

ОБЩИЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАЛОГИИ

УДК 552.513.2 (470.5)

ПРИРОДА ПОВЫШЕННОЙ МАГНЕЗИАЛЬНОСТИ ДОЛОМИТОВЫХ ПОРОД В РИФЕЙСКИХ ТЕРРИГЕННО-КАРБОНАТНЫХ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Л.В. Анфимов

Институт геологии и геохимии УрО РАН

Башкирский мегантиклинорий известен как стратотипическая местность рифея [14], к отложениям которого приурочены магнезитовые месторождения, пользующиеся мировой известностью (рис. 1). Единство условий накопления и литогенеза осадочных рудоносных комплексов рифея, общность геологических черт строения месторождений послужили причиной выделения Башкирского мегантиклинория в качестве магнезитовой провинции [3].

Таблица 1

Химический состав магнезиальных доломитов из терригенно-карбонатных литологических комплексов рифея Башкирского мегантиклинория (мас. %)

№ п/п	Окислы	1	2	3	4	5	6	7
1	SiO ₂	6,04	4,53	1,47	5,97	1,76	1,54	9,15
2	TiO ₂	0,04	0,03	0,01	0,04	0,11	0,01	0,02
3	Al ₂ O ₃	0,91	0,58	0,63	1,28	0,41	0,45	0,13
4	Fe ₂ O ₃	0,78	0,08	0,06	0,48	0,03	0,07	0,07
5	FeO	0,21	0,35	0,73	0,82	0,37	0,20	0,30
6	CaO	28,07	28,75	29,21	28,0	29,71	28,93	27,32
7	MgO	20,23	21,13	21,01	20,20	21,57	21,24	20,24
8	MnO	0,07	0,02	0,04	0,07	0,02	0,01	0,01
9	P ₂ O ₅	0,06	0,02	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01
10	K ₂ O	0,21	0,18	0,10	0,68	0,13	0,10	0,02
11	Na ₂ O	0,06	0,06	0,63	0,10	0,27	0,02	0,03
12	П.п.п.	43,20	44,11	46,38	42,86	45,62	45,70	42,14
13	Сумма	99,94	99,84	100,28	100,55	100,05	99,16	99,35
14	MgO/CaO	0,721	0,735	0,719	0,721	0,726	0,734	0,741

Примечание: П.п.п. – потери при прокаливании; геологические объекты: 1 – R_{1sr1}, суранская свита, миньякская подсвита, Авзянский район, 2 анализа (Ларионов, 1988); 2 – R_{1st5}², саткинская свита, карагайский горизонт, г. Сатка, 31 анализ; 3 – R_{1b2}³, бакальская свита, шуйдинская пачка, г. Бакал, 3 анализа; 4 – R_{2av1}, авзянская свита, катакская подсвита, зап. крыло Башкирского мегантиклинория, 41 анализ; 5 – R_{3mn1}, миньярская свита, минкская подсвита, руч. Бугунды, 3 анализа; 6 – R_{1st5}², карагайский карьер, 200 м от кровли магнезитовой залежи, г. Сатка, 1 анализ; 7 – R_{1st5}², там же, 120 м выше магнезитовой залежи, 1 анализ.

В Южноуральской магнетитовой провинции (ЮУМП) рифейские доломитовые породы, с которыми связаны магнетитовые месторождения, представлены чистыми и глинистыми доломитами, а также доломитовыми мергелями и доломитовыми сланцами. Теоретически, минерал доломит, являющийся в перечисленных породах главным компонентом, характеризуется стехиометрическими содержаниями следующих окислов: CaO – 30,4 %; MgO – 21,7 %; CO₂ – 47,9 %. Соотношение стехиометрических концентраций MgO/CaO в минерале доломите составляет 0,714.

В доломитовых породах ЮУМП встречаются весьма нередко разности, в которых указанное соотношение стехиометрических значений MgO/CaO является превышенным (табл. 1). Химические анализы подобных разностей доломитов приводились в работах М.И. Гараня [6, 7], Л.В. Анфимова, В.Г. Петрищевой [5], А.И. Сидоренкова [7], Л.П. Урасиной и др. [18], Э.З. Гареева [8], Н.Н. Ларионова и др. [11], М.Т. Крупенина [14] и получили название магнезиальных доломитов [6,7].

