusion-related vein-type gold deposits in the El Morado District, Coastal Cordillera, Northern Chile. *Resource Geol.* **67**, 197-206.
- Lai J., Chi G., Peng S., Shao Y., Yang B. (2007) Fluid evolution in the formation of the Fenghuangshan Cu-Fe-Au deposit, Tongling, Anhui, China. *Econ. Geol.* **102**, 949-970.
- LeFort D., Hanley J., Guillon M. (2011) Subepithermal Au-Pd mineralization associated with an alkalic porphyry Cu-Au deposit, Mount Milligan, Quesnel Terrane, British Columbia, Canada. *Econ. Geol.* **106**, 781-808.
- Leitch C.H.B., Godwin C.I., Brown T.H., Taylor B.E. (1991) Geochemistry of mineralizing fluids in the Bralorne-Pioneer mesothermal gold vein deposit, British Columbia, Canada. *Econ. Geol.* **86**, 318-353.
- Li X.F., Mao J.W., Wang C., Watanabe Y. (2007) The Daduhe gold field at the eastern margin of the Tibetan Plateau: He, Ar, S, O, and H isotopic data and their metallogenic implications. *Ore Geol. Rev.* **30**, 244-256.
- Li J.X., Li G.M., Qin K.Z., Xiao B. (2011) High-temperature magmatic fluid exsolved from magma at the Duobuza porphyry copper-gold deposit, Northern Tibet. *Geofluids* **11**, 134-143.
- Li B., Jiang S.Y., Zou H.Y., Yang M., Lai J.Q. (2015) Geology and fluid characteristics of the Ulu Sokor gold deposit, Kelantan, Malaysia: Implications for ore genesis and classification of the deposit. *Ore Geol. Rev.* **64**, 400-424.
- Liu X., Fan H.R., Hu F.F., Yang K.F., Wen B.J. (2016) Nature and evolution of the ore-forming fluids in the giant Dexing porphyry Cu-Mo-Au deposit, Southeastern China. *J. Geochem. Explor.* **171**, 83-95.
- Ma W.D., Fan H.R., Liu X., Yang K.F., Hu F.F., Zhao K., Cai Y.Ch., Hu H.L. (2018) Hydrothermal fluid evolution of the Jintangling gold deposit in the Caledonian North Qilian orogenic belt, NW China. *Mineral. Deposita* **35**, 63-71.
- Mao J., Kerrich R., Li H., Li Y. (2002) High $3\text{He}/4\text{He}$ ratios in the Wangu gold deposit, Hunan province, China: Implications for mantle fluids along the Tanlu deep fault zone. *Geochemical J.* **36**, 197-208.
- Mao J., Li Y., Goldfarb R., He Y., Zaw K. (2003) Fluid inclusion and noble gas studies of the Dongping gold deposit, Hebei Province, China: a mantle connection for mineralization? *Econ. Geol.* **98**, 517-534.
- McInnes B.I.A., Crockett J.H., Goodfellow W.D. (1990) The Laforma deposit, an atypical epithermal-Au system at Freegold Mountain, Yukon Territory, Canada. *J. Geochem. Explor.* **36**, 73-102.
- Porter E.W., Ripley E. (1985) Petrologic and stable isotope study of the gold-bearing breccia pipe at the Golden Sunlight deposit, Montana. *Econ. Geol.* **80**, 1689-1706.
- Presnell R.D., Parry W.T. (1996) Geology and geochemistry of the Barney's Canyon gold deposit, Utah. *Econ. Geol.* **91**, 273-288.
- Read J.J., Meinert L.D. (1986) Gold-bearing quartz vein mineralization at the Big Hurrah mine, Seward Peninsula, Alaska. *Econ. Geol.* **81**, 1760-1774.
- Rombach C.S., Newberry R.J. (2001) Shotgun deposit: granite porphyry-hosted gold-arsenic mineralization in southwestern Alaska, USA. *Mineral. Deposita* **36**, 607-621.
- Salvioli-Mariani E., Toscani L., Boschetti T., Bersani D., Mattioli M. (2015) Gold mineralisations in the Canan area, Lepaguare District, east-central Honduras: Fluid inclusions and geochemical constraints on gold deposition. *J. Geochem. Explor.* **158**, 243-256.
- Sherlock R.L., Roth T., Spooner E.T.C., Bray C.J. (1999) Origin of the Eskay Creek precious metal-rich volcanogenic massive sulfide deposit: fluid inclusion and stable isotope evidence. *Econ. Geol.* **94**, 803-824.
