

УДК 550.4:550.42:546

## К ГЕОХИМИИ ФЛЮОРИТА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,  
e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены содержания химических элементов во флюоритах различных геолого-промышленных типов оруденения: стратиформных, эпитегрмальных и грейзеновых. Флюориты стратиформного типа локализируются в области селективного состава лантаноидов. В них проявлен W – тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Флюориты грейзеновых месторождений характеризуются селективным и комплексным составом лантаноидов. Во флюоритах грейзенового Южно-Калгутинского месторождения проявлен М- тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Флюориты эпитегрмального типа имеют селективный и комплексный состав лантаноидов, а флюориты Корчугановского месторождения – близки к полному. Во флюоритах Корчугановского месторождения проявлен М- тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

**Ключевые слова:** геохимия флюорита, типы флюоритового оруденения, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ

## TO GEOCHEMISTRY OF FLUORITE OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

*Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail. ru*

A concentrations of chemical elements in fluorites different geology-commercial types ore mineralization: stratiform, epithermal, greisens lead in paper. Fluorites of stratiform type localized in field selective composition of lanthanoids. W- type tetrad effect fractionation REE show in them. Fluorites of greisens deposits characterized selective and composition of lanthanoids. M-type tetrad effect fractionation REE display in fluorites of South-Kalgutinskoe greisens deposit. Fluorites of epithermal type has selective and composition of lanthanoids, but fluorite of Korchuganovskoe deposit near to complete composition. M- type tetrad effect fractionation REE show in fluorites of Korchuganovskoe deposit.

**Keywords:** geochemistry of fluorite, types of fluorite ore mineralization, tetrad effect fractionation REE

Плавииковый шпат (флюорит) – экономически и стратегически важное полезное ископаемое. В США флюорит отнесен к стратегическому виду сырья. В виде концентратов и продуктов их переработки он широко используется в современных отраслях промышленности, главным образом, металлургической, химической, оборонной. Он применяется в медицине, оптике, в машиностроении, атомной энергетике, в сварочном, стекольном, эмалевом и других производствах.

Актуальность постановки проблемы изучения геохимии флюорита имеет отношение к геохимической типизации флюоритового оруденения, прогнозу и поискам месторождений плавиикового шпата в Горном Алтае. В настоящее время многочисленные отрасли Алтая и соседних регионов испытывают потребность в плавииком шпате и в обеспечении запасов этого важного сырья. В первую очередь, это относится к потребностям металлургических комбинатов Кузбасса, где флюорит используется в качестве флюса. Цель исследования заключается в исследовании геохимии флюорита различных геолого-промышленных типов, что позволит выработать некоторые отличительные признаки плавиикового шпата разного генезиса и выработать геохимические критерии и отличительные

признаки различных типов оруденения флюорита Горного Алтая.

**Результаты исследований.** В Горном Алтае флюорит встречается в 215 месторождениях и проявлениях различных типов полезных ископаемых. Основное значение в регионе в настоящее время он имеет в жильных эпитегрмальных месторождениях кварц-флюоритового, карбонат-кварц-флюоритового, сульфидно-кварц-флюоритового геолого-промышленных типов, детально изученных в пределах Корчугано-Каянчинского рудного узла (ККРЗ) [2-6], Кызыл-Арт и другие) геолого-промышленных и формационно-генетических типах. Впервые в Горном Алтае выявлен стратиформный тип флюоритового оруденения, описанный на проявлениях Авангард и Новая Деревня [1, 2, 3]. Известно, что масштабы стратиформного флюоритового оруденения на порядок и более превышают жильный эпитегрмальный тип [1, 2, 5]. В Юго-Восточной части Горного Алтая в последнее время выявлено также стратиформное оруденение плавиикового шпата на проявлениях Янтерек, Западно-Коксаирском, Верхне-Арыджанском.

Наблюдается устойчивая ассоциация флюорита в регионе с проявлениями рту-

ти, редких металлов, эпитермального полиметаллического оруденения мезозойского возраста. Для всего региона установлен молодой раннемезозойский возраст флю-

оритовой минерализации [2-4]. Базисные данные по концентрациям микроэлементов из различных типов оруденения флюорита Горного Алтая приведены в таблице.