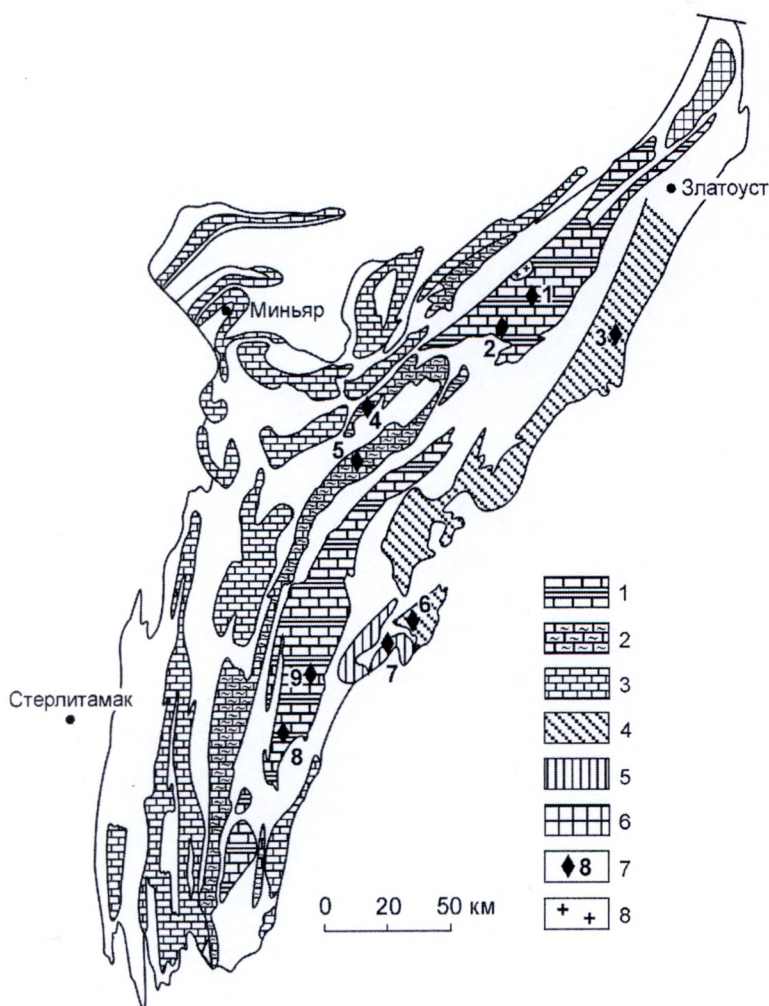


Рис. 1. Распространение терригенно-карбонатных литологических комплексов рифея в Башкирском мегантиклинории. Геологический возраст комплексов: 1 – нижнерифейский (саткинская, бакальская, суранская, юшинская свиты); 2 – среднерифейский (верхи зигазино-комаровской, авзянская свиты); 3 – верхнерифейский (катавская, инзерская, миньярская, укская свиты); 4 – среднерифейские нерасчлененные отложения; 5 – нижнерифейские нерасчлененные отложения; 6 – тараташский метаморфический комплекс; 7 – месторождения магнетита: 1 – Саткинские (Ельничное, Саткинское, Никольское, Березовское), 2 – Бакальские (Петлинское, Шиханское, Рудничное, с.з. Иркутскан), 3 – Златоустовские (Семибратское, Веселовское), 4 – Катав-Ивановское, 5 – Байгазинское, 6 – Белорецкие (Отнурское, Егоровы печи, Егорова поляна, Аболовское), 7 – Сюрюньяцкие (Кызыл-Ташское, Сюрюньяцкое, Белетурское), 8 – Исамаевское, 9 – Юшинское; 8 – граниты.

По степени превышения значения стехиометрического соотношения MgO/CaO (0,714) доломитовые породы ЮУМП условно можно подразделить на

низкомагнезиальные (0,732-0,800), среднемагнезиальные (0,800-0,900) и высокомагнезиальные (0,900-0,980), что иллюстрируется табл. 2.

