

# РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

## К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ РИФЕЙСКИХ МАГНЕЗИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

Л.В. Анфимов

В пределах крупной тектонической структуры Южного Урала – Башкирского мегантик-

линория с рифейскими отложениями связано более 20 месторождений магнезита (рис. 1). Сходство геологических признаков данных месторождений [Анфимов и др., 1982] объединяет их в Южноуральскую магнезитовую провинцию (ЮУМП), в которой группа Саткинских месторождений составляет сырьевую базу огнеупорной промышленности России. Другие месторождения здесь не эксплуатируются, поскольку запасы сырья в них хотя и велики, но качество руд невысокое.

Саткинские магнезиты известны с конца XIX в., а их разработка началась в XX столетии. Первые высказывания о генезисе магнезитовых месторождений были сообщены А.Н. Заварицким [1920] по результатам наблюдений в месторождениях Саткинской группы. Здесь им была описана эпигенетичность магнезитовых залежей в доломитовых толщах по данным открытых горных работ и сформулирована ювенильная гидротермально-метасоматическая концепция происхождения месторождений этого ископаемого сырья.

В 40-х и 50-х гг. XX в. поисковыми работами в Башкирском мегантиклинории, в (ЮУМП), помимо Саткинских, был обнаружен ряд новых месторождений магнезита в рифейских образованиях. При этом выяснилось, что в верхнедокембрийских толщах Южного Урала магнезитовые месторождения стратифицируются на двух уровнях – нижнерифейском (саткинско-суранском) и среднерифейском (авзянском). Наличие стратификации магнезитовых месторождений обусловило выдвижение М.И. Гаранем [1954] осадочно-диагенетической концепции их формирования.

Таким образом, в геологии магнезитовых месторождений Южного Урала четко обозначилась двойственность признаков: эпигенетичность рудных залежей при наличии их стратификации, т.е. двуединство противоположностей.

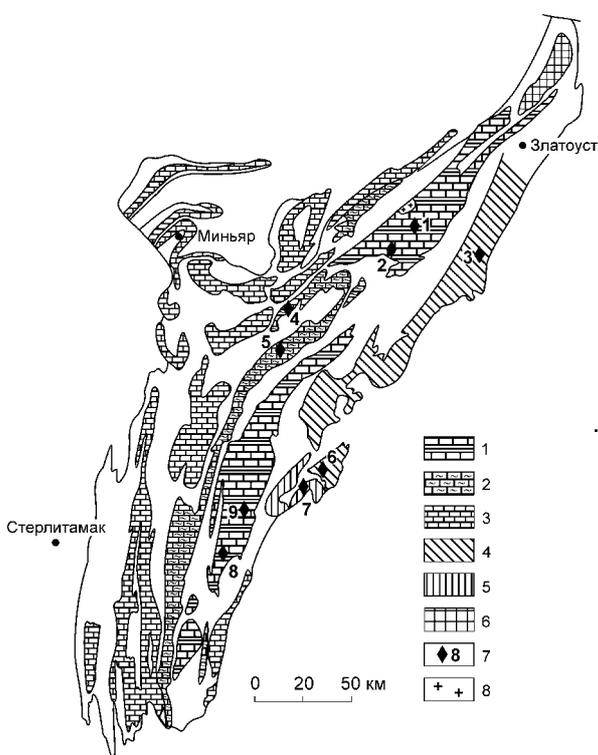


Рис. 1. Распространение месторождений магнезита в терригенно-карбонатных литологических мегакомплексах рифея Башкирского мегантиклинория (ЮУМП). Геологический возраст мегакомплексов: 1 — бурзянская серия, R<sub>1</sub> (саткинская свита и ее возрастной аналог — суранская свита, бакальская свита); 2 — юрматинская серия, R<sub>2</sub> (авзянская свита); 3 — каратауская серия, R<sub>3</sub> (катавская, подинзерская, инзерская, миньярская, укская свита); 4 — среднерифейские нерасчлененные отложения (содержится авзянский уровень); 5 — нижнерифейские нерасчлененные отложения (присутствуют саткинский и бакальский уровни); 6 — тараташский метаморфический комплекс, AR–PR<sub>1</sub>;  
7 — месторождения магнезита (1 — Саткинская группа; 2 — Бакальская группа; 3 — Златоустовская группа; 4 — Катав-Ивановское; 5 — Байгазинское; 6 — Белорецкая группа; 7 — Сюрюньязская группа; 8 — Исмакаевское; 9 — Юшинское); 8 — граниты Бердяушского массива.

