

**МЕТАСОМАТИТЫ ЭЙСИТОВОЙ И БЕРЕЗИТ-ЛИСТВЕНИТОВОЙ ФОРМАЦИЙ
УФАЛЕЙСКОГО ГНЕЙСОВО-МИГМАТИТОВОГО КОМПЛЕКСА НА СРЕДНЕМ
УРАЛЕ**

**В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, В.В. Григорьев,
Ю.А. Поленов, А.Н. Савичев, Е.В. Рахов**

Общие сведения. Метасоматиты эйситовой формации – это околорудно измененные породы, выделенные, изученные и описанные на урановых («классические», низкотемпературные) [Омельяненко, 1978], редкометалльных, полиметаллических [Грязнов, 1990; Околорудные..., 1990], а также на золоторудных (кварцжильного и прожилково-вкрапленного типов (высокотемпературные, сформировавшиеся

при 450 °С) [Огородников, Сазонов, 1991; Сазонов, 1998] месторождениях. Эйситы золоторудных объектов довольно тесно ассоциируют с березитами-лиственитами и реже с гумбеитами [Сазонов, 1998].

Знакомство с публикациями по проблеме позволило сделать вывод о том, что эйситы распространены на золоторудных месторождениях значительно шире, но описаны под назва-

РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

нием альбитизированных и карбонатизированных пород (см., например, [Шер, 1972, 1974; Boyle, 1979; Кольцов, 1966 и др.]).

Березиты-листвениты – околорудные метасоматиты низко-, среднетемпературных месторождений ряда металлов (Au, Ag, As, W, Sb, Hg, Zn, Pb и др.). Если об эйситах геологическая общественность узнала в конце 70-х годов прошлого века, то березиты-листвениты уже 250 лет привлекают внимание исследователей (так как отличаются интереснейшими геолого-петрографическими и минералого-геохимическими чертами) и геологов-практиков (являются действенным поисковым признаком месторождений перечисленных выше металлов, а также аметиста и агата) [Сазонов, 1998]. Что касается «классических» эйситов, то типоморфной для них является урановая минерализация. В связи с высокотемпературными эйситами известны незначительные по масштабам золоторудные объекты (например, Кумакское на Южном Урале).

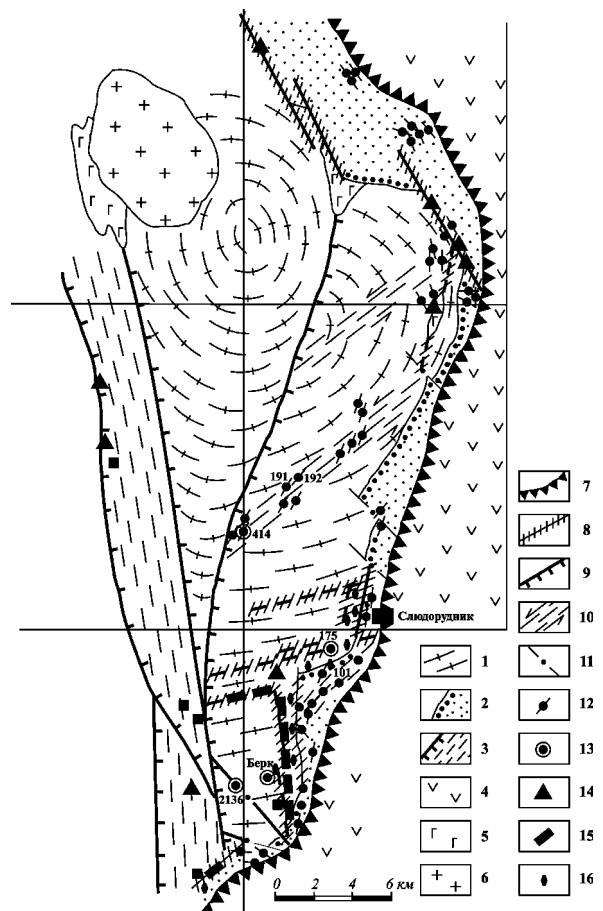
Метасоматиты эйситовой и березит-лиственитовой формаций распространены в пределах архейских щитов, областей разновозрастной (дорифейской, рифейской, палеозойской, мезозойской и кайнозойской) складчатости. Установлен отчетливый контроль этих метасоматитов разломами, имеющими рифтогенную и коллизивно-аккреционную природу [Сазонов, 1998].