Таблица 2

Химический состав доломитовых пород с повышенной магнезиальностью из терригенно-карбонатных литологических комплексов Башкирского мегантиклинория (мас. %)

№ п/п	Окислы	Низкомагнезиальные			Среднемагнезиальные			Высокомагнезиальные		
		I (7)	II (9)	III (2)	I (1)	II (1)	III (3)	I (2)	II* (1)	III (3)
1	SiO ₂	1,70	8,26	27,32	0,50	6,30	36,06	0,67	10,00	35,03
2	TiO ₂	0,02	0,03	0,13	-	0,06	0,17	-		0,10
3	Al ₂ O ₃	0,36	0,87	3,79	0,58	0,87	7,52	0,11		7,73
4	Fe ₂ O ₃	0,16	0,31	0,47	0,19	0,07	1,00	0,54		0,34
5	FeO	0,26	0,38	1,54	1,70	0,39	2,17	1,22		2,44
6	CaO	29,49	27,12	19,49	27,02	27,61	16,48	26,04	19,96	16,51
7	MgO	21,59	20,24	15,26	23,24	22,04	14,71	24,95	19,70	15,20
8	MnO	0,02	0,03	0,01	-	0,01	0,09	-		0,12
9	K ₂ O	0,10	0,38	1,60	-	0,04	0,67	-		0,59
10	Na ₂ O	0,10	0,08	0,11	-	0,08	0,13	-		0,33
11	P ₂ O ₅	0,03	0,06	0,05	-	0,01	0,15	-		0,20
12	П.п.п.	46,66	42,13	30,53	46,80	42,50	22,47	46,70	41,60	20,63
13	Сумма	100,51	99,89	100,30	100,03	99,98	101,62	100,23	91,26	99,14
14	MgO/CaO	0,732	0,746	0,783	0,860	0,798	0,892	0,958	0,987	0,916

Примечание. П.п.п. – потери при прокаливании. Типы пород: I – чистые доломиты (нерастворимого остатка до 5 %); II – глинистые доломиты (нерастворимого остатка 5-20 %); III – доломитовые мергели (нерастворимого остатка 20-50 %). В скобках указано число анализов. * - по Бодунову и Сердобовой (1954). – химическим анализом окисел не обнаружен.

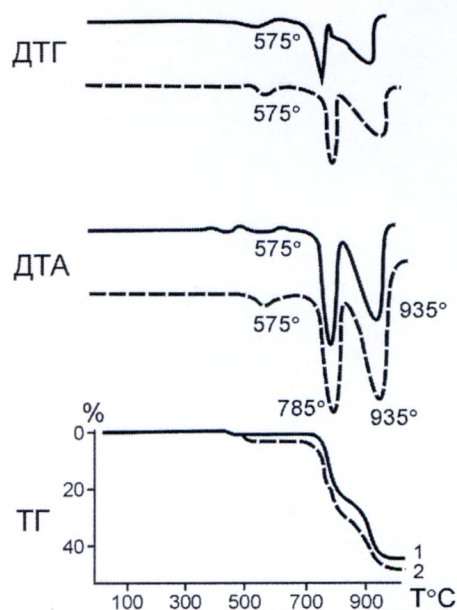


Рис. 2. Дериватограммы доломитов с повышенной магнезиальностью. 1 – обр. 7; 2 – обр. 6. Химанализы приведены в табл. 1.

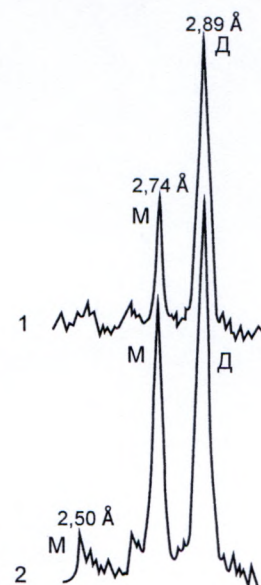


Рис. 3. Дифрактограммы тяжелых фракций ($d > 2,9 \text{ г/см}^3$) доломитов с повышенной магнезиальностью. 1 – обр. 7; 2 – обр. 6. Дериватограммы приведены на рис. 2, химанализы – в табл. 1. М – магнезит; Д – доломит.