Это является главной и характерной чертой магнетитовых месторождений Ю. Урала и определяет задачи раскрытия их генезиса. Первой задачей является выяснение причин локализации эпигенетических метасоматических магнетитовых залежей на определенных стратиграфических уровнях рифея, а второй – установление природы растворов, обусловивших рудный эпигенез. Отмеченные геологические

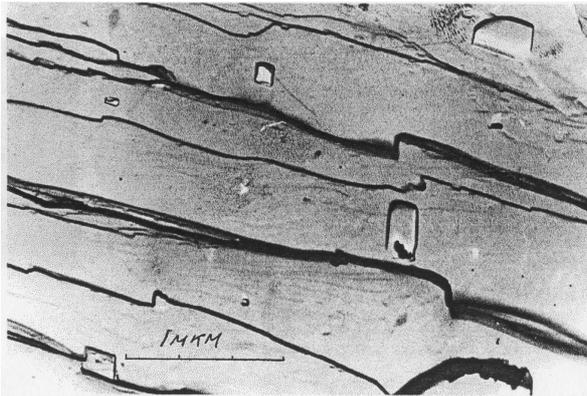


Рис. 2. Доломит с тонкодисперсной вкрапленностью идиоморфных кристаллов магнетита. Саткинское месторождение. Карагайский карьер. Обр. 240. Электронномикроскопический снимок, УМВ-100 Угольная реплика.

признаки магнетитовых месторождений определяют их как стратиформные, экзогенно-гидротермальные, в которых стратификация эпигенетических залежей полезного ископаемого объясняется приуроченностью к горизонтам с осадочным и убогим оруденением [Смирнов, 1968; Попов, 1980; Анфимов, 1982; Ручкин, 1984; Густафсон и др., 1984; Горжевский, Макеева, 1986].

Исследование вещественного состава доломитов-пород из рифейских горизонтов, вмещающих месторождения магнетитов на Ю. Урале, установило присутствие в них тонкодисперсной, порядка 1 мкм, вкрапленности магнетита (рис. 2, 3). При наличии такой вкрапленности рудовмещающие рифейские доломиты-породы обладают повышенной магниевостью [Анфимов, 1982; Анфимов, Петрищева, 1980], выраженной отношением  $MgO/CaO > 0,714$  (до 0,8-0,9). При этом доломит-минерал, слагающий доломиты-породы, явно недонасыщен магнием, т.к. в нем  $MgO/CaO < 0,714$ . В разрезе рифея ЮУМП присутствуют три магниевых геохимических горизонта [Гареев, 1989], сложенных доломитами с тонкодисперсной вкрапленностью магнетита (рис. 2). К магниевым горизонтам  $R_1$  и  $R_2$  приурочены метасоматические месторождения магнетита, а в таком же горизонте  $R_3$  эти месторождения отсутствуют. Следует отметить, что в рудовмещающих доломитах  $R_1$  и  $R_2$  четко проявляется гидротермальный литогенез, выразившийся в образовании мелких прожилково-гнездовых тел магнетита и доломита. В доломитах магниевых горизонтов  $R_3$  продукты гидротермального литогенеза практически не развиты (рис. 4).

Магнетитовые метасоматические эпигенетические тела в магниевых горизонтах представлены гнездами (дециметры), штоками (дециметры, метры), линзами (дециметры, метры), залежами (десятки, сотни метров) неправильной или пластообразной формы. Рудные залежи имеют неровные контакты, секут литологические и фациальные границы рудовмещающих доломитов (рис. 5), сопровождаются магнетитовыми сателлитами в зоне экзоконтакта, а внутри содержат останцы незамещенного доломита. Мощности магнетитовых залежей могут достигать десятков и даже сотен метров. Магнетиты наследуют текстуры замещаемых ими доломитов. Изучая распределение  $MgO$  в рудных залежах Саткинского месторождения, Б.Д. Бусыгин в 1991 установил концентрически-зональное, а не послойное

