

УДК 549.621.9:549.65(574.4)

ГРАНАТ КАК НОСИТЕЛЬ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ИРТЫШСКОЙ ЗОНЕ СМЯТИЯ В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

П.В. Ермолов¹, Г.К. Бекенова², Е.В. Мусина¹, В.Л. Левин²

¹ Институт проблем комплексного освоения недр, г. Караганда, Казахстан; permolov@ipkon.kz

² Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

GARNET AS A CARRIER OF THE RARE EARTH MINERALIZATION IN THE IRTYSH SHEAR ZONE, EAST KAZAKHSTAN

P.V. Ermolov¹, G.K. Bekenova², E.V. Musina¹, V.L. Levin²

¹ Institute of Exploration of Mineral Resources, Karaganda, Kazakhstan; permolov@ipkon.kz

² Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan

Редкоземельная минерализация в плейчатых сланцах и гранито-гнейсах Иртышской зоны смятия установлена впервые. Её носителями являются монацит и ксенотим как в виде отдельных зёрен в породах, так и микровключений в красном и чёрном гранатах. Красный гранат – альмандин-спессартин с содержанием пироповой молекулы до 5 % – является высокотемпературным магматическим для гранито-гнейсов и низкотемпературным метаморфическим для сланцев. Чёрный гранат (пиральспит) содержит 16–18 % пироповой молекулы и, с большой долей уверенности, является детритовым.

Илл. 6. Табл. 4. Библ. 11.

Ключевые слова: альмандин, спессартин, монацит, ксенотим, гранито-гнейсы, сланцы, Иртышская зона смятия, Казахстан.

REE mineralization (monazite and xenotime) in the plicated schist and granite gneisses of the Irtysh shear zone is established for the first time. The minerals occur as individual grains in rocks and microscopic inclusions in red and black garnets. Red garnet (almandine-spessartine), which contains up to 5% of pyrope molecule, is low-temperature magmatic for granite gneisses and low-temperature metamorphic for schists. Black garnet (pyralspite) contains 16–18 % of pyrope molecule and is most likely detrital in origin.

Figures 6. Tables 4. References 11.

Key words: almandine, spessartine, monazite, xenotime, granitic gneisses, schists, Irtysh shear zone, Kazakhstan

Введение

Иртышская зона смятия разделяет Рудно-Алтайскую полиметаллическую и Калба-Нарымскую редкометалльную провинции на востоке Зайсанской складчатой системы. В последнее десятилетие к Иртышской зоне было привлечено пристальное внимание мировой научной общественности в связи с появлением в 90-х годах новой модели развития Центральной Азии и Сибири, в которой Иртышской зоне отведена важная роль в оформлении мегаструктур Центральной Азии на позднепалеозойской стадии развития Кипчакской дуги

(Sengör et al., 1993). Суть проблемы и варианты её решения изложены в ряде работ (Briggs et al., 2007; Ермолов, Полянский, 2008; Melnikov et al., 1998; Glorie et al., 2012; Travin et al., 2001). Интерес к редкоземельной минерализации и гранатам появился в процессе работы над геодинамической моделью Иртышской зоны смятия, т. к. выяснилось, что некоторые аккреционные комплексы раннего палеозоя содержат плейчатые глинозёмисто-кремнистые сланцы и плейчатые двуслюдяные гнейсо-граниты с повышенным уровнем акцессорных минералов иттриевой и цериевой групп как в виде самостоятельных форм, так и в виде вкрапленности

в зёрнах граната. В целом породы не имеют аномальных содержаний редкоземельных элементов ($STR = 180\text{--}280$ г/т), однако присутствие граната в качестве коллектора монацита, ксенотима и силикатов РЗЭ позволяет доступными и дешёвыми методами получать коллективный концентрат в диапазоне 0.7–2.3 мас. % TR_2O_3 . В структуре Иртышской зоны смятия на территории Восточного Казахстана имеется как минимум ещё 3 участка, где развиты плейчатые сланцы и гнейсы высоких давлений, но их редкоземельный потенциал не изучен. Мы надеемся, что статья, посвящённая данной тематике, будет не последней.