пород с повышенной магнезиальностью ($\text{MgO}/\text{CaO} = 0,714$) выявил присутствие в них магнезита. На рис. 2 приведены дериватограммы (аналитик В.Г. Петрищева) образцов 6, 7 таблицы 1. На кривых ДТА и ДТГ четко выражены эндотермические минимумы при 575°C , которым соответствуют потери в весе на ТГ. Указанное однозначно характеризует поведение магнезита при термогравиметрическом анализе. Тяжелая фракция ($d=2,9 \text{ г/см}^3$) из порошков доломита этих же проб исследовалась дифрактометрически (аналитик И.Г. Демчук). На рис. 3 рефлексы $2,50\text{Å}$ и $2,74\text{Å}$ подтверждают присутствие магнезита, установленного термическим анализом.

Электроннографическое исследование ромбоэдрических спайных обломков кристаллов из тяжелых фракций ($d=2,9 \text{ г/см}^3$) образцов доломита № 6, 7 (аналитик Л.А. Шерстобитова) показало, что межплоскостные расстояния ($d, \text{Å}$) $1,7$ (hkl 202); $2,28$ (hkl 011); $1,17$ (hkl 104); $1,64$ (hkl 213) соответствуют данным кристаллической решетки магнезита. Микрорентгеновское зондирование кристаллических зерен доломита в полировке обр. 6 (аналитик Л.К. Воронина) выявило присутствие положительных аномалий магния (рис. 4), которые соответствуют очень мелким кристаллам магнезита. Электронномикроскопическое изучение обр. 6 и ряда других при увеличениях 15000-40000^x показало, что кристаллы магнезита имеют вытянутую таблитчатую форму, и размеры от долей до одного мкм.

Таблица 3

Содержание тонкодисперсного магнезита в доломитовых породах с повышенной магнезиальностью в терригенно-карбонатных литологических комплексах Башкирского мегантиклинория (в мас. %)

№ п/п	Петрографический тип	Геологический возраст	Географическая привязка	MgO/CaO	Количество магнезита
1	Доломит низкомагнезиальный чистый	R ₃ mn ₁	руч. Бугунды	0,73	1,64
2	Доломит среднемагнезиальный чистый	R ₁ sr ₁	дер. Исмакаево	0,80	7,75*
3	Доломит высокомагнезиальный чистый	R ₁ sr ₁	дер. Исмакаево	0,96	11,21*
4	Доломит низкомагнезиальный чистый	R ₁ st ₅ ²	г. Сатка	0,74	2,48
5	Доломит среднемагнезиальный глинистый	R ₁ st ₅ ²	г. Сатка	0,79	5,10
6	Доломит высокомагнезиальный глинистый	R ₁ sr ₁	дер. Исмакаево	0,97	11,55*
7	Мергель доломитовый низкомагнезиальный	R ₂ av ₁	дер. В. Авзян	0,78	1,98

Примечание. Количество магнезита рассчитано по избытку MgO в химических анализах пород. * - анализы Бодунова и Сердобовой (1954). R₃mn₁ – нижний рифей миньярская свита, минская подсвита; R₁sr₁ – суранская свита, миньярская подсвита; R₁st₅² – саткинская свита, карагайский горизонт; R₂av₁ – авзянская свита, каташкинская подсвита.

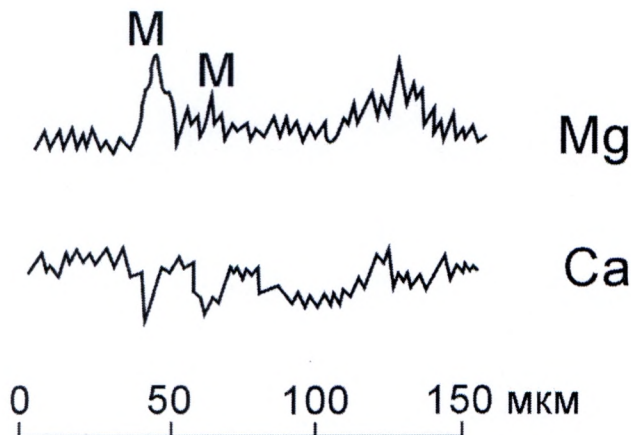


Рис. 4. Профиль микрозондирования обр. 6.

