

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
ФЛЮОРИТОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ  
ЗАПАДНОГО СКЛОНА СЕВЕРНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА**

**М.Т. Крупенин, И.И. Чайковский, Т.Я. Гуляева, В.Г. Петрищева**

Месторождения и проявления флюорита на западном склоне Урала развиты от Пай-Хоя (Амдерма, Буредан и др.), через Северный (Посьмак и др.) на Южный Урал (Суран и др.). Они приурочены преимущественно к верхнедо-

кембрийским терригенно-карбонатным толщам и относятся к флюоритовой и флюорит-сульфидной гидротермально-метасоматическим рудным формациям [Настасиенко, Сомов, 1991; Сомов, 1994, 1997]. В настоящее время разра-

батываются месторождения Суранской и Амдерминской групп. Нами проведено минералого-геохимическое изучение флюоритов и вмещающих пород проявлений Северного Урала (Саклаимсори, Березовский камень, Посьмак), локализованных в пределах Кваркушско-Каменогорского мегантиклинория и Западно-Уральской зоны складчатости, а также Волго-Уральской антеклизы (Ординское). Геологическая характеристика проявлений флюорита, приведенная ниже, основана преимущественно на исследованиях геологов ПГГСП «Геокарта», пространственное размещение проявлений показано на рисунке 1.

Вмещающие породы изучались петрографически, а также методами рентгенографического и дифференциально-термического анализов. Флюорит выделялся для геохимических исследований как ручной выборкой, так и в тяжелых жидкостях (фракция тяжелее 2.88 г/см<sup>3</sup>). Дальнейшему анализу на комплекс микроэлементов, выполненному методом ICP-MS в ИГХ СО РАН (г. Иркутск), подвергались как вмещающие породы с незначительной примесью флюорита, так и монофракции флюорита. В таблице 1 отражены результаты исследования пород и флюоритов физическими методами, показывающие известняковый состав пород Ординского проявления и заметную доломитизацию карбонатных пород проявления Березовский камень и Посьмак. Кроме карбонатных минералов и флюорита, в составе пород отмечено присутствие кварца, на Посьмаке – еще и слюды. Гранит-порфиры проявления Саклаимсори состоят из кварца, плагиоклаза, микроклина и слюды.

**Посьмакское проявление** флюорита было выявлено и опробовано геологами Шудьинской партии (ПГГСП «Геокарта») в 1989-1998 годах в восточной части Ляпинско-Кутимского мегантиклинория. Оно находится на правом берегу р. Посьмак, в 2-х км выше устья, и расположено в автохтонной части вблизи Велсовского надвига среди доломитов верхнемойвинской подбиты мойвинской свиты среднего рифея. Б.В. Клименко было установлено, что минерализация приурочена к мусковит-кварц-карбонатным метасоматитам (амдермитам), с рассеянной пиритной вкрапленностью, залегаю-