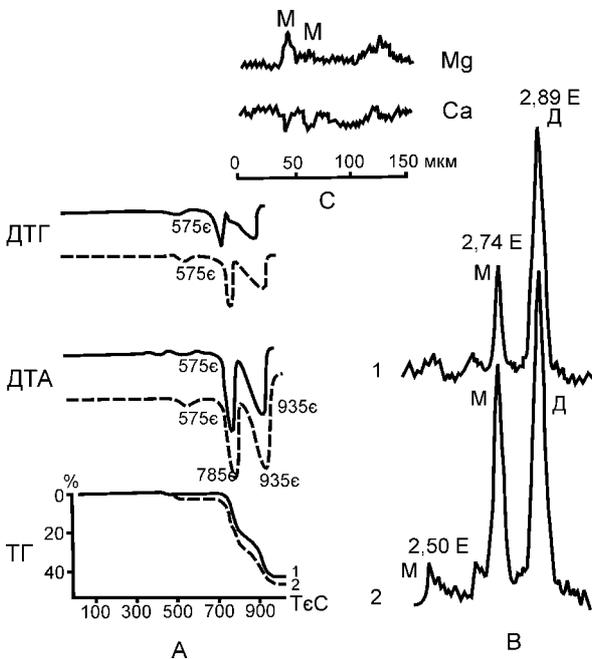


Рис. 3. Диагностика тонкодисперсного магнетита из рудовмещающих доломитов верхнесаткинской подсвиты. Карагайский карьер. Саткинское месторождение. 1 – обр. 235; 2 – обр. 240. А – дериватограммы; В – дифрактограммы; С – профили Mg и Ca, снятые рентгеновским микроанализатором. Обр. 240. М – магнетит; Д – доломит.

РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ,  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Млн. Лет	Страто-ны	Свиты	Лито-логичес-кие мегакомп-лексы	Породы, км		Соотношение пород, %	Магнетитовосность		Литогенез гидротерма-льный
				Терригенные	Карбонатные		Вкрап-лен-ность	Месторождения	
				0.0 1.0 2.0	0.0 1.0 2.0	0 50 100			
680±20	V								
1050±50	R <sub>3</sub>	Uk					+	Отсутствуют	Слабо развит
		Mn In Pin Kt Zl							
1400±50	R <sub>2</sub>	Av					+	3, 4, 5, 6	Широко проявляется
		Zk Zg Mch							
1650±50	R <sub>1</sub>	B St Ai					+	1 2, 7, 8, 9	
	AR-PR <sub>1</sub>								



Рис. 4. Распределение доломитовых горизонтов, специализированных по магнезиту, и месторождений магнезита в стратиграфическом разрезе рифея Ю. Урала. Стратоны: AR-PR<sub>1</sub> – архей-нижний протерозой, тараташский метаморфический комплекс; R<sub>1</sub> – нижний рифей, бурзянская серия; R<sub>2</sub> – средний рифей, юрматинская серия; R<sub>3</sub> – верхний рифей, каратауская серия; V- венд, ашинская серия. Свиты: ai – айская; st – саткинская; b – бакальская; msh – машакская; zg – зигальгинская; zk – зигазино-комаровская; av – авзянская; zl – зильмердакская; kt – катавская; pin – подинзерская; in – инзерская; mn – миньярская; uk – укская. Литологические мегакомплексы: 1 – терригенный, 2 – терригенно-карбонатный, 3 – присутствие горизонтов с тонкодисперсной магнезитовой вкрапленностью. Месторождения магнезитов: 1 – Саткинская группа (Ельничное, Саткинское, Никольское, Березовское); 2 – Бакальская группа (Петлинское, Шиханское, Рудничное, Иркутсканское); 3 – Златоустовская группа (Семибратское, Веселовское); 4 – Катав-Ивановское; 5 – Байгазинское; 6 – Белорецкая группа (Отнурское, Егоровы печи, Егорова поляна, Абовское); 7 – Сьюнзакская группа (Кызылташское, Сьюнзакское, Белетурское); 8 – Исмакаевское; 9 – Юшинское.

