

Геология и геохимия месторождений полезных ископаемых

УДК 552.321.1:550

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ УРАНА ПРИ ЭВОЛЮЦИИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ГРАНИТОИДНЫХ СИСТЕМ

С.В. Ефремов¹

Институт геохимии СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

На основании геохимических данных показана возможность концентрирования урана в апикальных частях купольных выступов редкометалльных гранитоидных массивов. Вероятнее всего, концентрирование происходит при окислении урана до шестивалентного состояния и его переносе флюидами, обогащенными фтором. Несмотря на то что подобное концентрирование U редко приводит к образованию промышленно значимых объектов, этот результат имеет практическое значение, так как подобные зоны концентрирования могут быть источниками вещества урановых месторождений других генетических типов.

Библиогр. 8 назв. Илл. 3.

Ключевые слова: редкометалльные гранитоиды; эманационная дифференциация; накопление урана.

GEOCHEMICAL EVIDENCES OF URANIUM CONCENTRATION UNDER RARE-METAL GRANITOID SYSTEM EVOLUTION

S.V. Efremov

Institute of Geochemistry SB RAS, 1-a Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russia; Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

In the article, on the basis of geochemical data the article shows the possibility of uranium concentration in the apical parts of rare-metal granitoid massif dome projections. Concentration is most likely to occur under uranium oxidation to hexavalent state and its transfer by fluorine-enriched fluids. Despite the fact that such concentration of U rarely results in the formation of industrial facilities, it is of practical importance. Similar concentration zones can be the sources of the substance in uranium deposits of other genetic types.

8 sources, 3 figures

Key words: rare metal granitoids; emanation differentiation; uranium accumulation.

Введение. Уран – важный элемент для развития современной цивилизации. Он широко используется в энергетике, промышленности, для создания оружия, современных аналитических приборов, препаратов к ним и многого другого. Средние содержания урана в континентальной коре не достигают 3 г/т, поэтому требуется его значительное концентрирование для образования месторождений. Следовательно, для успешных

поисков месторождений урана необходимо понимать, как ведет себя этот элемент в различных природных системах. Первоочередной задачей в этом плане является выявление геохимических критериев концентрирования урана при эволюции редкометалльных гранитоидных систем.

Известно, что с редкометалльными гранитоидами, потенциально рудоносными в отношении олова, довольно

¹Ефремов Сергей Васильевич, старший научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук, зав. кафедрой, а/я 4019, тел.: (3952) 429935, e-mail: esv@igc.irk.ru

Efremov Sergey, Senior Researcher, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Head of Department, tel.: (3952) 429935, e-mail: esv@igc.irk.ru

часто ассоциируют месторождения урана. Такие объекты известны в Рудных Горах (Чешский массив), в Бразилии (Амазонский кратон), на северо-востоке России (Магаданская область, Чукотка). Однако источник урана, а также причины его концентрирования в этих объектах до сих пор практически не изучены.

Фактический материал и обсуждение результатов. Объектами исследований являются оловоносные граниты Центральной Чукотки. Геодинамическая позиция, геологическое строение, минеральный состав и геохимические особенности этих пород довольно подробно описаны ранее [2, 4, 5], поэтому основное внимание в работе уделено выявлению закономерностей в поведении рассеянных элементов при эволюции этих гранитоидов.

Известно, что оловорудные объекты обычно приурочены к апикальным купольным выступам в кровле редкометалльных гранитоидных плутонов. Их появление обычно связывается с процессами эманационного концентрирования вещества, протекающего на магматическом этапе эволюции гранитоидной системы [6]. Основываясь на этом, вполне логично было бы предполагать, что концентрирование урана происходит аналогичным способом.

Для проверки этого предположения выбран массив Северный на восточном побережье Чаунской губы [3], сложенный редкометалльными гранитами и обладающий хорошо развитой купольной системой. В пределах массива выделяется несколько купольных выступов, один из которых, Центральный, имеет площадь более 50 км², остатки кровли в апикальной части и эрозионный врез более 400 м.