Геологическое строение участка

На территории породы с гранатом присутствуют повсеместно. Центральная и восточная части участка слагают гранат-биотитовые мигматит-гнейсы, диопсидовые кристаллические сланцы и межслоевые мигматит-граниты (рис. 1). Возраст их определён U-Pb методом по циркону 503–506 млн лет (средний кембрий). Мигматит-гнейсы в своём изначальном виде хорошо сохранились только в крупных целиках, подверженных слабым позднепалеозойским дислокациям. На остальном пространстве они в разной степени деформированы. Главными деформирующими процессами были будинаж, дробление и истирание сдвиговыми процессами вплоть до милонитов.

В первичных мигматит-гнейсах гранат красный, с высоким содержанием пиропового минала (28–32 мол. %) и первых процентов – спессартинового. В них проявлена регрессивная зональность в виде внешних каёмки с содержанием «пироба» 15–16 мол. %. Гранаты такого состава преобладают в деформированных мигматит-гнейсах и в межслоевых мигматит-гранитных телах. Какой-либо редкоземельной аномалии в гранате не установлено.

Основные интересы в отношении редкоземельной минерализации сосредоточены в СЗ части участка к северу от посёлка Овечий ключ (см. рис. 1). Здесь развиты гранат-кианитовые плейчатые сланцы и двуслюдяные гранито-гнейсы, в которых гранат является минералом-хозяином для определённой доли редкоземельных минералов, присутствующих в породах также и в свободной форме. Возраст пород определён U-Pb методом по циркону (технология ШРИМП) и указан на рисунке 1. Первичный возраст гранито-гнейсов 488–512 млн лет (кембрий), а сланцев 453 млн лет (ордовик). В со-

ответствии с этими датировками сделан вывод, что сочленение этих комплексов было тектоническим (аккреция), а пластические пликвативные структуры (рис. 2) и высокобарический парагенезис минералов оба комплекса получили в позднем девоне в коллизионную стадию развития Иртышской зоны.

В начале нашего изучения редкоземельной минерализации основное внимание уделялось розовым и красным гранатам, потому что в них на просвет видны микровключения других минералов; микронзондовые анализы показали в их составе наличие РЗЭ иттриевой и цериевой групп. Эти гранаты доминируют в магматических породах, а в сланцах сравнительно редки. По составу они отвечают пиральспитам с содержанием пиропового минала не более 3–5 мол. %. Изучение их внутренней структуры показало доминирование РЗЭ цериевой группы и повышенное содержание тория, а РЗЭ иттриевой группы, а также сложные формы с железом, магнием, кремнезёмом и тантало-ниобаты сравнительно редки (Ермолов и др., 2015). Гравитационные концентраты из гранито-гнейсов (1 проба) и сланцев (9 проб) показали максимальное содержание РЗЭ в сланцах (табл. 1), причём в тех образцах, где доминировал чёрный гранат. Так появилась настоятельная необходимость изучить его детально.

Методы исследования

Чёрный гранат исследован рентгенодифрактометрическим методом на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с $CuK\alpha$ -излучением, β -фильтр. Условия съёмки: $U = 35$ кВ, $I = 20$ мА, шкала 2000 импульсов; постоянная времени 2 с; скорость съёмки 2 град/мин. Для определения параметра элементарной ячейки чёрного граната съёмка производилась на аппарате D8 Advance (Bruker), излучение $CuK\alpha$. Условия съёмки: $U = 40$ кВ, $I = 40$ мА. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчёт межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA.

Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF-2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Содержание редких земель в гравитационных концентратах фракции –1 мм определено компани-

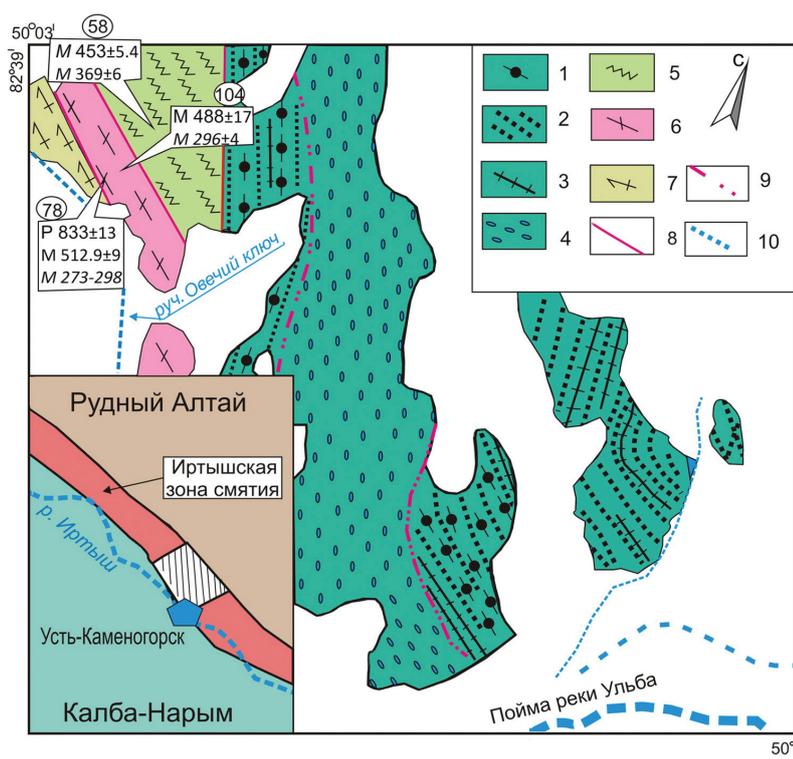


Рис. 1. Геологическая карта изученного участка.

1–2 – мигматит-гнейсы; плагиоклаз-диопсидовые кристаллические сланцы; 3 – межслоевые мигматит-граниты; 4 – деформированные мигматит-гнейсы; 5 – пloyчатые гранат-кианитовые сланцы; 6 – двуслюдяные гранито-гнейсы; 7 – гранат-ставролитовые гнейсы; 8, 9 – тектонические разломы установленные (8) и предполагаемые (9); 10 – водотоки.

В рамке возраст циркона (млн лет): P – реститовый, M – магматический, M – метаморфический и (или) метасоматический.

Fig. 1. Geological map of the studied area.

1 – migmatitic gneisses; 2 – plagioclase-diopside crystal schists; 3 – interlayered migmatitic granites; 4 – deformed migmatitic gneisses; 5 – plicated garnet-kianite schists; 6 – two-mica granitic gneisses; 7 – garnet-staurolite gneisses; 8, 9 – faults: 8 – identified, 9 – inferred; 10 – water streams.

Zircon age in frames (Ma): P – restitic; M – magmatic; M – metamorphic and/or metasomatic

ей «Summit Atom Rare Earth Company» (ТОО СП «SARECO», г. Степногорск).

Химический состав граната определен на электроннозондовом микроанализаторе JСХА-733 с энергодисперсионным спектрометром INCA ENERGY при ускоряющем напряжении 25 кВ, токе зонда 25 нА и сфокусированном (диаметр 1–2 мкм) или расфокусированном (10 мкм) зонде, аналитик В.Л. Левин. В качестве образцов сравнения использованы: CaSiO₃ (Ca); MgO (Mg); Al₂O₃ (Al); SiO₂ (Si); TiO₂ (Ti); Fe₂O₃ и MnO (Fe, Mn), металлический V (V); ZrO₂ (Zr); GaP (P); ThO₂ (Th); x(PO₄) (x – PЗЭ). Фотосъёмка осуществлена в расстровом режиме в различных видах излучений.

Результаты исследования чёрного граната

По данным полуколичественного рентгенофазового анализа, в концентрате чёрного граната определено 75 % объёма спессартина (Mn_{2,58}Fe_{0,34}Ca_{0,08})(Al_{1,99}Fe_{0,01})Si₃O₁₂ (PDF 74-1554) и включений в нём титансодержащего гематита (15.3 %) и кварца (9.7 %).