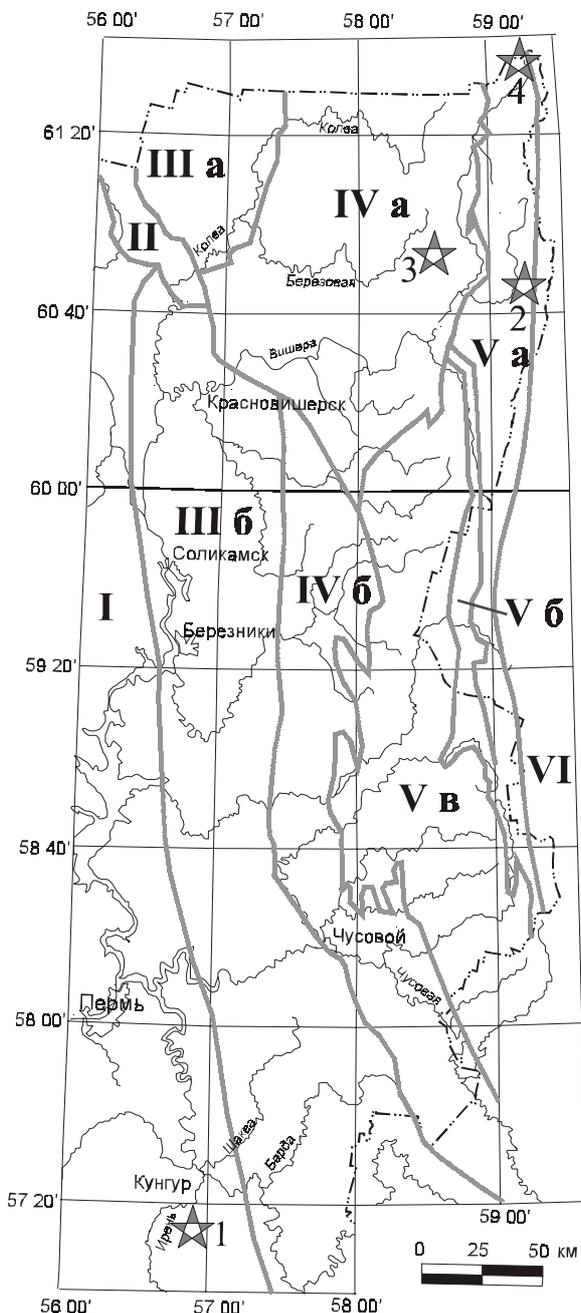


Рис. 1. Схема размещения описываемых проявлений флюорита.

1 – Ординское; 2 – Посьмакское; 3 – Березовское; 4 – Саклаимсорское. Тектонические структуры: I – Волго-Уральская антеклиза; II – Тиманская антеклиза; III – Предуральский краевой прогиб (а – Большесыньинско-Верхнепечорская мегавпадина, б – Уфимско-Соликамская мегавпадина); IV – Западноуральская зона складчатости (а – Щугорско-Вишерская структура, б – Кизеловско-Дружининская структура); V – Центральноуральское поднятие (а – Ляпинско-Кутимский мегантиклинорий, б – Улсовско-Висимский мегасинклинорий, в – Кваркушско-Каменогорский мегантиклинорий); VI – Тагило-Магнитогорский прогиб

Минеральный состав пород,  
вмещающих флюоритовую минерализацию Северного Урала

Объекты	Рентгенографический анализ							Термический анализ, мас. %			
	Cc	Dm	Fl	Mi	Qu	Mcr	Pl	Cc	Dm	Pу	Qu
Ординское	+	+	+	-	-	-	-	73	~10	2	-
Посьмакское	+	+	+	сл	+	-	-	6	54	-	~20
Березовский камень	+	-	+	-	сл	-	-	38	49	-	~10
Саклаимсорское	сл	-	+	сл	+	+	+				

Примечание. Cc – кальцит; Dm – доломит; Fl – флюорит; Mi – слюда; Qu – кварц; Mcr – микроклин; Pl – плагиоклаз; Pу – пирит; + – много; сл – следы; - – отсутствует.

щим согласно с вмещающими карбонатами. Мощность зоны амдермитов порядка 10-12 м, протяженность более 300 м. В центральной части метасоматической зоны вскрыты линзовидные тела с прожилково-вкрапленной минерализацией флюорита (10-15 %). Флюорит на проявлении от мелкокристаллического во вкрапленниках и гнездах размерами до 2-3 см в диаметре, до средне- и крупнокристаллического в послойных линзочках, жилах и крустификационных агрегатах. Кроме флюорита в амдермитах были обнаружены: барит, галенит, сфалерит, блеклые руды, халькопирит, куприт, малахит, молибденит, пирротин, лепидолит. Спектральным анализом в амдермитах были выявлены аномальные содержания лития (0.1-0.3%) и бария (>1%). Прогнозные запасы флюорита на участке «Посьмакский» составляют порядка 80-85 тыс тонн. Западнее флюоритового проявления было встречено 3 зоны амдермитизации в доломитах мойвинской свиты.

Вмещающий доломит имеет мелкую волнистую слоистость, мелкозернистую структуру, придающую породе сахаровидный облик, светло-серый цвет. Флюорит представлен прожилково-вкрапленной разновидностью, от светло-фиолетового до сиреневого цвета. Наиболее крупные прожилки мощностью до 5 мм вытянуты по слоистости вмещающей карбонатной породы и имеют тупые выклинивания в латеральном направлении, изометричные вкрапленники размером также до 5 мм состоят из зерен флюорита размером до 1 мм. Формы выделения флюорита предполагают метасоматическое

его развитие по карбонату. Выделена монофракция флюорита (ПФ) и вмещающая порода (ПД).