Дериватограмма, дифрактограмма даны на рис. 2, 3; химанализ – в табл. 1. М – магнезит; Mg – магний; Ca – кальций.

Таким образом, магнезит в магнезиальных доломитовых породах ЮУМП находится в состоянии тонкодисперсной фазы, которая в оптическом микроскопе обычно не обнаруживается. Количество тонкодисперсного магнезита в рифейских доломитовых породах повышенной магнезиальности может составлять от первых процентов до 11,5 % (табл. 3), а местами, можно предполагать, и более.

Таблица 4

Распространение доломитовых пород с тонкодисперсным магнезитом в терригенно-карбонатных литологических комплексах рифея Башкирского мегантиклинория по данным термогравиметрического анализа

№ п/п	Свиты	1	2	3	4
1	Суранская	R_1sr_1	18	5	18
2	Саткинская	$R_1st_5^2$	142	117	82
3	Кызылташская	R_1kz_2	2	1	50
4	Бакальская	$R_1b_2^3$	24	6	25
5	Авзянская	R_2av_1	44	11	25
6	Миньярская	R_3mn_{1-2}	37	3	8

Примечание. 1 – стратиграфический уровень: R_1sr_1 – нижний рифей, миньярская подсвета; $R_1st_5^2$ – нижний рифей, верхнесаткинская подсвета, карагайский горизонт; R_1kz_2 – нижний рифей, кызылташская средняя карбонатная подсвета; $R_1b_2^3$ – нижний рифей, верхнебакальская подсвета, шуйдинский горизонт; R_2av_1 – средний рифей, катакинская подсвета; R_3mn_{1-2} – минская и бьянская подсветы. 2 – количество исследованных образцов. 3 – количество образцов с тонкодисперсным магнезитом. 4 – встречаемость магнезитосодержащих образцов, %.

Тонкодисперсный магнезит в доломитовых породах найден в терригенно-карбонатных комплексах нижнего, среднего и верхнего рифея (табл. 4). В целом, в ЮУМП термогравиметрическим анализом было изучено 267 образцов доломитовых пород из различных карбонатных свит рифея. При этом в 143 из них был обнаружен тонкодисперсный магнезит (табл. 4), что подтверждалось эпизодически рентгеновским анализом. В карбонатно-терригенных комплексах нижнего и среднего рифея, где имеются месторождения магнезита, встречаемость тонкодисперсного магнезита в доломитовых породах более высокая (18-82 %), нежели в подобных отложениях верхнего рифея (8 %), где месторождения магнезита отсутствуют. Таким образом, выявляется четкая прямая корреляция между встречаемостью тонкодисперсного магнезита в доломитовых породах рифея и приуроченностью к ним магнезитовых месторождений.

В целом, повышенная магнезиальность доломитовых пород рифея ($MgO/CaO=0,714$) однозначно объясняется присутствием тонкодисперсной фазы магнезита, что следует считать точно установленным фактом.

Обнаруженная тонкодисперсная вкрапленность магнезита в доломитовых породах ЮУМП, как на месторождениях, так и за их пределами свидетельствует о существовании осадочных фаций рассеянного первично-гидрокарбонатного магниенакопления (Казаков и др., 1957). Следует еще раз отметить, что

тонкодисперсный магнезит встречается в доломитах верхнерифейского терригенно-карбонатного литологического комплекса (миньярская свита), где гидротермальная деятельность не проявлялась. Это подтверждает экзогенную природу данной вкрапленности.