Содержания некоторых элементов (г/т) во флюоритах различных типов оруденения Горного Алтая

| Элементы и отношения | Стратиформные проявления |       |       | Грейзеновые месторождения |       |       | Эпитермальные жильные месторождения и проявления |       |       |       |
|----------------------|--------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
|                      | 1                        | 2     | 3     | 4                         | 5     | 6     | 7  | 8     | 9     | 10    |
| Be                   | 0,19                     | 0,18  | 0,20  | 7,24                      | 7,1   | 6,8   | 0,16   | 0,17  | 0,12  | 0,15  |
| Ti                   | 130,4                    | 125,0 | 60,2  | 30,8                      | 25,7  | 20,3  | 25,1   | 27,1  | 14,0  | 15,2  |
| V                    | 8,3                      | 7,5   | 6,7   | 5,0                       | 4,5   | 4,3   | 3,5  | 4,0   | 3,9   | 4,1   |
| Cr                   | 12,5                     | 12,0  | 11,4  | 15,1                      | 14,3  | 15,2  | 13,8   | 14,5  | 14,1  | 14,2  |
| Mn                   | 18,5                     | 19,4  | 22,3  | 96,7                      | 97,2  | 85,4  | 10,3   | 11,3  | 5,4   | 6,7   |
| Co                   | 1,58                     | 1,6   | 1,4   | 0,36                      | 0,40  | 0,32  | 0,90   | 0,92  | 1,01  | 1,2   |
| Ni                   | 12,3                     | 12,2  | 12,1  | 12,4                      | 12,3  | 11,8  | 11,5   | 12,0  | 14,5  | 12,7  |
| Cu                   | 7,4                      | 7,1   | 6,8   | 56,0                      | 55,2  | 47,4  | 7,3  | 6,0   | 13,0  | 6,5   |
| Zn                   | 200                      | 150   | 65    | 49                        | 35,2  | 32,7  | 55,2   | 33    | 61    | 45    |
| Ga                   | 0,65                     | 0,70  | 0,80  | 62,4                      | 55,8  | 45,2  | 0,70   | 0,56  | 0,64  | 0,60  |
| Rb                   | 7,5                      | 7,2   | 8,3   | 1214                      | 1180  | 1195  | 123  | 124   | 15,1  | 85,0  |
| Sr                   | 61,8                     | 62,3  | 68,4  | 8,1                       | 7,5   | 7,7   | 65,0   | 62,9  | 3,0   | 60,0  |
| Y                    | 11,9                     | 12,0  | 12,2  | 0,69                      | 0,70  | 0,72  | 8,2  | 7,6   | 39,9  | 8,0   |
| Zr                   | 3,6                      | 3,7   | 3,8   | 4,4                       | 4,5   | 4,2   | 3,0  | 3,1   | 2,8   | 3,0   |
| Nb                   | 0,46                     | 0,48  | 0,50  | 1,21                      | 1,23  | 1,18  | 0,65   | 0,6   | 0,51  | 0,55  |
| Mo                   | 1,7                      | 1,75  | 1,8   | 1,3                       | 1,2   | 1,05  | 0,9  | 1,0   | 0,8   | 0,7   |
| Cs                   | 0,14                     | 0,13  | 0,13  | 2,08                      | 2,10  | 2,11  | 0,55   | 0,91  | 0,18  | 0,8   |
| La                   | 1,66                     | 1,70  | 1,80  | 0,69                      | 0,65  | 0,64  | 2,52   | 2,41  | 0,84  | 2,0   |
| Ce                   | 2,9                      | 3,0   | 3,1   | 1,22                      | 1,30  | 1,25  | 3,51   | 3,28  | 1,57  | 3,2   |
| Pr                   | 0,539                    | 0,55  | 0,54  | 0,121                     | 0,13  | 0,14  | 0,33   | 0,356 | 0,25  | 0,36  |
| Nd                   | 2,83                     | 2,90  | 2,92  | 0,43                      | 0,45  | 0,41  | 1,30   | 1,31  | 1,33  | 1,32  |
| Sm                   | 0,61                     | 0,63  | 0,65  | 0,11                      | 0,12  | 0,14  | 0,35   | 0,32  | 0,34  | 0,33  |
| Eu                   | 0,2                      | 0,21  | 0,22  | 0,02                      | 0,03  | 0,04  | 0,19   | 0,21  | 0,03  | 0,20  |
| Gd                   | 0,86                     | 0,88  | 0,90  | 0,07                      | 0,08  | 0,09  | 0,37   | 0,36  | 0,75  | 0,40  |