По всей площади купола было выполнено равномерное геохимическое опробование всех разновидностей гранитоидов, что позволило получить корректные результаты по величинам и пространственному распределению концентраций редких элементов в его пределах.

Согласно полученным ранее результатам, все гранитоиды в пределах купола относятся к литий-фтористой фации плюмазитовых редкометалльных гранитов [6]. Они аномально обогащены редкими щелочными (Rb до 1580, Li до 1200, Cs до 134 г/т), летучими (F до 1,1 масс %, В до 110 г/т) и рудными (Be до 240, Sn до 160, Nb до 70 г/т) элементами, обладают аномальными концентрациями Th и U, достигающими 89 и 35 г/т соответственно, высокими концентрациями Y (до 184 г/т), легких и тяжелых лантаноидов.

По геологическому положению в пределах купола выделены три группы гранитоидов. К первой группе отнесены *гранитоиды эндоконтактовой фации* (в пределах периферической части купола), характеризующие наименее эволюционированные составы. Другая группа гранитоидов обладает наиболее эволюционированными составами. Они слагают небольшие шшироподобные тела, являющиеся *внутрикамерными дифференциатами*. Третья группа гранитоидов слагает центральную часть купола, для их обозначения использован термин *купольная фация*.

Подобное выделение групп пород позволяет протестировать модель о закономерной эволюции состава гранитоидов при эманационной дифференциации в пределах купольного выступа, фиксируя смену геохимической характеристики от пород эндоконтактовой фации, через породы купольной фации, к внутрикамерным дифференциатам.

Поведение редких элементов при переходе от наименее к наиболее эволюционированным составам может быть проиллюстрировано с помощью спайдердиаграммы (рис. 1). На диаграмме даны средние составы гранитоидов эндоконтактовой фации и внутрикамерных дифференциатов, дополненные спектрами гранитоидов купольной фации. Диаграмма показывает, что трансформация одного спектра в другой может быть осуществлена в результате фракционирования U относительно

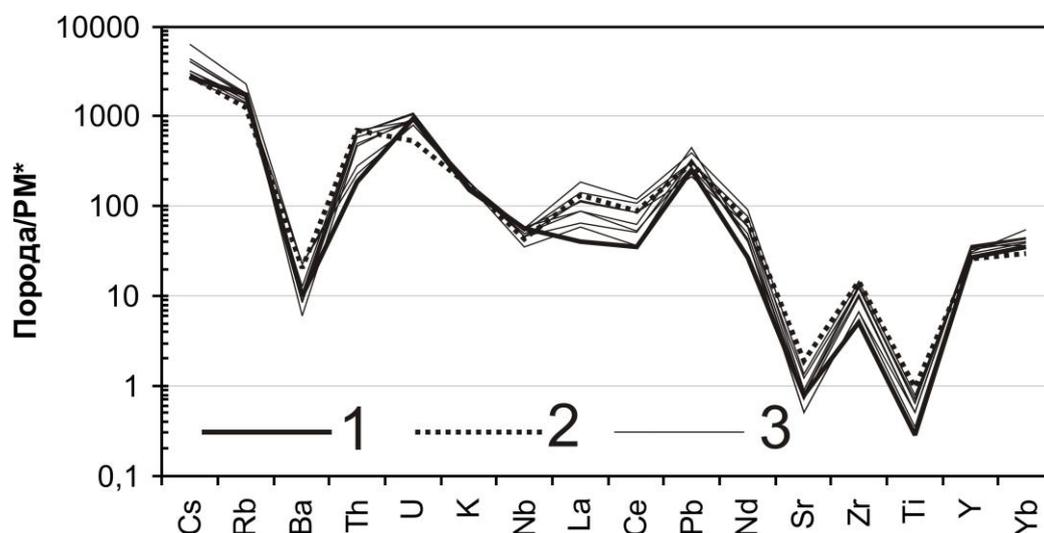


Рис. 1. Геохимические спектры гранитоидов купола Центральный Северного массива: 1 – внутрикамерные дифференциаты (среднее); 2 – эндоконтактовая фация (среднее); 3 – купольная фация; PM^* – примитивная мантия по [8]