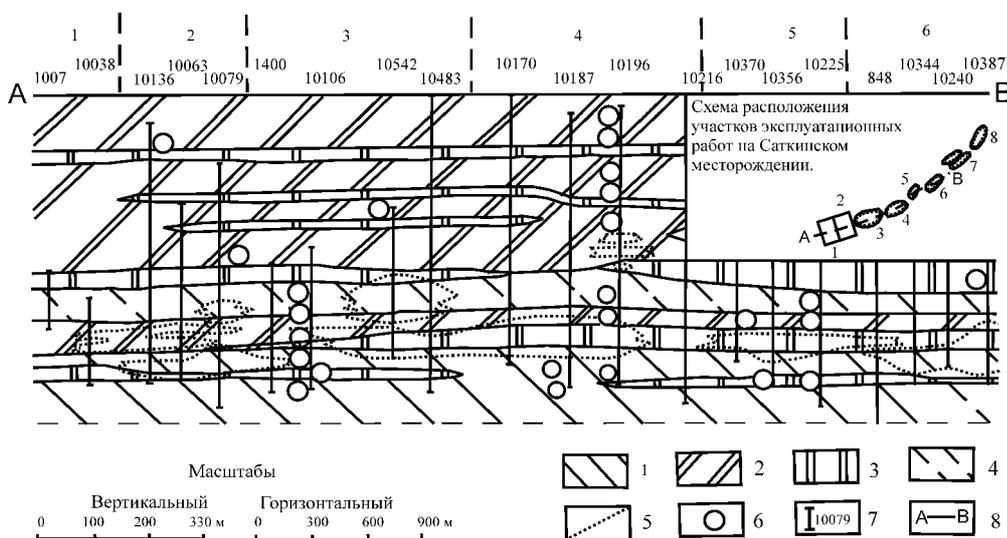


Рис. 5. Соотношение залежей магнезитов с рифейскими фациальными границами на Саткинском месторождении (по Б.Д. Бусыгину, 1991). Фации (1-4): 1 – карбонатные осадки удаленного мелководья лагуны; 2 – карбонатные и карбонатно-глинистые осадки прибрежного мелководья лагуны; 3 – карбонатные осадки центральной части лагуны; 4 – глинисто-карбонатные осадки пересыхающего мелководья лагуны; 5 – контуры магнезитовых тел; 6 – гнезда массивного магнезита; 7 – скважины и их номера; 8 – линия фациального профиля. Участки месторождения: 1 – Каргинский; 2 – Северо-Карагайский; 3 – Карагайский; 4 – Гологорский; 5 – Мельничный; 6 – Паленихинский; 7 – Вольегорск; 8 – Степной.

распределение этого компонента (рис. 6), что подтверждает метасоматическую природу данных геологических тел.

Для выяснения природы растворов, осуществлявших рудный метасоматоз в рудовмещающих доломитах, исследовались галогены, изотопия углерода, кислорода, стронция, декрепитация.

Выявление присутствия F и Cl в доломитах рифейских магнетитоносных уровней ЮУМП привело В.П. Парначева [1987] к представлению об их эвапоритовой природе. Присутствие тонкодисперсного седиментационного магнетита подтверждает это. Наличие бора и галогенов (I, Br, F, Cl) в водных вытяжках из магнетитов и рудовмещающих доломитов дали возможность Л.В. Анфимову и А.И. Ковальчуку [1980] сделать вывод об унаследованности этими образованиями ионно-солевого состава рифейских морских (лагунных) вод и высказать положение о седиментогенной природе рудных растворов. Это же положение содержится в ра-

боте Л.В. Анфимова и др. [1983], рассматривающей генезис Саткинских месторождений. В последнее время М.Т. Крупенин и В. Прохазка [2004] исследовали геохимию флюидов из газово-жидких включений в магнетитах и доломитах и подтвердили представление об осадочной природе растворов, обусловивших магний-метасоматоз в рифейских доломитах.