| Tb                   | 0,13                     | 0,13  | 0,14  | 0,01                      | 0,02  | 0,03  | 0,08   | 0,06  | 0,12  | 0,08  |
| Dy                   | 0,85                     | 0,84  | 0,84  | 0,102                     | 0,11  | 0,12  | 0,39   | 0,36  | 0,84  | 0,40  |
| Ho                   | 0,2                      | 0,21  | 0,19  | 0,021                     | 0,03  | 0,04  | 0,08   | 0,076 | 0,2   | 0,1   |
| Er                   | 0,54                     | 0,53  | 0,55  | 0,069                     | 0,07  | 0,065 | 0,20   | 0,184 | 0,435 | 0,20  |
| Tm                   | 0,064                    | 0,068 | 0,07  | 0,007                     | 0,008 | 0,009 | 0,021  | 0,019 | 0,04  | 0,02  |
| Yb                   | 0,279                    | 0,28  | 0,28  | 0,066                     | 0,07  | 0,08  | 0,17   | 0,167 | 0,18  | 0,20  |
| Lu                   | 0,035                    | 0,04  | 0,04  | 0,008                     | 0,009 | 0,009 | 0,015  | 0,013 | 0,017 | 0,02  |
| Hf                   | 0,084                    | 0,08  | 0,09  | 0,2                       | 0,3   | 0,25  | 0,061  | 0,057 | 0,06  | 0,055 |
| Ta                   | 0,042                    | 0,04  | 0,05  | 1,22                      | 1,3   | 1,3   | 0,11   | 0,103 | 0,153 | 0,12  |
| W                    | 0,48                     | 0,41  | 0,42  | 4,65                      | 4,8   | 4,6   | 0,19   | 0,22  | 0,18  | 0,20  |
| Pb                   | 14,7                     | 15,0  | 15,1  | 13,3                      | 14,1  | 13,9  | 20,0   | 18,5  | 4,3   | 15,4  |
| Th                   | 0,3                      | 0,32  | 0,35  | 0,21                      | 0,2   | 0,22  | 0,13   | 0,12  | 0,06  | 0,11  |
| U                    | 0,45                     | 0,42  | 0,41  | 0,1                       | 0,12  | 0,12  | 0,40   | 0,52  | 0,046 | 0,40  |
| ΣPЗЭ                 | 11,7                     | 11,97 | 12,24 | 2,94                      | 3,0   | 3,06  | 9,53   | 9,12  | 6,94  | 8,83  |
| La/Sm <sub>N</sub>   | 1,67                     | 1,66  | 1,69  | 3,86                      | 3,39  | 2,78  | 4,41   | 4,61  | 1,52  | 3,68  |
| La/Yb <sub>N</sub>   | 3,93                     | 4,0   | 4,22  | 6,88                      | 6,18  | 5,26  | 9,76   | 9,56  | 3,07  | 6,56  |
| Y/Ho                 | 59,5                     | 57,1  | 64,2  | 32,86                     | 23,3  | 18,0  | 102,5  | 100,0 | 199,5 | 80,0  |
| Tb/La                | 0,078                    | 0,076 | 0,50  | 0,014                     | 0,031 | 0,047 | 0,032  | 0,025 | 0,14  | 0,04  |
| La/Lu                | 47,4                     | 42,5  | 45,0  | 86,2                      | 72,2  | 71,1  | 168,0  | 185,4 | 49,4  | 100,0 |
| Sr/Y                 | 5,2                      | 5,19  | 5,6   | 11,7                      | 10,7  | 10,69 | 7,93   | 8,28  | 0,075 | 7,5   |
| U/Th                 | 1,5                      | 1,31  | 1,17  | 0,48                      | 0,6   | 0,54  | 3,1  | 4,33  | 0,77  | 3,64  |
| Ta/Nb                | 0,09                     | 0,083 | 0,10  | 1,0                       | 1,10  | 1,10  | 0,17   | 0,17  | 0,30  | 0,22  |
| Rb/Sr                | 0,12                     | 0,11  | 0,12  | 149,9                     | 15,7  | 155,2 | 1,89   | 1,97  | 5,0   | 1,42  |
| La/Eu <sub>N</sub>   | 1,90                     | 1,86  | 1,03  | 7,94                      | 5,12  | 3,64  | 3,04   | 2,64  | 6,5   | 2,27  |
| Zr/Hf                | 42,8                     | 46,3  | 42,2  | 22,0                      | 15,0  | 16,8  | 49,2   | 53,4  | 46,7  | 54,5  |
| Eu/Eu*               | 0,27                     | 0,28  | 0,29  | 0,22                      | 0,30  | 0,36  | 0,53   | 0,62  | 0,056 | 0,56  |
| TE <sub>1,3</sub>    | 0,12                     | -     | -     | 1,29                      | -     | -     | -  | 1,49  | -     | -     |