В пределах Уфалейского гнейсово-мигматитового комплекса сначала в отвалах, затем в коренном залегании в карьерах, по жилам

гранулированного кварца № 101 и 175 (рис. 1) нами были встречены метасоматически измененные гнейсовидные амфиболиты, плагиогнейсы и плагиограниты, которые по составу типоморфных минералов во втором карьере (кварц, альбит и магнезиально-железистый карбонат), идентифицировались с эйситами, а в первом карьере (кварц, серицит мусковитового типа, доломит-анкерит) – с березитами. Причем названные карбонаты легко диагностируются по «корочке» буроватого цвета – результат окисления двухвалентного железа в трехвалентное. Отметим, что раньше подобные образования в пределах названного комплекса не отмечались [Кейльман, 1974; Мельников, 1988; Белковский, 2004 и др.; Савичев, 2005; и др.].

В связи с приведенными данными можно констатировать, что изучение метасоматитов эйситовой и березит-лиственитовой формаций в Уфалейском гнейсово-мигматитовом комплексе имеет теоретическое (выяснение места и времени проявления гидротермально-метасоматических процессов, обусловивших образование этих метасоматитов) и практическое (выяснение перспектив на оруденение – редкометальное, золотое и др.) значение.

Рис. 1. Схема геологического строения Уфалейского гнейсово-мигматитового комплекса с элементами минерагении. По [Поленов и др., 2005] с упрощениями. 1 – гнейсы и амфиболиты (R_2); 2 – сланцы, кварциты, blastsмилониты куртинской свиты (R_2); 3 – динамосланцы Таганайско-Указарской зоны смятия; 4 – вулканы Карабашского тектонического блока ($O_1 - D_2$); 5 – пироксениты, габбро, габбро-амфиболиты; 6 – коллизивные гранитоиды Нижнее-Уфалейского массива; 7 – Главный Уральский коллизивный шов; 8 – рифтогенные разрывы (R), вмещающие тела кварцитов, древних пироксенитов (включают тела титаномагнетитовых руд кусинского типа) и гранитоидов; 9 – взбросы, надвиги; 10 – сдвиговая зона трещиноватости, оперяющая Серебровский надвиг; 11 – сбросы; 12 – наиболее крупные кварцевые жилы и их номера; 13 – отрабатываемые в настоящее время кварцевые жилы и их номера; 14–16 – другие месторождения и проявления: 14 – магнетита (и гематита), 15 – кианита, 16 – метасоматического кварцита.



Уфалейский гнейсово-мигматитовый комплекс – это сложное гетерогенное образование, сформированное на древней континентальной коре за счет неоднократной активизации тектонических, метаморфических и магматических процессов – от рифея до времени проявления поздней (конец – 240-220 млн лет) коллизии [Кейльман, 1974] (рис. 1). Их характеристика здесь не приводится, так как она дана в статье В.Н. Огородникова и др. в настоящем сборнике. В ней, в частности, эйситы и березиты – предмет нашей информации – рассматриваются достаточно аргументировано связанными с раннеколлизийными плагиогранитами.

Характеристика продуктов процессов эйситизации и березитизации-лиственитизации. Эйситы отчетливо рассекаются нормальными калиевыми мусковитизированными гранитами (рис. 2, знак 5), возраст которых 245 млн лет, определен К-Аг-методом в ИГГ УрО РАН, аналитик А.И. Степанов. Эти метасоматиты, кроме других пород, «поражают» и плагиограниты (см. рис. 2, знаки 3, 4), возраст которых $316 \pm$ млн лет (по [Мельников, 1966], а по

уточненным данным [Шардакова и др., 2005] $316,9 \pm 2,5$ млн лет). Таким образом, сегодня имеются основания говорить, что уфалейские эйситы связаны генетически с коллизийными гранитоидами и что они не моложе нормальных позднеколлизийных гранитов, которыми рассекаются. По березитам (карьер по кварцевой жиле № 101) данных очень мало. Сейчас можно сказать только, что они развиты по существенно биотитовым гнейсам около секущих кварцевых и карбонат-кварцевых прожилков с турмалином. В предельно измененных разностях пород наблюдается серицитизация альбита.