Изучая природу рифейских магнетитов на Ю. Урале, Ю.Л. Борщевский и др. [1981] отметили, что значения  $\delta^{13}\text{C}$  в доломитах и рудах весьма близки между собой и находятся в пределах +0,8-4,2 ‰, а  $\delta^{18}\text{O}$  охватывают интервал +13,6-22,7 ‰. Это позволило исследователям сделать вывод о первично-осадочной природе углерода и кислорода и считать магнетитовые залежи седиментогенными образованиями.

Таким образом, участие ювенильных компонентов в формировании рудных растворов исключается.

Воды, которые составляли основу рудных флюидов очевидно были элизионными,

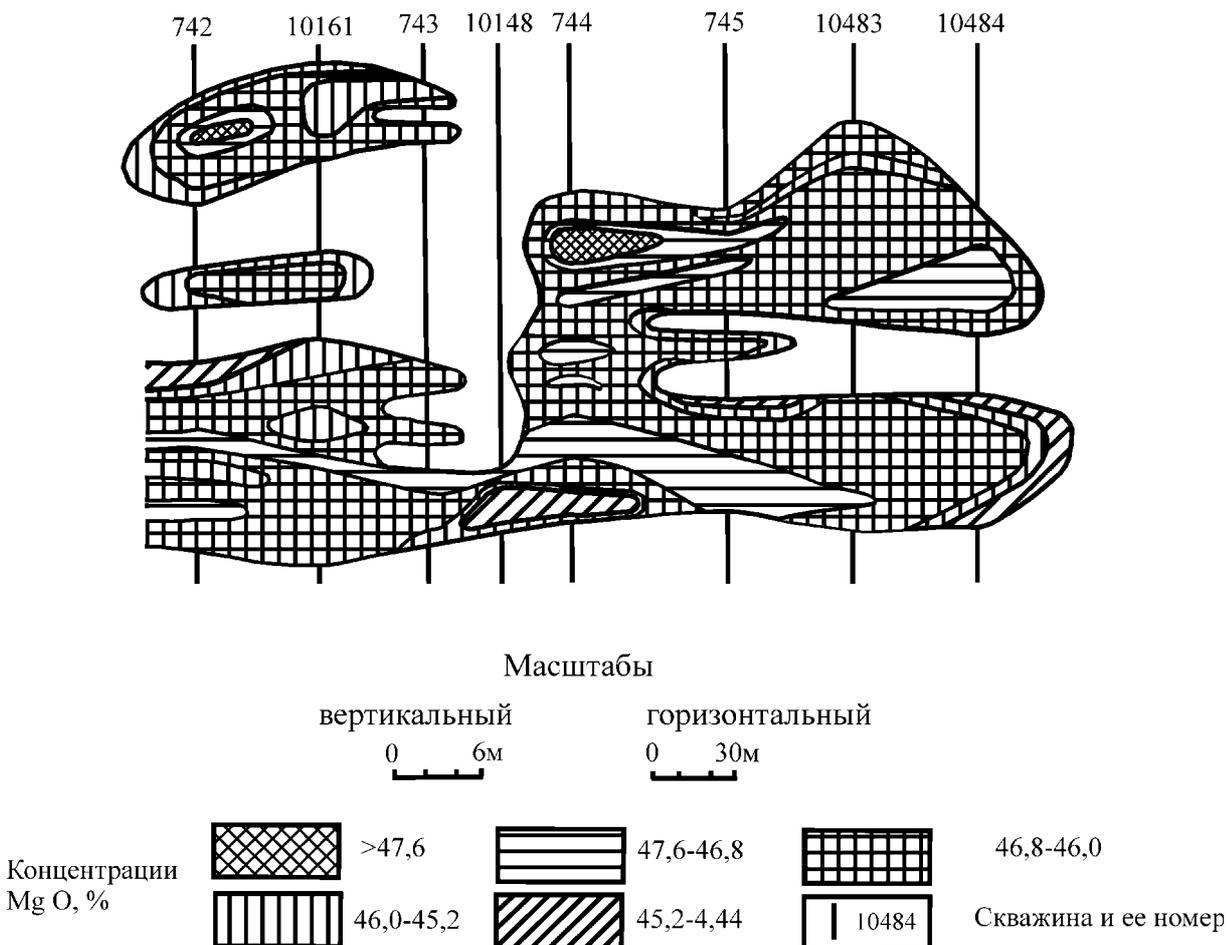


Рис. 6. Концентрически-зональное распределение MgO в телах массивных магнетитов Карагайского участка (разведочные линии 13) Саткинского месторождения (по Б.Д. Бусыгину, 1991).

## РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

термальными. Их формирование в песчано-глинистых толщах осадочных бассейнов рассмотрены в классических исследованиях В.Н. Холодова [1983, 1986], В.Н. Холодова, Е.М. Шмариовича [1992], Е.А. Баскова и др. [1998]. По изотопным соотношениям  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  В.И. Виноградовым [2003] устанавливается, что в породах саткинской свиты осуществляется интенсивный массоперенос.

О тепловом режиме элизионных рудных растворов и магнезитовом метасоматозе можно судить по данным декрепитации эпигенетических магнезитов: 430-490; 320-380; 215-295; 120-180 °С. Эти температурные интервалы свидетельствуют, что метасоматоз протекал не одноактно, а в несколько этапов.

Рифейский осадочно-породный бассейн Южного Урала в верхнем докембрии являлся частью Восточно-Европейской платформы и его геодинамическое развитие, по представлениям А.А. Маракушева [1986], И.М. Симановича и О.В. Япаскурта [2002], осуществлялось в два этапа. В начальном додеформационном геодинамическом этапе происходило накопление рифейских отложений и их литогенез при прогрессивном погружении бассейна. В это время формировались осадки горизонтов с тонкорассеянными карбонатами магнезия, как это имеет место сейчас в Южной Австралии [Borch, 1965], Зауралье [Шляпников и др. 1990] и других регионах Земли. В последующем деформационном этапе осадочно-породный рифейский бассейн испытал разнообразные дизъюктивные блоковые дислокации, обусловившие активный водный элизионный режим, приведший к формированию зон проявления гидротермального литогенеза с выраженным магнезиевым метасоматозом в виде магнезиальных гнезд, штоков, крупных пластообразных залежей. В тех же доломитовых горизонтах с тонкодисперсной вкрапленностью магнезита, где не проявился гидротермальный литогенез, формирования магнезитовых месторождений не произошло (верхний рифей, миньярская свита, рис. 4). Таким образом, магнезитовые месторождения в рифейских доломитовых толщах Южного Урала характеризуются двухэтапным формированием и являются типичными стратиформными, элизионно (экзогенно)-гидротермальными, литогенными.

На примере Саткинских месторождений, в пределах их общего рудного поля было

ориентировочно подсчитано количество тонкодисперсного магнезита для карагайского горизонта верхнесаткинской подсвиты (именно здесь сосредоточены все метасоматические залежи месторождений). При средневзвешенном содержании 2,58 % тонкодисперсного магнезита в доломите на площади  $20 \times 20 = 400 \text{ км}^2$  при мощности карбонатных пород карагайского горизонта 600 м ориентировочное количество убогого магнезитового оруденения составило величину порядка 21 млрд т, из которых при внутрислоевом растворении в литогенезе было вынесено 3,5 млрд т магнезита. В рудных метасоматических залежах Саткинских месторождений насчитывается порядка 300 млн т магнезита. Эта величина составляет не более 1,5 % от исходного тонкодисперсного магнезита или 8,5 % относительно его количества, вынесенного внутрислоевым растворением при литогенезе.

Рифейский осадочно-породный бассейн Башкирского мегантиклинория представляет собой изохимическую систему, которая содержала в себе рудогенерирующие и водопроизводящие литологические комплексы. Тепловая энергия рудообразования была эндогенной. Особенностью магнезитового рудообразования является участие в нем как седиментогенеза, так и литогенеза.

### Список литературы

*Анфимов Л.В.* Формации и рудоносность нижнего рифея в Бакало-Саткинском горнорудном районе на Южном Урале // Докл. АН СССР. Т. 265. № 5. 1982. С. 1227-1230.

*Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д.* Южноуральская магнезитовая провинция. Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. 70 с.

*Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д., Демина Л.Е.* Саткинские месторождения магнезитов на Южном Урале. М.: Наука, 1983. 88 с.