Примечание. Месторождения и проявления флюорита Горного Алтая: 1 – Янтерекское, 2 – Верхне-Арыд-жанское, 3 – Авангард, 4 – Калгутинское, 5 – Южно-Калгутинское, 6 – Осокинское, 7 – Кызыл-Чинское, 8 – Каяское, 9 – Корчугановское, 10 – Каянчинское. Анализы выполнены методом ICP-ms в лаборатории ИМ-ГРЭ (г. Москва). Нормализация некоторых РЗЭ проведена относительно концентраций в хондрите по [11]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер [12].

Стратиформные проявления локализуются в древних металлотектах венд-кембрийского уровня (сиинская, эсконгинская свиты, баратальская серия и другие). Флюорит стратиформного типа характеризуется фиолетовым цветом, варьирующим от светлых до густо-фиолетовых оттенков. Флюорит этого типа оруденения отличается наиболее высокими содержаниями титана, ванадия, кобальта, цинка, молибдена, самария, неодима, европия, гадолиния, диспрозия, эрбия, туллия, иттербия, гафния, тория, а также отношениями урана к торию, тербия к лантану и низкими концентрациями хрома, рубидия, ниобия, цезия, тантала, отношениями лантана к лютецию (таблица). Он отличается самыми высокими суммами РЗЭ, по сравнению с плавиковым шпатом других типов оруденения. Нормированные отношения лантана к иттербию указывают на фракционированный тип распределения лёгких лантаноидов относительно тяжёлых. Фракционирование лёгких относительно средних лантаноидов значительно ниже (таблица). На треугольной диаграмме по [7, 8] (рисунок) все анализы флюорита стратиформного типа локализуются в области селективного состава лантаноидов.

В спектрах распределения РЗЭ наблюдается общий наклон кривых в сторону снижения тяжёлых лантаноидов. На кривых распределения наблюдаются слабые отрицательные аномалии европия и диспрозия и заметная негативная аномалия лютеция. В целом отмечается вогнутый тип распределения лантаноидов, характерный для W- типа тетрадного эффекта распределения РЗЭ. Количественная оценка величины тетрадного эффекта ( $TE_{1,3}$ ) по [12] для флюорита проявления Янтерека составила 0,12 (значимые значения для W- тетрадного эффекта должны быть менее 0,9). Тетрадный эффект фракционирования РЗЭ сопровождается отличиями от хондритовых отношений иттербия к гольмию (для хондрита оно составляет 29, а для флюорита Янтерека 59,5), лантана к лютецию (для хондрита – 0,975, а для плавикового шпата Янтерека – 47,4), циркония к гафнию (для хондрита 36, а для флюорита Янтерека – 42,8). Отношения  $Eu/Eu^*$  для флюорита Янтерека составляет 0,27, а для хондрита 0,32, указывая на некоторую деплетированность на европий сравнительно с хондритовыми значениями.