Уфалейские эйситы – это кремовой или слабо розовой окраски метасоматиты, состоящие из кварца, альбита и карбоната (установлены три сосуществующие фазы, см ниже). Кроме этих минералов, в них отмечаются серицит ($2M_1$), хлорит (как правило синрудный, развивающийся совместно с пиритом). Так выглядят эйситы в свежих сколах. За несколько месяцев нахождения в контакте с атмосферой цвет их становится сначала желтовато-бурым, затем – бурым. Розовый альбит, видимо, обычно принимается за калишпат. Карбонат в эйситах представлен 3 фазами – кальцитом, доломит-анкеритом (максимальное содержание $FeCO_3$ – 18-20 %) и магнезит-сидеритом (содержание $FeCO_3$ колеблется от 4 до 95 %).

Во внутренней зоне колонки эйситизации плагиогнейсов и плагиогранитов альбит замещает серицит и, кроме того, карбонаты. В карьере по жиле № 101, где проявлена березитизация плагиогнейсов, наблюдается несколько иная картина. Здесь, во внутренней зоне метасоматической колонки, наоборот, альбит серицитизируется. Отметим, что сквозными ми-

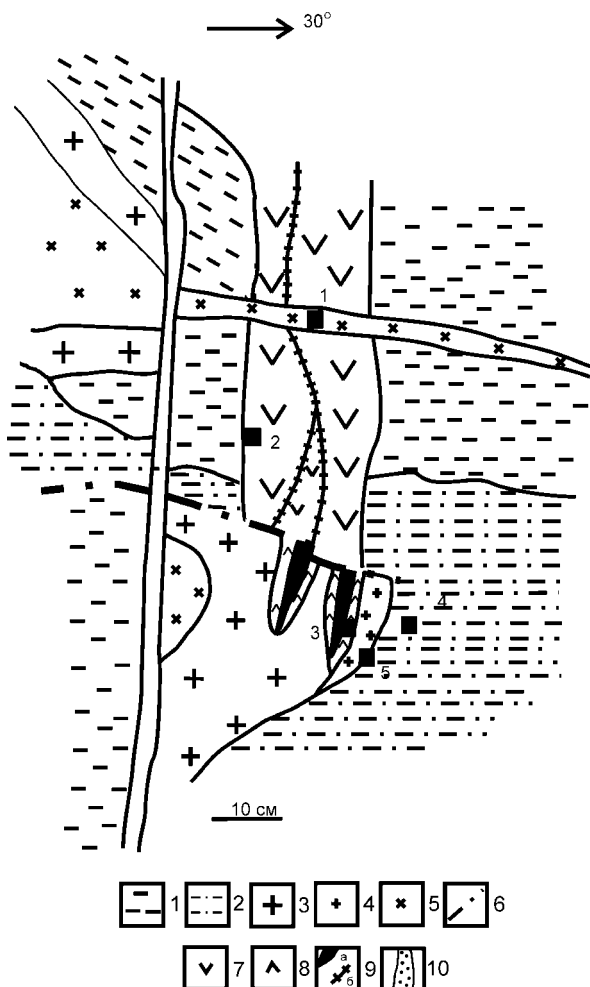
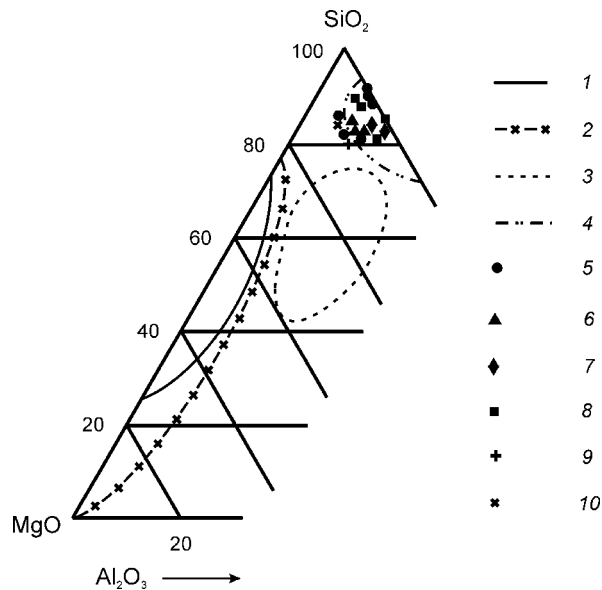