**Ординское проявление** флюорита выявлено в 1954 г. Ю.А. Нечаевым на левом берегу р. Кунгур, у с. Орда (Абрамович, Нечаев, 1960). В тектоническом отношении оно локализовано в восточной части Восточно-Европейской платформы, в пределах Сылвенского кряжа, который сформировался в результате неоген-четвертичной активизации Урала [Сомов, 1984]. Флюоритовая минерализация выявлена в сульфатно-карбонатной иренской свите кунгурского яруса нижней перми и приурочена к доломитизированным известнякам тюйской пачки иренской свиты.

Вмещающая порода представлена тонкозернистым слабо доломитизированным известняком светло-серого цвета с массивной текстурой. Флюорит сине-фиолетового цвета выполняет прожилки и гнезда, ориентированные в одном направлении. Под микроскопом наблюдается линейность в расположении вытянутых в одном направлении карбонатных зерен. Выделены две разновидности флюорита, вытянутые по направлению линейности вмещающего карбоната: 1) неправильной формы зоны густой вкрапленности тонкозернистого флюорита мощностью до 1-2 мм; 2) выделения флюорита размером до 1.5 мм сложных заливчатых очертаний. Во втором случае крупные флюоритовые зерна тяготеют к зонам густой вкрапленности тонкозернистого флюорита, но перекристаллизация вмещающих карбонатных зерен в этом случае повышается, что указывает на единство

процессов перекристаллизации и метасоматического образования флюорита. Выделена монофракция флюорита (ОФ), флюорит, выбранный из крупных гнезд (ОФП), и вмещающая порода (ОД).

Проявление *Березовский камень* было открыто в процессе геологической съемки Верхне-Вайской площади. Работами Т.Н. Поповой и др. было выделено два типа флюоритовой минерализации. В прожилково-вкрапленном типе флюорит образует тонкую вкрапленность по слоистости известняка и тонкие прожилки. В жильном и прожилковом типе флюорит представлен кристаллами и сростками (от долей миллиметра до 2-2.5 см) совместно с кальцитом. Оруденение приурочено к верхней половине серпуховского яруса нижнего отдела карбона, башкирского яруса и нижней карбонатной пачки московского яруса среднего отдела карбона. В качестве контролирующей структуры рассматривается стык Предуральяского краевого прогиба и Центрально-Уральского поднятия. Зоны флюоритовой минерализации сопровождаются геохимическими аномалиями стронция и гамма-активности пород и, по данным шлихового опробования, протягивается на север. Согласно требованиям к флюсам (минимальное количество  $\text{CaF}_2$  5%), прогнозные ресурсы по категории  $P_2$  только на одном участке (флюоритовом) составляют более 140 млн т.

Вмещающая карбонатная порода представлена темно-серым мелковолнистослоистым и брекчиевидным доломитизированным известняком, вероятно, микробиальной природы. Флюорит образует секущие прожилки мощностью до 1 мм черного цвета совместно с карбонатом и кварцем. Под микроскопом флюорит имеет индигово-синий цвет. При дроблении и истирании пробы был отмечен ощутимый запах сероводорода. Выделена монофракция флюорита (БФ) и вмещающая порода (БД).

*Саклаимсорское* проявление флюорита находится в самой северной точке Пермской области, на г. Саклаимсори-Чахль, и приурочено к одноименному субвулканическому массиву граносиенит-гранитового состава, расположенному близ Главного уральского разлома среди терригенных образований среднего-верхнего ордовика. Данный массив выявлен геологами Мойвинской партии (ПГГСП «Геокарта») при заверке аэроаномалии гамма-активности. Флюорит в виде округлых выделений (миарол) диаметром до 1-3 см, а также прожилков, лока-

лизован в дайкообразных телах гранит-порфиоров, что позволяет предполагать его магматическое и постмагматическое происхождение. Флюоритовая минерализация характерна и для других массивов данного комплекса (Посьмакский, Кваркушский и др.). Флюорит выявлен нами также в гранит-порфирах, слагающих жерловидное тело на плато Кваркуш, где он представлен ажурными скелетными образованиями, рассеянными в основной массе породы. Подобная морфология индивидов свидетельствует об их магматической природе и быстрой кристаллизации расплава [Чайковский, Андреичев, 2001].