Электроннографическое исследование ромбоэдрических спайных обломков кристаллов из тяжелых фракций ($d=2,9 \text{ г/см}^3$) образцов доломита № 6, 7 (аналитик Л.А. Шерстобитова) показало, что межплоскостные расстояния ($d, \text{Å}$) 1,7 (hkl 202); 2,28 (hkl 011); 1,17 (hkl 104); 1,64 (hkl 213) соответствуют данным кристаллической решетки магнезита. Микрорентгеновское зондирование кристаллических зерен доломита в полировке обр. 6 (аналитик Л.К. Воронина) выявило присутствие положительных аномалий магния (рис. 4), которые соответствуют очень мелким кристаллам магнезита. Электронно-микроскопическое изучение обр. 6 и ряда других при увеличениях 15000-40000^x показало, что кристаллы магнезита имеют вытянутую таблитчатую форму, и размеры от долей до одного мкм.

Таким образом, магнезит в магнезиальных доломитовых породах ЮУМП находится в состоянии тонкодисперсной фазы, которая в оптическом микроскопе обычно не обнаруживается. Количество тонкодисперсного магнезита в рифейских доломитовых породах повышенной магнезиальности может составлять от первых процентов до 11,5 % (табл. 3), а местами, можно предполагать, и более.

Тонкодисперсный магнезит в доломитовых породах найден в терригенно-карбонатных комплексах нижнего, среднего и верхнего рифея (табл. 4). В целом, в ЮУМП термогравиметрическим анализом было изучено 267 образцов доломитовых пород из различных карбонатных свит рифея. При этом в 143 из них был обнаружен тонкодисперсный магнезит (табл. 4), что подтверждалось эпизодически рентгеновским анализом. В карбонатно-терригенных комплексах нижнего и среднего рифея, где имеются месторождения магнезита, встречаемость тонкодисперсного магнезита в доломитовых породах более высокая (18-82 %), нежели в подобных отложениях верхнего рифея (8 %), где месторождения магнезита отсутствуют. Таким образом, выявляется четкая прямая корреляция между встречаемостью тонкодисперсного магнезита в доломитовых породах рифея и приуроченностью к ним магнезитовых месторождений.

В целом, повышенная магнезиальность доломитовых пород рифея ($\text{MgO/CaO}=0,714$) однозначно объясняется присутствием тонкодисперсной фазы магнезита, что следует считать точно установленным фактом.

Обнаруженная тонкодисперсная вкрапленность магнезита в доломитовых породах ЮУМП, как на месторождениях, так и за их пределами свидетельствует о существовании осадочных фаций рассеянного первично-гидрокарбонатного магниенакопления [10]. Следует еще раз отметить, что тонкодисперсный магнезит встречается в доломитах верхнерифейского терригенно-карбонатного литологического комплекса (миньярская свита), где гидротермальная деятельность не проявлялась. Это подтверждает экзогенную природу данной вкрапленности.

Текстурный анализ доломитовых пород Башкирского мегантиклинория (ЮУМП) показал, что накопление карбонатных осадков нижнего, среднего и верхнего рифея происходило в условиях фаций различных батиметрических зон морского бассейна [12, 13, 14]. Изучение зрелости состава глинистых пород региона позволило сделать заключение [14], что в позднем докембрии здесь существовал климат типа семиаридного. Ранее, В.П. Парначев [15], по данным поведения фтора и хлора в породах рифея Башкирского мегантиклинория сделал заключение о наличии здесь в седиментогенезе эвапоритовых бассейнов.

Присутствие фаций рассеянного гидрокарбонатного магниенакопления является прямым подтверждением представлений об аридности климата и существовании эвапоритового седиментогенеза при формировании осадков терригенно-карбонатных литологических комплексов рифея Башкирского мегантиклинория (ЮУМП). При этом вполне очевидно, что в верхнерифейское время климат сместился в сторону гумидизации, о чем свидетельствует резкое снижение встречаемости (8 %) тонкодисперсного магнезита в доломитовых породах этого стратиграфического уровня.

Доломитовые породы с повышенной магнезиальностью ($MgO/CaO=0,714$), обусловленной присутствием тонкодисперсной магнезитовой вкрапленности представляют собой литологический индикатор аридности палеоклимата, эвапоритового осадконакопления и металлогенической специализации [1, 2, 4] карбонатных толщ в Южноуральской магнезитовой провинции.