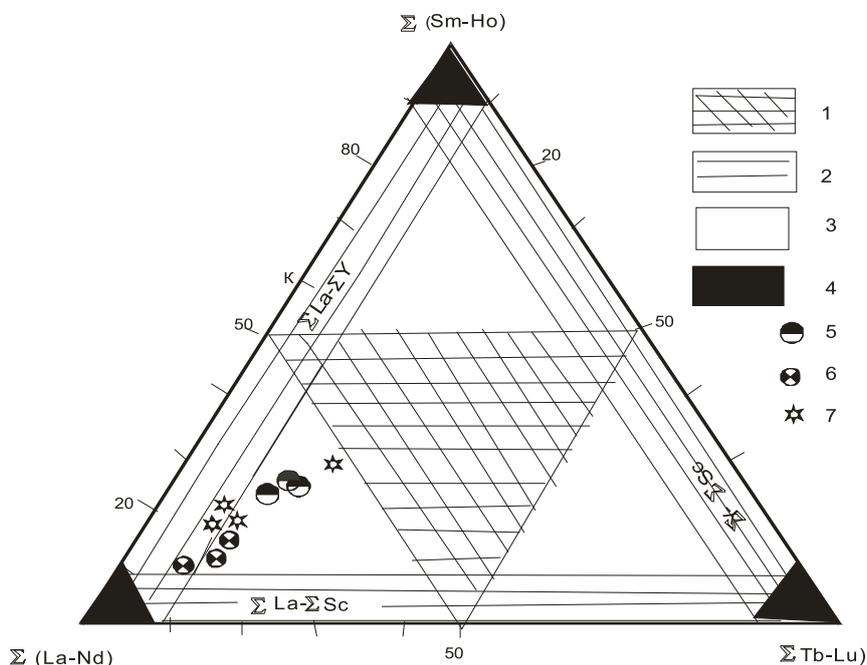


Диаграмма  $\Sigma (La-Nd) - \Sigma (Sm-Ho) - \Sigma (Tb-Lu)$  составов РЗЭ во флюоритах различных типов месторождений и проявлений Горного Алтая.

Составы лантаноидов по Д.А. Минееву [7, 8]:

1 – полные, 2 – комплексные, 3 – селективные, 4 – редкоселективные.

Типы месторождений и проявлений флюорита Горного Алтая:

5 – стратиформные, 6 – грейзеновые, 7 – жильные эпитепральные

Грейзеновые молибден-вольфрамовые месторождения в меньшей или большей степени содержат флюорит. Основное значение в рудах этого типа имеют вольфрам, молибден, в меньшей мере бериллий, висмут. Наиболее высокие концентрации плавикового шпата, имеющего промышленные содержания, фиксируются в рудах Южно-Калгутинского месторождения [10], парагенетически связанного с гранитоидами и дайками чиндагуйского и верхне-калгутинского комплексов. Становление грейзенов и флюоритового минерализации Осокинского месторождения парагенетически связано с лейкогранитовым одноименным штоком в составе Белокурухинского плутона. Флюорит в этом типе оруденения имеет розовато-фиолетовый, светло-фиолетовый, реже зеленоватый цвет. В спектре элементов-примесей для плавикового шпата этого типа оруденения характерны наиболее высокие концентрации бериллия, марганца, меди, галлия, рубидия, циркония, ниобия, цезия, гафния, тантала, вольфрама, отношения стронция к иттрию, тантала к ниобию, рубидия к стронцию. В то же время в грейзеновом флюорите самые низкие концентрации суммы РЗЭ (таблица). В нём пониженные концентрации кобальта, стронция, иттрия, лантана, самария, европия, гадолиния, тербия, диспрозия, гольмия, эрбия, туллия, иттербия, лютеция и отношения урана к торию и циркония к гафнию. Фракционирование в части тяжёлых и средних лантаноидов проявлено в большей степени, чем в стратиформном флюорите. Это подтверждается не только отношениями лёгких лантаноидов к тяжёлым и средним, но и более крутым правосторонним наклоном кривой спектра РЗЭ. На треугольной диаграмме (рисунок) флюорит Южно-Калгутинского месторождения попадает в область комплексных лантаноидов, а Калгутинского и Осокинского – в поле селективного состава РЗЭ. Для Калгутинского флюорита выявляется тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, равный 1,29 (таблица).