Th, La и Ce относительно Nb и Pb, Rb относительно Cs. Этапы этой трансформации довольно четко иллюстрируются изменением конфигурации спектров гранитоидов купольной фации, «зажатыми» между наименее и наиболее эволюционированными составами. Диаграмма показывает, что выбор групп был выполнен корректно, а эволюция составов происходила под действием единого геологического процесса, ответственного за привнос или вынос элементов из системы. Генетическую природу этого процесса можно оценить на основании поведения элементов, концентрации которых наиболее сильно изменяются при переходе к более эволюционированным составам гранитоидов.

В качестве основы методологического подхода использован принцип постоянства коэффициентов распределения химических элементов и их отношений в закрытой магматической системе. Нарушение условий равновесия будет выражаться в изменении величины коэффициентов распределений элементов либо их отношений. Это позволяет зафиксировать нарушение условий равновесия на простых бинарных диаграммах, по осям координат которых отложены величины отношений элементов.

В качестве эманационной дифференциации обычно рассматривается флюидный подток вещества, обогащенного летучими и редкими элементами, на верхние уровни магматической камеры, что приводит к нарушению условия закрытости (равновесия) в магматической системе. Таким образом, зафиксировав нарушение равновесия в системе и повышение концентраций летучих компонентов в апикальной части купола, сложенного неизменными гранитоидами, мы можем уверенно предполагать, что за изменение концентраций редких элементов ответственна эманационная дифференциация.

Для тестирования гипотезы об эманационной дифференциации и определения причин, ответственных за концентрирование U и редких элементов в пределах купола Центральный, построена серия бинарных диаграмм (рис. 2 и 3). Диаграммы рис. 2 иллюстрируют фракционирование Th, U, Nb, La, Yb при становлении интрузии. В идеале точки составов гранитоидов на этих диаграммах должны образовывать компактное поле без образования каких-либо зависимостей. Однако этого не происходит и они образуют отчетливые тренды, что свидетельствует о нарушении условий закрытости системы (подтоке вещества из внешнего резервуара).