Вмещающая порода представляет собой метаморфизованный гранит-порфир. Под микроскопом в основной массе наблюдается развитие идиоморфных лейст слюды, плеохроирующей в зелено-желтых тонах, составляющих до 5 %, рутила, плагиоклаза. Флюорит приурочен к жилам карбонат-полевошпат-кварцевого состава и образует угловатые выделения размером до 4 мм темно-фиолетового цвета. Выделена монофракция флюорита (СФ) и вмещающая порода (СП).

Распределение микроэлементов в изученных флюоритах и вмещающих их породах показало существование некоторых зависимостей между ними, а также типом минералообразующих метасоматических флюидов. На спайдердиаграмме (рис. 2) выделяются две группы распределений: основная масса проб, включающих флюориты и вмещающие их карбонатные породы, и флюориты с вмещающими гранитоидами проявления Саклаимсори. Для последних проб наблюдается одинаковая тенденция: резко повышенные (на порядок) концентрации Ga, Rb, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, лантаноидов, Hf, Ta, Th. Для сравнения на данной диаграмме помещено распределение в оптическом флюорите из Суранского месторождения на Южном Урале, которое показывает относительно низкие концентрации большинства рассматриваемых элементов и демонстрирует значительное сходство с кривыми распределений флюоритов и вмещающих их карбонатных пород Северного Урала.

Еще более показательным выглядят различия выделенных групп при детальном рассмотрении распределений редкоземельных элементов (рис. 3). Пробы проявления Саклаимсори (СФ, СД) образуют свой отчетливый тренд, характеризующийся повышенными концентрациями РЗЭ, субгоризонтальным типом распре-