Рис. 2. Зарисовка фрагмента северного борта эксплуатационного карьера по жиле гранулированного кварца № 175 (Уфалейский район, Средний Урал).

1 – гнейсовидный амфиболит; 2 – эпидот-амфиболовый гнейс; 3 – крупнозернистый плагиогранит; 4 – то же, но мелкозернистый; 5 – мусковитизированный гранит; 6 – дизъюнктивное тектоническое нарушение; 7 – лиственитизированный гнейсовидный амфиболит; 8 – альбитизированный и березитизированный плагиогранит; 9 – кварцевые (а) и карбонатные с кварцем (б) прожилки; 10 – открытая трещина (образовалась при взрывных работах в период отработки жилы); залитые квадраты – места взятия образцов, цифры – их номера.

РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рис. 3. Диаграмма химического состава (в координатах SiO_2 – Al_2O_3 – MgO) метасоматитов эйситовой формации из эксплуатационного карьера по жиле гранулированного кварца № 175 (см. рис. 2). Основа диаграммы по [Сазонов, 1988]. 1-4 – поля составов лиственитов-березитов по серпентинитам (1), известнякам (2), магматитам основного и среднего составов (3), березитов по породам кислого состава (4); 5-6 – эйситы по магматитам среднего (5) и кислого (6) составов; 7-8 – кварцевые песчаники (7) и эйситы (8) по ним; 9-10 – эйситы по уфалейским гнейсовидным амфиболитам (9) и плагиогранитам (10).



нералами колонки эйситизации по всем указанным выше породам являются кварц, апатит и рутил. В эйситах по гнейсам установлены пирит и магнетит (< 1 об. %).

Содержание петрогенных компонентов и РЗЭ в плагиогранитах, гнейсовидных амфиболитах (эдуктах), а также их эйситизированных разновидностях (дедуктах) приведено в табл. 1. Анализ данных последней позволяет прийти к выводу, что химизм процесса эйситизации заключается в инертном поведении Al_2O_3 , выносе SiO_2 , Na_2O («сбрасывается излишек», возникший при доэйситовой альбитизации плагиогранитов, преобразование гнейсов происходит в условиях инертного поведения натрия в системе), привносе TiO_2 , Fe , CaO , MgO , P_2O_5 . Особенностью химизма является незначительный привнос калия, обусловивший образование в эйситах небольшого количества мусковита 2M_1 . Последний в этих метасоматитах распределен «пятнами». Причем в одних «пятнах» этот минерал отчетливо замещается альбитом, а в других – такое замещение не очевидно.

Исследование показало (рис. 3), что по содержанию главных инертных компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 и MgO) уфалейские эйситы близки к таковым других районов, а также к березитам по кислым породам.

Из рис. 4 следует, что уровни содержаний РЗЭ в

эйситах, березитах и их эдуктах отчетливо корреспондируются. Из этого мы делаем вывод, что концентрация РЗЭ в указанных метасоматитах определяется главным образом таковой в их исходных породах.