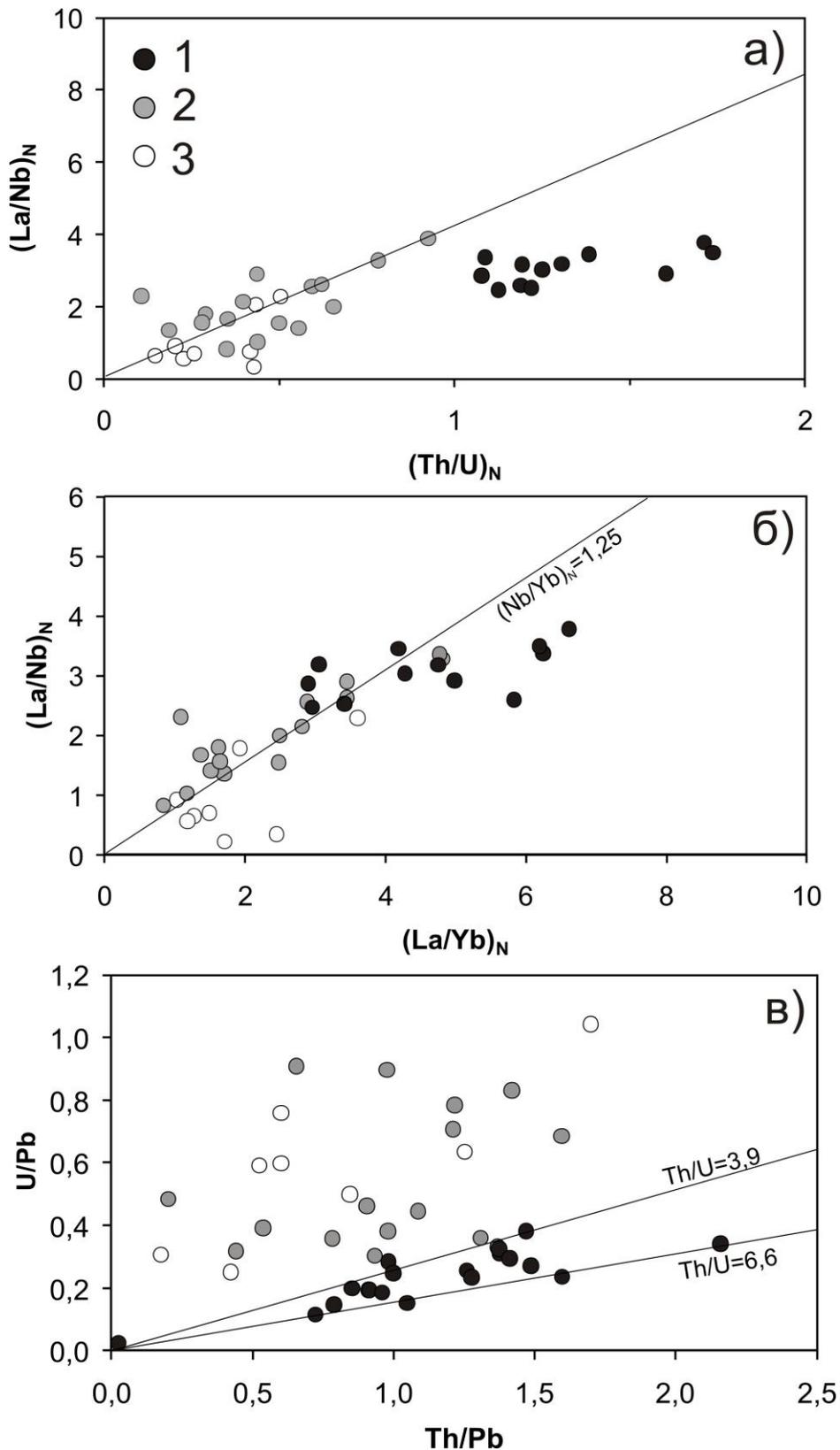


Рис. 2. Фракционирование рассеянных элементов в гранитоидах купола Центральный Северного массива:

1 – эндоконтактовая фация; 2 – купольная фация; 3 – внутрикамерные дифференциаты.

Диаграммы: а – $(Th/U)_N$ - $(La/Nb)_N$; б – $(La/Yb)_N$ - $(La/Nb)_N$; в – Th/U - Pb/U . Индекс N – нормирование выполнено по составу примитивной мантии [8]. Интервал величины Th/U отношений 3,9–6,6 соответствует колебаниям этого параметра в метаморфических породах Чукотки – потенциального источника гранитоидных магм.