*Анфимов Л.В., Ковальчук А.И.* Галогены и бор в карбонатных породах нижнего рифея на Южном Урале // Ежегодник-1979. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1980. С. 95-97.

*Анфимов Л.В., Петрищева В.Г.* Особенности состава и происхождения доломитов Саткинских месторождений на Ю. Урале // Минералы горных пород и руд Урала. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1980. С. 32-39.

*Басков В.Е., Басков В.Е.* Стадийность гидрогеологических процессов и рудообразующие (палео-гидрогеологические) системы в осадочных бассей-

нах // Литогеохимия и минерализация осадочных бассейнов. СПб: ВСЕГЕИ, 1998. С. 149-160.

*Борщевский Ю.А., Борисова С.Л., Лазур О.Г. и др.* Изотопное ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) исследование сидеритов Бакальского и магнезитов Саткинского месторождений // Проблемы осадочной геологии докембрия. Карбонатное осадконакопление в докембрии. М.: Недра, 1981. С. 195-202.

*Виноградов В.И.* Некоторые черты эпигенеза с позиций изотопной геохимии // Литология и полезные ископаемые. 2003. № 4. С. 391-411.

*Гарань М.И.* Месторождения кристаллического магнезита Саткинского района (Ю. Урал) // Минералогия Урала. Т. 1. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 131-152.

*Гареев Э.З.* Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея. Автореф. канд. дис. Ин-т геохимии и аналитич. химии. М.: АН СССР, 1989. 23 с.

*Горжевский Д.И., Макеева И.Т.* Рудные формации // Итоги науки и техники. Сер. Рудные месторождения. Т. 16. М.: ВИНТИ, 1986. 124 с.

*Густафсон Л., Уильямс Н.* Стратиформные месторождения меди, свинца, цинка в осадочных породах // Генезис рудных месторождений. Т. 1. М.: Мир, 1984. С. 156-244.

*Заварицкий А.Н.* Результаты исследования магнезитовых месторождений в Саткинском районе в 1918 г. // Горное дело. 1920. № 2-3. С. 37-39.

*Крупенин М.Т., Прохазка В.* Геохимия флюидных включений в магнезитах и вмещающих карбонатных породах Саткинского и Бакальского рудных полей – значение для восстановления состава рудообразующих флюидов // Карбонатные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий: седименто- и литогенез, минералогия. Мат-лы VI Уральского регион. литол. совещ. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. С. 76-78.

*Маракушев А.А.* Соотношение литогенеза и метаморфизма // Глинистые минералы в литогенезе. М.: Наука, 1986. С. 103-112.

*Парначев В.П.* Фтор и хлор в позднедокембрийских осадочных породах Ю. Урала // Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 35-46.

*Попов В.В.* Геологические условия экзогенно-гидротермального рудообразования. М.: Недра, 1980. 247 с.

*Ручкин Г.В.* Стратиформные полиметаллические месторождения докембрия. М.: Недра, 1984. 236 с.

*Симанович И.М., Япаскерт О.В.* Геодинамические типы постседиментационных литогенетических процессов // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2002. № 6. С. 20-31.

*Смирнов В.И.* Колчеданные месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1968. С. 586-647.

*Холодов В.Н.* Формирование газодных растворов в песчано-глинистых толщах элизионных бассейнов // Осадочные бассейны и их нефтегазоносность. М.: Недра, 1983. С. 28-44.

*Холодов В.Н.* Роль регионального катагенеза в формировании термальных газодных растворов (к теории стратиформного рудообразования) // Генезис редкометалльных и свинцово-цинковых стратиформных месторождений. М.: Наука, 1986. С. 6-28.

*Холодов В.Н., Шмариович Е.М.* Рудогенерирующие процессы элизионных и инфильтрационных систем // Геология рудных месторождений, 1992. С. 10-17.

*Шляпников Д.С., Демчук И.Г., Окунев П.В.* Минеральные компоненты донных озер Урала. Свердловск: Уральский госуниверситет, 1990. 103 с.

*Borch C.C.* The distribution and preliminary geochemistry of modern carbonate sediments of the Coorong area South Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 1965. V. 29. № 7. P. 781-801.