Тонкодисперсный магнезит в доломитовых породах с повышенной магнезиальностью ($MgO/CaO=0,714$) представляет собой автогенетическое образование для рифейских терригенно-карбонатных толщ, в то время как дискордантные залежи магнезита в этих же толщах являются аллогенетическими образованиями. Изложенное обусловило возникновение экзогенно-гидротермальной [1, 2] концепции образования магнезитовых залежей в ЮУМП, которая предусматривала накопление рассеянных гидрокарбонатов магния в седиментогенезе и последующую их мобилизацию в рудные

залежи при катагенезе с преобразованием гидратов в безводный магнезит [2, 4]. Эта концепция соответствует представлениям о стратиформном рудогенезе [9, 16] и объясняет дуализм геологических черт магнезитовых месторождений, несущих признаки как осадочного, так и эпигенетического происхождения.

Литература

1. *Анфимов Л.В.* Формации и рудоносность нижнего рифея в Бакало-Саткинском горнорудном районе на Ю. Урале // М.: Доклады АН СССР, 1982. Т. 265. № 5. С. 1227-1230.
2. *Анфимов Л.В.* Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: РАН, Уральское отделение. 1997. 290 с.
3. *Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д.* Южноуральская магнезитовая провинция. Препринт. Свердловск: АН СССР, УНЦ. 1982. 70 с.
4. *Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д., Демина Л.Е.* Саткинские месторождения магнезитов на Ю. Урале. М.: Наука. 1983. 88 с.
5. *Анфимов Л.В., Петрищева В.Г.* Особенности состава и происхождения рудовмещающих доломитов Саткинских месторождений магнезитов на Южном Урале // Минералы горных пород и руд Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1980. С. 32-39.
6. *Гарань М.И.* Саткинские месторождения магнезитов на Ю. Урале // Уральская экскурсия. XVII межд. геолог. Конгресс. Л-М: 1937. С. 40-47.
7. *Гарань М.И.* Месторождения кристаллического магнезита Саткинского района (Ю. Урал) // Минералогия Урала. Т. 1. М-Л.: АН СССР, 1954.
8. *Гареев Э.З.* Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея. Автореф. канд. диссерт. М.: ГЕОХИ, 1989. 31 с.
9. *Горжевский Д.И., Макеева И.Т.* Рудные формации. Итоги науки и техники. Сер. Рудные месторождения. Т. 16. М.: ВИНТИ. 1986. 124 с.
10. *Казаков А.В., Тихомирова М.М., Плотникова В.И.* Система карбонатных равновесий (доломит-магнезит) // М.: Тр. ИГН АН СССР. Вып. 152. Геол. сер. № 64. 1957. С. 13-58.

11. *Ларионов Н.Н., Чебан С.Г., Шефер В.А., Москвин Г.Е.* Магnezиты Башкирии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы республики Башкортостан. Матер. совещ. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1994. С. 33-35.
12. *Маслов А.В.* Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука. 1988. 134 с.
13. *Маслов А.В., Анфимов Л.В.* Авзянская рудоносная свита среднего рифея Ю. Урала (литостратиграфия, условия образования, минерогения). Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2000. 133 с.
14. *Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В.* Рифей западного склона Ю. Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогения, геологические памятники природы). Т. I. Екатеринбург: Изд. ИГиГ УрО РАН, 2001. 352 с.
15. *Парначев В.П.* Фтор и хлор в позднедокембрийских осадочных породах Ю. Урала // Геохимия вулканических и осадочных пород Ю. Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 35-46.
16. *Попов В.В.* Геологические условия экзогенно-гидротермального рудообразования. М.: Наука. 1980. 248 с.
17. *Сидоренков А.И.* Геохимия отложений саткинской свиты на Ю. Урале // Матер. по литологии и геохимии осадочных образований Урала. Свердловск: Тр. ИГГ АН СССР. Уральск. Филиал. Вып. 90. 1971. С. 3-28.
18. *Урасина Л.П., Другалева Т.А., Смолин П.П.* Главнейшие магнезитовые месторождения. М.: Наука. 1993. 157 с.