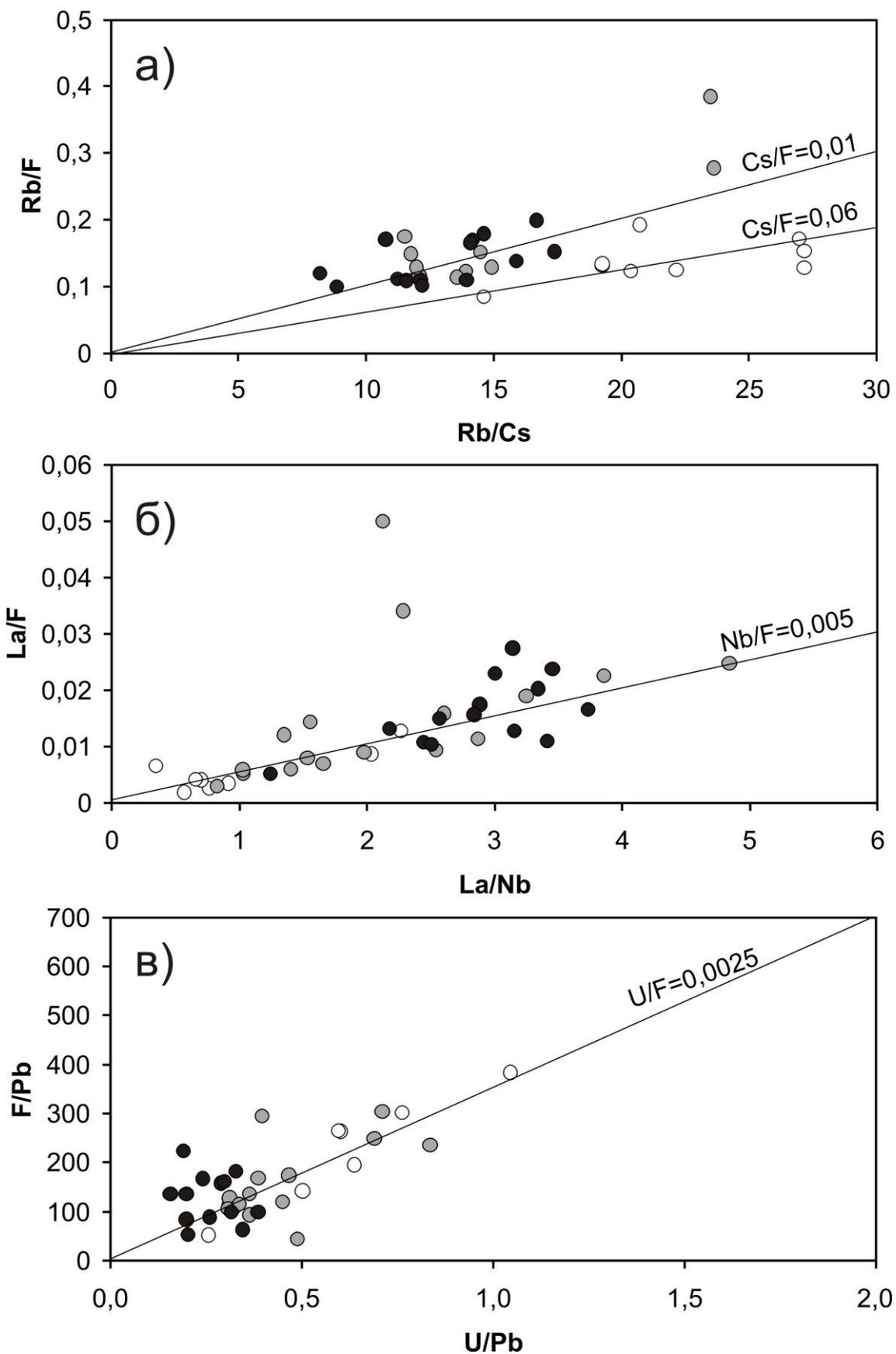


Рис. 3. Диаграммы: а – $Rb/Cs-Rb/F$, б – $La/Nb-La/F$, в – $U/Pb-F/Pb$, – иллюстрирующие зависимость величин концентраций щелочных и рудных элементов от концентрации фтора в гранитоидах купола Центральный Северного массива.

Условные обозначения аналогичны таковым на рис. 2.

На диаграмме $(Th/U)_N-(La/Nb)_N$ составы гранитоидов разделяются на две совокупности. К первой относятся породы купольной фации и внутрикамерные дифференциаты. Для них характерна положительная корреляция между рассматриваемыми параметрами, позволяющая предполагать, что они изменяются под воздействием единого генетического процесса, нарушившего равновесие в системе. Ко второй группе относятся породы эндоконтактной фации, образующие ареал точек составов параллельно оси абсцисс и позволяющие говорить об отсутствии генетической связи между изменением изучаемых параметров.

Наиболее интересным для этой диаграммы является то, что по оси абсцисс отложено отношение Th/U . Согласно мнению большинства исследователей, эти элементы не фракционируют друг относительно друга в магматическом процессе [6] и их вариации должны быть объяснены другими генетическими причинами. Наиболее вероятными являются гетерогенный источник вещества и изменение окислительного потенциала в системе, необходимое для перехода U в мобильную шестивалентную форму, как это наблюдается при процессах химического выветривания [7].