Жильные эпитеpmальные месторождения и проявления флюорита весьма разнообразны. В этой группе различаются: 1 – существенно сульфидные свинцово-цинковые (месторождение Кызыл-Чин), в которых главенствующую роль играют руды сфалерита и галенита, а флюорит имеет подчинённое значение; 2 – малосульфидные (месторождение Каянчинское и проявления Каясс, Корчугановское, Сильковское и другие), в которых доминирующее значение

имеет флюорит, а содержания сульфидов в рудах не превышают 1-3%. В микроэлементном составе флюорита указанных групп отличия не существенны. В сульфидном Кызыл-Чинском месторождении во флюорите несколько больше сумма РЗЭ и выше нормированные отношения лантана к иттербию и меньшие концентрации сидерофильных элементов: ванадия, кобальта, никеля, хрома, чем в малосульфидных объектах. В отличие от флюоритов стратиформных и грейзеновых месторождений и проявлений в плавиковом шпате эпитеpmального типа наблюдаются меньшие концентрации ванадия, марганца, молибдена, вольфрама, тория, но большие отношения иттрия к гольмию и урана к торию. Следует указать, что флюорит Корчугановского проявления представлен оптически прозрачным плавиковым шпатом октаэдрического габитуса с размерами кристаллов до 5-10 см. Этот флюорит имеет контрастные отличия по химизму от всех остальных минеральных индивидов эпитеpmального типа, имеющих фиолетовую окраску. В нём выше концентрации меди, цинка, иттрия, гадолиния, тербия, диспрозия, гольмия, эрбия, таллия, отношения иттрия к гольмию, тантала к ниобию, рубидия к стронцию, лантана к европию. Для оптически чистого флюорита свойственна небольшая сумма РЗЭ. Но для него же характерны и заметно низкие концентрации бериллия, марганца, рубидия, стронция, циркония, ниобия, цезия, лантана, церия, празеодима, европия, свинца, тория, а также отношения тория к самарию и лантана к иттербию, указывающих на слабое фракционирование тяжёлых и средних РЗЭ. В Корчугановском флюорите низкие отношения лантана к лютецию, стронция к иттрию, урана к торию, циркония к гафнию (табл.1). На треугольной диаграмме (рис. 1) фигуративные точки составов РЗЭ флюорита попадают в 2 поля: комплексного и селективного составов. При этом флюорит Корчугановского проявления близок по составу к полному. Нормированный спектр РЗЭ флюоритов этого типа плавно снижается в сторону тяжёлых РЗЭ и с заметной негативной аномалией по европию и положительной по гольмию для Корчугановского оптического флюорита. Во всех остальных случаях наблюдается слабая положительная аномалия по европию.

Для Каясского флюорита выявляется тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа ( $TE_{1,3}$ ), составляющий 1,49. По многим отношениям элементов флюорит Каяса

резко различается от таковых в хондрите: Y/Ho, Zr/Hf, Sr/Y, La/Eu<sub>N</sub> и другим, что указывает на значительную трансформацию соотношений элементов в эпитермальных процессах минералообразования.

**Обсуждение результатов и выводы.** Фактический материал по геохимии флюорита свидетельствует о резком различии спектров РЗЭ и других элементов в плавленом шпате различных типов оруденения флюорита Горного Алтая, обусловленные дифференцированными условиями минералообразования.

По геологическим условиям образования флюоритового оруденения намечаются 2 модели генерации: 1 – грейзеновый тип, парагенетически связанный с дериватами гранитоидной магмы и 2 – стратиформный и жильный эпитермальный типы флюоритовой минерализации, парагенетически связанные с долеритами мантийной щелочно-базальтовой магмы. Наибольшие перспективы Горного Алтая связываются со стратиформным типом оруденения, типохимические особенности плавленого шпата которого достаточно отчетливо отличаются по целому комплексу признаков от других типов.