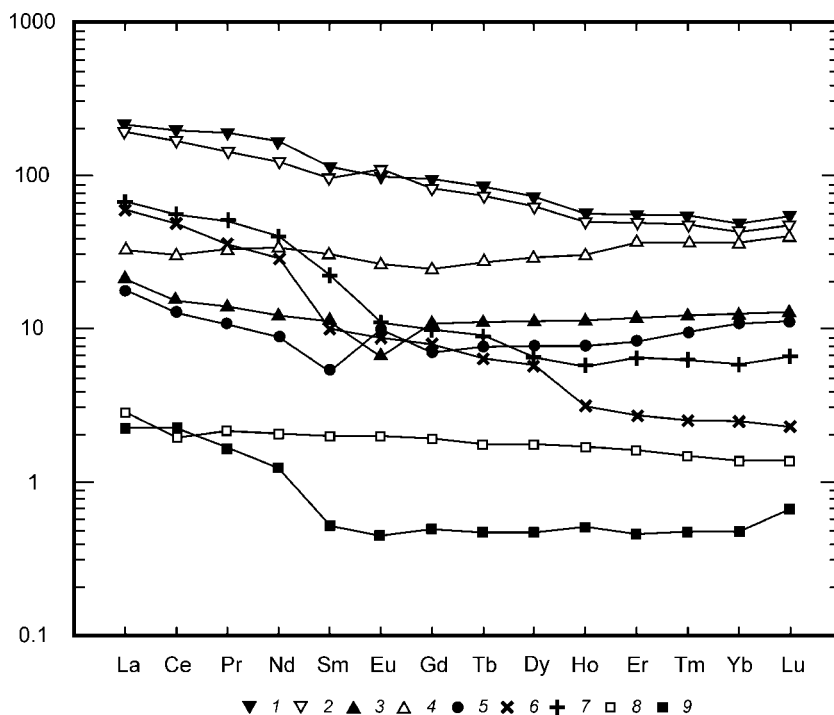


Рис. 4. Характер распределения РЗЭ в некоторых магматитах, метаморфитах и продуктах их гидротермально-метасоматической переработки.

1 – обр. У-10/Б-4 – гнейсовидный амфиболит, слабо эйситизированный; 2 – обр. У-10/Б-3 – то же, но эйситизация проявлена несколько интенсивнее; 3 – обр. У-10/Б-4 (а) – плагиогранит альбитизированный; 4 – обр. У-10/Б-4 (б) – то же, но дополнительно эйситизированный; 5 – обр. У-10/Б-2 – гранит мусковитизированный; 6 – обр. И-15 – гранит шарташский (Средний Урал); 7 – обр. И-16 – березит по шарташскому граниту; 8 – обр. IX-КР – серпентинит антигорит-хризотилловый по гарцбургиту; 9 – апосерпентинитовый лиственит.

Содержание петрогенных компонентов (масс. %) и РЗЭ (г/т) в некоторых породах Уфалейского гнейсово-мигматитового комплекса и продуктах их эйситизации

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	69,74	59,96	47,80	49,95	46,50	72,43	41,31
TiO ₂	0,25	1,16	1,05	1,34	1,12	0,08	1,04
Cr	0,002	–	0,013	0,005	–	0,002	0,001
Al ₂ O ₃	13,51	14,70	11,81	11,07	15,07	13,76	9,78
Fe ₂ O ₃	0,94	1,62	2,65	5,37	4,72	0,11	3,24
FeO	1,10	9,76	5,30	11,30	7,11	0,70	12,30
MgO	0,62	1,55	3,42	4,05	9,04	0,22	3,24
CaO	2,04	4,13	12,77	7,35	11,55	1,46	10,28
MnO	0,04	0,17	0,18	0,23	–	0,02	0,33
Na ₂ O	6,10	4,63	2,50	3,40	3,00	4,10	3,40
K ₂ O	0,47	1,61	2,63	2,07	0,52	3,99	1,93
P ₂ O ₅	0,06	0,32	0,19	1,49	0,10	0,02	1,39
П.п.п.	–	–	9,70	–	2,16	–	13,00
Сумма	96,79	99,29	100,013	97,629	101,01	96,892	100,341
La	4,967	9,508	–	54,868	–	4,494	49,038
Ce	9,199	23,122	–	121,784	–	8,158	108,506
Pr	1,557	3,350	–	18,522	–	1,047	15,361
Nd	6,992	14,841	–	80,463	–	4,233	68,485
Sm	2,002	3,910	–	18,828	–	0,884	17,340
Eu	0,411	1,276	–	5,353	–	0,579	5,578
Gd	2,389	4,554	–	18,066	–	1,138	16,709
Tb	0,458	0,913	–	2,895	–	0,251	2,603
Dy	3,105	6,447	–	16,431	–	1,760	15,091
Ho	0,709	1,497	–	3,176	–	0,417	2,881
Er	2,104	4,458	–	7,825	–	1,213	7,355
Tm	0,331	0,732	–	1,098	–	0,219	0,961
Yb	2,154	0,484	–	7,537	–	1,642	6,123
Lu	0,333	0,779	–	1,264	–	0,279	0,952