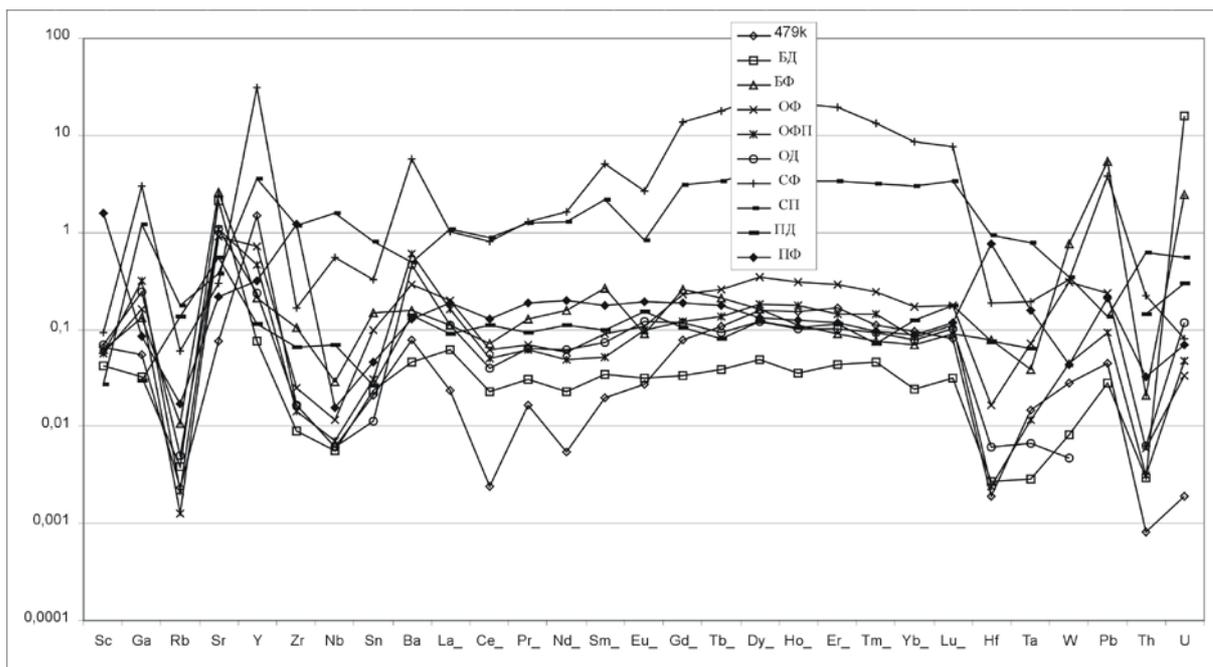


Рис. 2. Спайдер-диаграмма распределения некоторых микроэлементов (нормированных на примитивную мантию) во флюоритах и вмещающих породах Северного Урала.

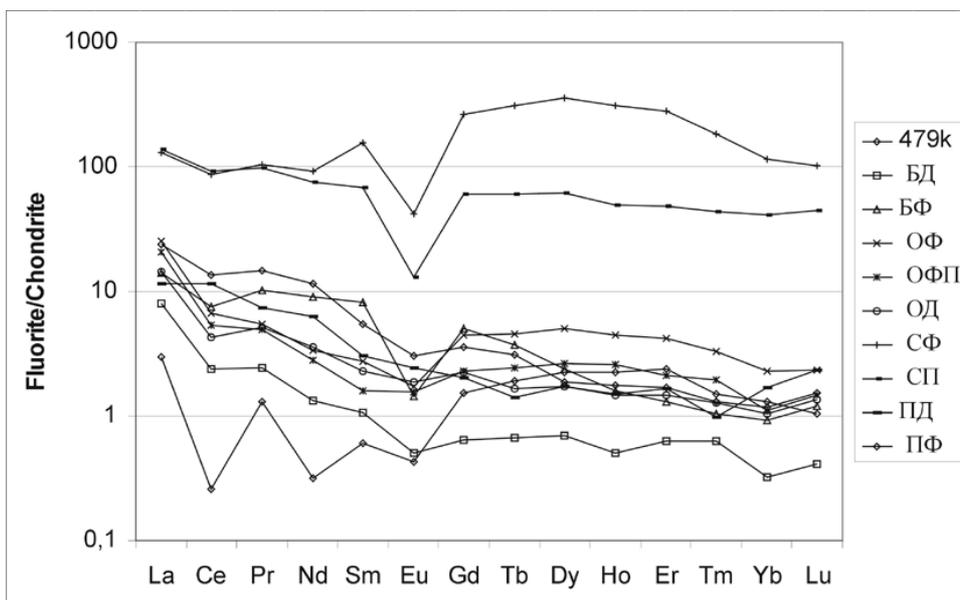
Номера проб соответствуют описанию в тексте, 479к – оптический флюорит Суранского месторождения на Южном Урале.

деления с четко выраженной европиевой отрицательной аномалией, значение которой опускается до 0.20. Подобные закономерности являются характерной чертой флюоритов, источники фтора для которых связаны с гранитоидами [Минеев, 1974; Бойко, 1993; Матвеева, 1996; Крупенин и др., 1999 и др.].

Другой тип распределений РЗЭ характерен для пород и флюоритов месторождения Посьямак

(ПФ, ПД) и проявления Березовский камень (БД, БФ). Данные пробы имеют постепенное снижение концентраций РЗЭ от легких к тяжелым, что является типичной особенностью кальций-содержащих пород и минералов, выпадающих из растворов, характеризующихся пере-

Рис. 3. Распределение РЗЭ, нормированное на хондрит С1 во флюоритах и вмещающих породах Северного Урала.