Типохимизм флюорита стратиформного типа, в том числе, и Янтерекского проявления достаточно показателен повышенными концентрациями европия, самария, суммы РЗЭ и других элементов (таблица). Содержания  $C_{орг}$  в рудовмещающих тонкослоистых известняках рудовмещающей толщи Янтерека колеблются от 0,5 до 2,4%. Повышенные концентрации органического вещества сапропелевого типа в известняках, вероятно, и определяли специфические физико-химические условия формирования флюоритовой минерализации стратиформного типа, указывающие на высоко восстановленный режим и, как следствие, пониженный кислородный потенциал. Известно, что миграционная способность лантаноидов зависит от температуры, катионного состава раствора и окислительно-восстановительного потенциала среды минералообразования [8, 9]. Повышенный восстановительный потенциал среды минералообразования в стратиформных объектах, по сравнению с грейзеновыми и эпитермальными жильными, обеспечивал разделение лантаноидов и особенно европия по схеме трансформации европия ( $Eu^{3+} \rightarrow Eu^{2+}$ ) в более восстановленную форму. Наличие естественного геохимического барьера в виде восстановительной среды под экраном и повышенная

способность европия к восстановлению обеспечивали режим разделения РЗЭ и других элементов, наиболее показательным из которых является отношение La/Eu<sub>N</sub>, являющееся минимальным в стратиформных объектах (таблица). Кроме того, для флюорита Янтерекского проявления устанавливается, в отличие от других типов оруденения флюорита Горного Алтая, W – тип тетрадного эффекта фракционирования, характерного для морских, грунтовых вод, известняков и некоторых типов седиментогенеза [13, 14]. Следовательно, формирование стратиформного оруденения флюорита произошло с участием РЗЭ карбонатной матрицы известняков с повышенным содержанием углерода в процессе гидротермально-метасоматического минералообразования.

Таким образом, во флюоритах различных геолого-промышленных типов оруденения проявлены контрастные геохимические отличия, позволяющие типизировать флюориты по геохимическим признакам.

#### Список литературы

1. Гусев А.И. Количественная и геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов плавленого шпата Алтайского края. – М., 2002. – 25 с.
2. Гусев А.И. Геолого-промышленные типы и прогнозная оценка флюоритового оруденения Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии, 2012, № 1. – С. 13-17.
3. Данилов В.В., Гусев А.И. Флюоритовое оруденение северной части Горного Алтая // Вестник Томского государственного университета, 2003. – № 3. – С. 231-233.
4. Коплус А.В., Пузанов Л.С. Закономерности размещения и условия формирования флюоритового оруденения Горного Алтая // Изв. ВУЗов. Сер. геол. и разведка, 1976. – № 8. – С. 77-85.
5. Коплус А.В., Алиева О.З. Среднемасштабное прогнозирование флюоритности на северо-востоке Горного Алтая // Руды и металлы, 1997. – №5. – С.19-27.
6. Коплус А.В., Алиева О.З. Флюоритносные рудные комплексы Алтае-Саянской складчатой области // Руды и металлы, 1998. – №5. – С. 17-25.
7. Минеев Д.А. Исследование свойств и возможностей тройной диаграммы  $\Sigma Ce - \Sigma Y_1 - \Sigma Y_2$  // Геохимия, 1965. – № 12. – С. 1204-1211.
8. Минеев Д.А. Лантаноиды в минералах. – М.: Недра, 1969. – 180 с.
9. Редкие и рассеянные элементы, химия и технология. – М., 1996. – 320 с.
10. Селин П.Ф. Геология Южно-Калгутинского флюорит-вольфрамового месторождения (Горный Алтай) // Минерально-сырьевая база Республики Алтай: состояние и перспективы развития (материалы регионального совещания). – Горно-Алтайск, 1998. – С. 44-47.
11. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. – V. 53. – Pp. 197-214.
12. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta, 1999. – V. 63. – №3/4. – Pp. 489-508.
13. Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effect observed in marine environment // Geochim J., 1979. – V. 13. – Pp. 19-22.
14. Takahashi Y., Yoshida H., Sato N., Hama K., Yusa Y., Shimizu H. W- and M-type tetrad effects in REE patterns for water-rock systems in the Tono uranium deposit. Central Japan // Chem. Geol., 2002. V. 184. – Pp. 311-335.