Примечание. 1 – обр. У-10/Б-4(а) - плагиогранит альбитизированный; 2 – обр. У-10/Б-4(б) – то же, но эйситизированный; 3 – биотитовый гнейс, по [Е.П.Мельникову, 1966]; 4 – обр. У-10/Б-4 – гнейсовидный амфиболит; 5 – то же, по [Е.П.Мельникову, 1966]; 6 – обр. 4-10/Б-2 – микроклиновый гранит мусковитизированный; 7 – обр. 4-10/Б-3 – то же, что 4, но эйситизированный. Содержания оксидов рассчитаны по данным, полученным на СРМ-18 (ИГГ УрО РАН, аналитики Г.С. Неупокоева, В.П. Власов, Н.П. Горбунова); для проб 1-5, 9 кислотное разложение выполнено в ИГГ УрО РАН (О.П. Лепихина и О.Ю. Попова), HR/IMS-анализ проведен Ю.А. Ронкиным на масс-спектрометре Element2; анализы 6-8 по О.В. Викентьевой [2000], выполнены по той же методике в ИГЕМ РАН (аналитик С.А. Горбачева).

Заметим, что при эйситизации плагиогранитов сумма РЗЭ в них увеличивается (с 37 до 76 г/т), а плагиогнейсов – уменьшается (с 358 до 317 г/т). Лиственитизация серпентинитов приводит к уменьшению названного параметра в них (с 3 до 5 г/т), а березитизация гранитов (с образованием существенно серицитовых, «щелочных» березитов) – к его росту (с 65 до 80 г/т). Отмеченные нюансы в «поведении сумм РЗЭ» при метасоматозе обусловлены в основном вариациями

Т и рН системы с хлоритиновым флюидом [Сазонов, Червяковская, 1983].

Минералы колонок эйситизации пород основного-кислого состава по степени концентрации в них РЗЭ (в г/т) располагаются в следующий ряд: эпидот (63), анкерит (4-51), хлорит (10-52), серицит-мусковит (23-49), амфибол (30), кальцит (16-24), брейнерит (3-5), альбит (8), кварц (2-4). Количество проб, проанализированных по конкретному минералу, колеблется от 1 до 4.

РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Обсуждение результатов и выводы.

Значительное развитие магматитов и послемагматитов в Уфалейском гнейсово-мигматитовом комплексе, начавшем становление в рифее на коре континентального типа, дает основание для выделения рифтогенно-коллизийного тектонического блока с полигенной и полихронной минерагенией (набор указанных образований и сопряженных с ними оруденений см. в работе В.Н. Огородникова и др. в настоящем сборнике). Находки здесь березитов и эйситов, судя по материалам, полученным в других районах Урала и за его пределами [Сазонов, 1998], дают основание для постановки вопроса о возможной перспективности рассматриваемой площади на Au и некоторые другие элементы (Mo, Ag, Sb и др.).

В пределах золоторудных полей Урала, сопряженных пространственно и генетически [Bortnikov et al., 1997; Сазонов, 1998] с массивами гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации, в интервале глубин от 2,0 до 4 км – от их кровли до палеоповерхности – с продвижением снизу вверх происходит смена метасоматитов в последовательности: гумбеиты – эйситы – березиты – кварц-серицитовые метасоматиты [Сазонов, 1998]. Исходя из этого, на изученной нами площади возможны находки гумбеитов (с увеличением глубины эрозионного среза) и кварц-серицитовых метасоматитов (с уменьшением глубины эрозионного среза).