носом компонентов в ионной форме [Luders et al., 1991]. При этом лантаноиды испытывают некоторое фракционирование за счет различия в ионных радиусах: легкие РЗЭ, обладающие несколько большим эффективным ионным радиусом, легче освобождаются в процессе растворения и обогащают флюид, а следовательно, и выпавшие из него гидротермальные минералы. Этот тип распределения РЗЭ, с отношением  $La/Lu > 1$ , вообще характерен для ионных гидротермальных растворов и минералов, выпавших из них (первичное минералообразование). Подобный же по форме тренд, но на более высоких уровнях концентрации РЗЭ, является типичным для глинистых пород и континентальной коры в целом (коровый тип распределения). Для Ординского проявления (ОФ, ОФП, ОД) наблюдается тот же тренд первичной кристаллизации, но осложненный некоторым подъемом концентраций средних и тяжелых РЗЭ. Последняя особенность сближает флюориты данного проявления с оптическим флюоритом из Суранского месторождения (проба 479к). Ранее нами были установлены генетические и соответствующие им геохимические типы флюоритов Суранского месторождения [Крупенин и др., 1999]. Оптические флюориты относятся к последней по времени генерации, связанной с процессами перераспределения фтора внутри сложившейся гидротермальной системы. В результате процессов ремобилизации при повышенной активности комплексообразователей происходит переотложение флюорита ранних генераций. При этом максимальную растворимость и перемещение вместе с фторидом кальция испытывают, как правило,

тяжелые лантаноиды, легче переносимые анионами-комплексообразователями, к которым относятся, прежде всего, гидроксил-ион и галогенные комплексы [Moeller, 1991]. В результате, переотложенные генерации имеют пониженные значения  $(La/Lu)_{C1}$  и  $(LLn/HLn)_{C1}$  относительно первичных минералов. Это и наблюдается в случае с Ординским проявлением, что иллюстрируется в таблице 2. Значения  $(La/Lu)_{C1}$  и  $(LLn/HLn)_{C1}$  для флюоритов этого проявления составляют соответственно 10.84 и 3.29 против 15.62 и 11.41 для флюоритов Посьмакского и 16.37 и 9.79 для Березовского камня.

Таким образом, на основе изучения распределения малых и редкоземельных элементов устанавливается определенное сходство состава вмещающих пород и флюоритов для различных проявлений этого минерала в Центрально-Уральской зоне Северного Урала. Относительно источников фтора могут быть различные мнения. Для проявления Саклаимсори предполагается связь с кислыми магматическими породами, на которую указывают высокая сумма лантаноидов, интенсивный европиевый минимум и форма распределения РЗЭ. Следует отметить также и самое низкое значение отношения  $Y/Ho$  для этой группы флюоритов из рассмотренных типов (см. табл. 2), что предполагает наиболее длительную историю миграции гидротермальных фтороносных флюидов [Вау, 1995]. Для других проявлений достоверно можно говорить только о коровом характере источника фтора. Невысокие суммарные концентрации РЗЭ, относительно слабые значения отрицательной аномалии европия и высокие величины отношения легких лантаноидов к тяже-

Таблица 2

Некоторые зависимости распределения РЗЭ во флюоритах и вмещающих породах Северного и Среднего Урала

	479к	БД	БФ	ОФ	ОФП	ОД	СФ	СП	ПД	ПФ
SumREE	2.92	4.84	16.37	16.15	12.10	9.90	395.86	189.78	15.35	23.27
$La/Lu_{C1}$	2.84	19.21	11.78	10.84	14.26	10.63	1.27	3.10	4.89	15.62
$La/Ce_{C1}$	11.62	3.30	1.86	3.81	3.89	3.38	1.48	1.48	0.99	1.76
$Y/Ho$	265.74	58.68	51.95	64.82	71.12	63.54	39.66	28.95	29.93	70.94
$Eu/Eu^*$	0.41	0.58	0.22	0.48	0.79	0.84	0.20	0.20	0.96	0.66
$(LLn/HLn)_{C1}$	0.95	7.08	9.79	3.29	5.06	5.47	0.63	2.31	4.88	11.41

Примечание. SumREE – сумма РЗЭ;  $Eu/Eu^* = 2 * (Eu/Eu_{C1}) / (Sm/Sm_{C1} + Gd/Gd_{C1})$ ;  $(LLn/HLn)_{C1} = (La/La_{C1} + 2Pr/Pr_{C1} + Nd/Nd_{C1}) / (Er/Er_{C1} + Tm/Tm_{C1} + Yb/Yb_{C1} + Lu/Lu_{C1})$ . Нормирование проведено на хондрит C1