- So Ch.-S., Chi S.-J., Yoo J.-S., Shelton K.L. (1987) The Jeoneui gold-silver mine, Republic of Korea. A geochemical study. *Mining Geol.* **37**, 313-322.
- So C.-S., Shelton K.L. (1987) Fluid inclusion and stable isotope studies of gold-silver-bearing hydrothermal vein deposits, Yeosu mining district, Republic of Korea. *Econ. Geol.* **82**, 1309-1318.

- So C.-S., Chi S.-J., Choi S.-H. (1988) Geochemical studies on Au-Ag hydrothermal vein deposits, Republic of Korea: Jinan-Jeongeup mineralized area. *J. Min. Petr. Econ. Geol.* **83**, 449-471.
- So C.-S., Yun S.-T. (1991) Geochemical evidence of progressive meteoric water interaction in epithermal Au-Ag mineralization, Jeongju-Buan district, Republic of Korea. *Econ. Geol.* **91**, 636-646.
- So C.-S., Yun S.-T., Choi S.-H., Shelton K.L. (1989) Geochemical studies of hydrothermal gold-silver deposits, Republic of Korea: Youngdong mining district. *Mining Geol.* **39**, 9-19.
- Spry P.G., Paredes M.M., Foster F., Truckle J.S., Chadwick T.H. (1996) Evidence for a genetic link between gold-silver telluride and porphyry molybdenum mineralization at the Golden Sunlight deposit, Whitehall, Montana: fluid inclusion and stable isotope studies. *Econ. Geol.* **91**, 507-526.
- Su W., Heinrich C.A., Pettko T., Zhang X., Hu R., Xia B. (2009) Sediment-hosted gold deposits in Guizhou, China: Products of wall-rock sulfidation by deep crustal fluids. *Econ. Geol.* **104**, 73-93.
- Tang K.-F., Li J.W., Selby D., Zhou M.F., Bi S.J., Deng X.D. (2013) Geology, mineralization, and geochronology of the Qianhe gold deposit, Xiong'er shan area, southern North China Craton. *Mineral. Deposita* **48**, 729-747.
- Thiery P.C., Williams-Jones A.E., Clark J.R. (1997) Epithermal mineralization and ore controls of the Shasta Au-Ag deposit, Toodoggone district, British Columbia, Canada. *Mineral. Deposita* **32**, 44-57.
- Tombe S.P., Richards J.P., Greig C.J., Board W.S., Creaser R.A., Muehlenbachs K.A., Larson P.B., DuFrane S.A., Spell T. (2018) Origin of the high-grade Early Jurassic Brucejack epithermal Au-Ag deposits, Sulphur Ets Mining Camp, northwestern British Columbia. *Ore Geol. Rev.* **95**, 480-517.
- Wallace A.R. (1989) The Relief Canyon gold deposit, Nevada: a mineralized solution breccia. *Econ. Geol.* **84**, 279-290.
- Wang Z.L., Yang L.Q., Guo L.N., Marsh E., Wang J.P., Liu Y., Zhang C., Li R.H., Zhang L., Zheng X.L., Zhao R.X. (2015) Fluid immiscibility and gold deposition in the Xincheng deposit, Jiaodong Peninsula, China: A fluid inclusion study. *Ore Geol. Rev.* **65**, 701-717.
- Wen B.J., Fan H.R., Hu F.F., Liu X., Yang K.F., Sun Zh.F., Sun Z.F. (2016) Fluid evolution and ore genesis of the giant Sanshandao gold deposit, Jiaodong gold province, China: Constraints from geology, fluid inclusions and H-O-S-He-Ar isotopic compositions. *J. Geochem. Explor.* **171**, 96-112.
- Xu D., Deng T., Chi G., Wang Zh., Zou F., Zhang J., Zou Sh. (2017) Gold mineralization in the Jiangnan Orogenic Belt of South China: Geological, geochemical and geochronological characteristics, ore deposit-type and geodynamic setting. *Ore Geol. Rev.* **88**, 565-618.
- Xu X.C., Zhang Z.Z., Liu Q.N., Lou J.W., Xie Q.Q., Chu P.L., Frost L.R. (2011) Thermodynamic study of the association and separation of copper and gold in the Shizishan ore field, Tongling, Anhui Province, China. *Ore Geol. Rev.* **43**, 347-358.
- Yang L.Q., Deng J., Guo L.N., Wang Zh.L., Li X.Zh., Li J.L. (2016) Origin and evolution of ore fluid, and gold-deposition processes at the giant Taishang gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China. *Ore Geol. Rev.* **72**, 585-602.