Структуры, по которым сформировались эйситы, представляют собой трещины отрыва (аз. прост. СВ 70°, падение субвертикальное), возникшие при сдвиговых деформациях, ориентированных субмеридионально.

В эйситизированных и березитизированных породах светлая слюда представлена модификацией $2M_1$, сформировавшейся при температуре 450 °С, а карбонат – тремя сосуществующими фазами: кальцитом, доломит-анкеритом, магнезит-сидеритом.

Рассмотренные выше материалы в совокупности с данными, суммированными в уже указывавшейся выше работе В.Н. Огородникова и др. [2006], дают основание рассматривать площадь между карьерами по кварцевым жилам № 101 и 175, а также участки, примыкающие к ней, где развиты карбонатиты, пегматиты (слюдоносные и редкометальные), грейзены, пропилиты, эйситы, березиты, а также жилы гранулированного кварца двух формаций, как объект со сложной полихронной и

полигенной рудно-геохимической системой, полное развитие которой привело к образованию комплексного минерального сырья. В связи с этим к таким площадям должен применяться адекватный подход, как при изучении, так и при освоении.

Распределение РЗЭ в эйситах коррелируется с таковым в исходных породах (см. рис. 4). Этот факт можно использовать в качестве индикатора: определять эдукт по дедукту.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов Минобрнауки РНП.2.1.1.1840 и НШ 420 2006.5

Список литературы

Белковский А.И. Кыштымское месторождение прозрачного жильного кварца: геодинамика, «возрастная» позиция и генезис кварцевых жил (Средний Урал) // Кварц. Кремнезем. Мат-лы Междунар. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 189-191.

Викентьева О.В. Березовское золоторудное месторождение на Урале: геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия образования // Канд. дисс. М.: МГУ, 2000. 184 с.

Грязнов О.Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1990. 253 с.

Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1974. 180 с.

Кольцов А.Б. Метасоматические процессы на золоторудных месторождениях в метатерригенных комплексах. Автореф. док. дисс. СПб., 1996. 44 с.

Мельников Е.П. Генезис, классификация и промышленно-генетические типы месторождений кварца. М.: Недра, 1998. 256 с.

Огородников В.Н., Сазонов В.Н. Соотношения золоторудных и хрусталеносных месторождений обрамления гнейсовых блоков Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 72 с.

Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Карбонатиты Уфалейского гнейсово-мигматитового блока // Рудные месторождения: вопросы происхождения и эволюции Мат-лы IV Уральского металлургич. совещ. Миасс, 2005. С. 23-26.

Околорудные метасоматиты Западного Узбекистана / И.П.Щербань, Р.В.Цой, И.П.Иванов и др. М.: Наука, 1990. 189 с.

Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Савичев А.Н. Закономерности размещения и условия образования особо чистого кварца (Уфалейский кварценосный район, Южный Урал) // Докл. АН. 2005. Т. 405. № 2. С. 1-4.

Савичев А.Н. Уфалейский кварцево-жильный район (закономерности размещения кварца различных генетических типов, минералого-технологичес-

кое картирование и прогноз). Автореф. канд. дисс. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 24 с.

Сазонов В.Н. Золотопродуктивные формации подвижных поясов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, УГГА, 1998. 181 с.

Сазонов В.Н., Червяковская В.В. РЗЭ в метасоматитах березит-лиственитовой формации и их индикаторное значение // Ежегодник-1982. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1983. С. 97-100.

Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С. К петрологии субщелочных пород, ассоциированных с гранитами Нижнеуфалейского массива // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 223-226.

Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С., Ронкин Ю.Л. и др. Новые данные о возрасте гранитоидов Нижнеуфалейского массива // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 308-310.

Шер С.Д. Металлогения золота. М.: Недра. Т. 1. 1972. 296 с. Т. 2. 1974. 256 с.

Bortnikov N.S., Vikentyev I.V., Safonov Yu.G. et al. The Berezovsk giant gold deposit, Urals, Russia: Fluid inclusions and stable isotope studies // Proc. of 4-th biennial SGA met. Turku, Finland, 1977. P. 223-227.

Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K. Rare-earth abundances in chondritic meteorites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1978. V. 42. P. 1199-1212.