Вариации в гранитоидах эндоконтактной фации могут быть объяснены с позиций гипотезы о гетерогенном источнике вещества. Об этом свидетельствует их положение в поле вариаций составов метаморфических пород Чукотки – потенциального источника вещества гранитоидов региона (рис. 2, в).

Поведение рассматриваемых элементов в гранитоидах купольной фации и внутрикамерных дифференциатах не может быть объяснено с позиций этой модели (рис. 2, в). Вариации их составов наиболее вероятно связаны с изменением окислительно-восстановительного потенциала в системе, обусловленного высокими концентрациями самого сильного окислителя – F , подток кото-

рого в апикальные части купольных выступов может способствовать образованию мобильных соединений U , Nb и увеличению их миграционной способности.

Косвенно этот вывод иллюстрируется диаграммой $(La/Yb)_N-(La/Nb)_N$, где гранитоидам купольной фации и внутрикамерным дифференциатам свойственна положительная корреляция между рассматриваемыми параметрами, позволяющая говорить о единстве генетических процессов, влияющих на их распределение. Для них характерно синхронное поведение Nb и Yb ($Nb/Yb_N=1.25$), элементов, обладающих разными геохимическими свойствами и ведущих себя по-разному в процессах кристаллизационной дифференциации и метасоматических преобразований.

Синхронное поведение этих элементов проявляется при процессах эманационного концентрирования вещества. Накопление Nb может происходить в флюидных системах, обогащенных F и Cl . Однако накопление тяжелых редкоземельных элементов наблюдается только в системах, обогащенных F [1]. Все сказанное выше позволяет считать, что основным процессом, ответственным за эволюцию составов пород купольной фации и внутрикамерных дифференциатов, была эманационная дифференциация, вызванная перемещением обогащенной F флюидной фазы в апикальные части купольных выступов интрузии.

Роль эманационной дифференциации в обогащении пород купольной фации и внутрикамерных дифференциатов редкими щелочными, рудными и радиоактивными элементами может быть проиллюстрирована с помощью диаграмм, приведенных на рис. 3. Все они обладают отчетливой корреляцией с F , что свидетельствует об их совместном накоплении и связи повышенных концентраций с флюидными эманациями.

Заключение. Полученные результаты показывают, что эволюция обогащенных F редкометалльных гранитоид-

ных систем может приводить к аномальному концентрированию химических элементов, обладающих различными геохимическими свойствами, таких как тяжелые редкие земли, Nb, U. Наличие F в системе приводит к переходу U в мобильную форму и способствует его концентрированию в апикальных купольных выступах гранитоидных плутонов. Несмотря на то что подобное концентрирование U редко приводит к образованию промышленно значимых объектов, этот результат имеет практическое значение, так как подобные зоны концентрирования могут быть источниками вещества урановых месторождений других генетических типов. С этих позиций наличие гранитоидных массивов, сложенных редкометалльными литий-фтористыми гранитами, может рассматриваться как поисковый признак на нахождение урановых промышленных рудных объектов.

Библиографический список

1. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. Новосибирск: Изд-во Наука, 1976. 232 с.

2. Дудкин Д.В., Козлов В.Д., Ефремов С.В. Петролого-геохимические особенности и геодинамические условия формирования рудоносных гранитоидов Чукотки // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 7. С. 1202–1215.

3. Дудкин Д.В., Ефремов С.В. Литий-фтористые граниты Чукотки и их геохимические особенности // Геохимия. 1994. № 3. С. 393–403.

4. Козлов В.Д., Дудкин Д.В., Элиасс Ю.К. Геохимия и рудоносность гранитоидов Центральной Чукотки. М.: Наука, 1995. 194 с.

5. Милов А.П. Позднемезозойские гранитоидные формации Центральной Чукотки. М.: Наука, 1975. 128 с.

6. Mc Donough, Sun. S., The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.

7. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 280 с.

8. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1991. 585 с.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Иркутского государственного технического университета Л.А. Филиппова