- Yang L.Q., Guo L.N., Wang Z.L., Zhao R.X., Song M.C., Zheng X.L. (2017) Timing and mechanism of gold mineralization at the Wang'er shan gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China. *Ore Geol. Rev.* **88**, 491-510.
- Yao Y., Morteani G., Trumbull R.B. (1999) Fluid inclusion microthermometry and the P-T evolution of gold-bearing hydrothermal fluids in the Niuxinshan gold deposit, eastern Hebei province, NE China. *Mineral. Deposita* **34**, 348-365.
- Yoo B.C., Lee H.K., White N.C. (2010) Mineralogical, fluid inclusion, and stable isotope constraints on mechanisms of ore deposition at the Samgwang mine (Republic of Korea)—a mesothermal, vein-hosted gold-silver deposit. *Mineral. Deposita* **45**, 161-187.
- Zeng O.D., Liu J.M., Liu H.T., Shen P., Zhang L.C. (2006) The ore-forming fluid of the gold deposits of Muru gold belt in eastern Shandong, China—a case study of Denggezhuang gold deposit. *Resource Geol.* **56**, 375-384.
- Zhang D.H., Xu G.J., Zhang W.H., Golding S.D. (2007) High salinity fluid inclusions in the Yinshan polymetallic deposit from the Le-De metallogenic belt in Jiangxi Province, China: Their origin and implications for ore genesis. *Ore Geol. Rev.* **31**, 247-260.
- Zhang G.B., Yang Y.C., Wang J., Wang K.Y., Ye S.Q. (2013) Geology, geochemistry, and genesis of the hot-spring-type Sipingshan gold deposit, eastern Heilongjiang Province, Northeast China. *Internat. Geol. Rev.* **55**, 482-495.
- Zhang X.H., Liu Q., Ma Y.J., Wang H. (2005) Geology, fluid inclusions, isotope geochemistry, and geochronology of the Paishanlou shear zone-hosted gold deposit, North China Craton. *Ore Geol. Rev.* **26**, 325-348.
- Zhang Y.M., Gu X.X., Liu L., Dong S.Y., Li K., Li B.H., Lv P.R. (2011) Fluid inclusion and H-O isotope evidence for immiscibility during mineralization of the Yinan Au-Cu-Fe deposit, Shandong, China. *J. Asian Earth Sci.* **42**, 83-96.
- Zhang Z.Q., Yong L., Chen Y.J. (2007) Fluid inclusion study of the Linglong gold deposit, Shandong province, China. *Acta Petrologica Sinica* **23**(9), 2207-2216.
- Zhong H.R., Chao S.W., Wu B.X., Zhi T.G., Hofstra A.H. (2002) Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China. *Mineral. Deposita* **37**, 378-392.
- Zhong J., Chen Y.J., Qi J.P., Chen J., Dai M.Ch., Li J. (2017) Geology, fluid inclusion and stable isotope study of the Yueyang Ag-Au-Cu deposit, Zijinshan orefield, Fujian Province, China. *Ore Geol. Rev.* **86**, 254-270.
- Zhong J., Chen Y.J., Chen J., Qi J.P., Dai M.Ch. (2018) Geology and fluid inclusion geochemistry of the Zijinshan high-sulfidation epithermal Cu-Au deposit, Fujian Province, SE China: Implication for deep exploration targeting. *J. Geochem. Explor.* **184**, 49-65.
- Zhou T., Yuan F., Yue S., Liu X., Zhang X., Fan Y. (2007) Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn and vein-type deposits, Anhui Province, South China. *Ore Geol. Rev.* **31**, 279-303.
- Zhou Z.J., Jiang S.Y., Qin Y., Zhao H.X., Hu C.J. (2011) Fluid inclusion characteristics and ore genesis of the Wenyu gold deposit, Xiaolinling gold belt. *Acta Petrologica Sinica* **27**(12), 3787-3799.
- Zhu M.T., Zhang L.C., Wu G., He H.Y., Cui M.L. (2013) Fluid inclusions and He-Ar isotopes in pyrite from the Yinjiagou deposit in the southern margin of the North China Craton: A mantle connection for poly-metallic mineralization. *Chem. Geol.* **351**, 1-14.
- Zhuravkova T.V., Palyanova G.A., Chudnenko K.V., Kravtsova R.G., Prokopyev I.R., Makshakov A.S., Borisenko A.S. (2017) Physicochemical models of formation of gold-silver mineralization at the Rogovik deposit (North-eastern Russia). *Ore Geol. Rev.* **91**, 1-20.