лым указывают на возможную связь фтора с вмещающими осадочными породами или поровыми растворами в них. Однако проявление флюоритовой минерализации в осадочных породах именно в зоне Центрально-Уральского поднятия, где неоднократно в течение позднедокембрийского времени и в фанерозое проявлялись этапы рифтогенной активизации, заставляет связывать источник фтора с процессами восходящей миграции глубинных флюидов. Известно, что повышенными концентрациями фтора характеризуются расплавы, сформированные в условиях внутриконтинентальных рифтов и горячих точек [Наумов и др., 2000]. Соответственно и сопровождающие их флюиды будут существенно приносить фтор. Неслучайно месторождения и проявления флюорита в Башкирском мегантиклинории связаны пространственно с западным бортом Машакского рифтогенного грабена [Крупенин, Эльмис, 2000].

*Исследования проводятся при поддержке интеграционного Урало-Сибирского проекта «Карбонатные последовательности позднего докембрия Урала и юга Восточной Сибири: структура, обстановки формирования и минералогия» и гранта НШ.85.2003.5.*

#### Список литературы

- Бойко С.М.* Редкоземельные элементы – индикаторы связи оруденения с магматизмом // Докл. РАН. 1993. Т. 333. № 2. С. 253-256.
- Крупенин М.Т., Меллер П., Дульски П.* Редкоземельные и малые элементы во флюоритах и вмещающих доломитах (нижний рифей, Южный Урал) // Геохимия. 1999. 11. С. 1165-1177
- Крупенин М.Т., Эльмис Р.* Основные этапы стратиформного рудообразования в рифейских толщах Башкирского мегантиклинория (к созданию генетических моделей) // Осадочные бассейны: закономерности строения и эволюции, минералогия (Материалы 4 регионального Уральского литологического совещания) Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 62-63.
- Минеев Д.А.* Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. М.: Наука. 1974. 235 с.
- Настасиенко Е.В., Сомов М.М.* Структурная позиция флюоритового оруденения Западно-Уральского региона и условия локализации рудных тел // Условия локализации сурьмяно-ртутного и флюоритового оруденения в рудных полях. Новосибирск: Наука, 1991. С. 141.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Дорофеев В.А.* Концентрация летучих компонентов ( $H_2O$ , Cl, F, S,  $CO_2$ ) в магматических расплавах различных геодинамических обстановок // Геохимия. 2000. № 5. С. 555-564.
- Сомов М.М.* Особенности образования флюоритового оруденения Западно-Уральской металлогенической провинции // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Тез. докл. I Всерос. металлогенич. совещ. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1994. С. 250-251.
- Сомов М.М.* Флюоритоносность западного склона Урала и Приуралья. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ, 1997. 23 с.
- Матвеева С.С.* Редкоземельные элементы как геохимические индикаторы природы рудоносных флюидов на месторождениях грейзеновой формации // Докл. РАН. 1996. Т. 351. № 2. С. 249-252.
- Крупенин М.Т., Эльмис Р.* Основные этапы образования стратифицированного оруденения в рифейских толщах Башкирского мегантиклинория (к созданию генетических моделей) // Осадочные бассейны Урала и прилегающих регионов: закономерности строения и минералогия. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 117-123.
- Чайковский И.И., Андреев В.Л.* Изотопная геохронология гранитоидов Вишерского Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2001. Вып. 3. С. 129-137.
- Vau M.* Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf and lanthanide tetrad effect // Contribs. Mineral. Petrol. 1996. V. 123. P. 323-333.
- Luders V.* Formation of hydrothermal fluorite deposits of the Harz Mountains, Germany. // Source, Transport and Deposition of Metals / Pagel and Leroy (eds). Rotterdam: Balkema. 1991, P. 325-328.
- Luders V., Moeller P., Dulski P.* REE fractionation in carbonates and fluorite // Monograph Series on Mineral Deposits. 1993. 30. Gebruder Borntraeger. Berlin-Stuttgart. P. 133-150.
- Moeller P.* REE fractionation in hydrothermal fluorite and calcite. // Source, Transport and Deposition of Metals / Pagel and Leroy (eds). Rotterdam: Balkema, 1991. P. 91-94.