Расчитанный нами по дифрактограмме чёрного граната (табл. 2) параметр его элементарной ячейки $a = 11.577(4) \text{ \AA}$ близок спессартину (PDF 01-089-4373) с $a = 11.566 \text{ \AA}$ и формулой (Mn_{2,21}Fe_{0,79})Al₂(SiO₄)₃.



Рис. 2. Пликативная текстура гранито-гнейса.
Fig. 2. Multiplicative structure of granite gneiss.

Чёрный гранат имеет признаки реликтового. Его средний химический состав по десяти анализам (табл. 3), рассчитанный на O = 12, даёт кристаллохимическую формулу вида (Mn_{1,58}Fe³⁺_{0,64}Mg_{0,52}Ca_{0,17})_{2,91}(Al_{1,89}Fe³⁺_{0,11})_{2,00}(Si_{2,88}Ti_{0,01})_{2,89}O₁₂. Содержание пиропового минала в этой формуле составляет 17.87 мол. %. Это – предельная концентрация пиропы в гранате метаморфических пород амфиболитовой фации метаморфизма (Ермолов и др., 1979).

Таблица 1

Содержание редких земель в гравитационных концентратах фракции –1 мм (г/г)

Table 1

REE composition of gravity concentrates of the fraction –1 mm (ppm)

№ ан.	K1/1	K2/1	K2/2	K2/3	K2/4	K2/5	K3/1	K3/2	K3/3	K3/4
TR ₂ O ₃	4237.462	4167.062	3504.993	4491.255	3719.503	3208.828	1875.862	6718.455	3160.276	2619.366
La ₂ O ₃	831.886	836.108	707.819	907.875	792.016	640.039	291.055	1399.689	655.518	482.668
Ce ₂ O ₃	1680.531	2040.629	1576.743	2166.44	1695.994	1370.103	518.474	3038.686	1338.24	1143.08
Pr ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nd ₂ O ₃	741.767	655.2	555.567	696.5	625.8	559.3	275.1	1176.467	459.9	359.1
Sm ₂ O ₃	190.24	130.848	99.528	152.656	143.144	89.088	35.96	237.568	83.984	71.224
Eu ₂ O ₃	0.926	5.789	3.011	5.558	3.705	–	–	20.147	0.463	–
Gd ₂ O ₃	186.534	320.497	269.54	326.492	299.054	287.525	689.414	423.794	276.918	309.199
Tb ₂ O ₃	–	13.121	–	21.408	17.494	34.989	–	38.902	–	25.321
Dy ₂ O ₃	84.896	38.777	–	17.438	14.455	–	–	78.471	52.314	24.321
Ho ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Er ₂ O ₃	42.546	50.323	51.925	54.898	43.69	40.716	97.444	80.517	54.898	48.951
Tm ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Yb ₂ O ₃	38.717	25.963	49.,193	35.073	26.191	41.45	–	43.044	31.884	25.508
Y ₂ O ₃	728.787	319.955	431.431	402.991	299.894	361.346	75.164	625.182	424.892	305.481
Lu ₂ O ₃	16.602	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Прочерк – не обнаружено. Анализы выполнены в «Summit Atom Rare Earth Company» (ТОО СП «SARECO», г. Степногорск).

Note. Dash – not determined. Analyses were carried out in Summit Atom Rare Earth Company (Ltd SP SARECO, Steпноgorsk).

Таблица 2

Межплоскостные расстояния и фазовый состав образца чёрного граната

Table 2

Interplanar distances and phase composition of black garnet

№	d, Å	I, %	Минерал
1	4.733	18.7	Гранат
2	3.688	19.1	Гематит титансодержащий
3	3.543	16.2	Хлорит?
4	3.340	25.7	Кварц
5	2.893	45.2	Гранат
6	2.701	22.8	Гематит титансодержащий
7	2.588	100.0	Гранат
8	2.518	21.7	Гематит титансодержащий
9	2.468	22.2	Кварц, гранат
10	2.363	32.4	Гранат
11	2.269	26.3	Гранат
12	2.113	27.8	Гранат
13	1.878	33.5	Гранат
14	1.840	18.2	Гематит титансодержащий, гранат
15	1.695	17.3	Гематит титансодержащий
16	1.671	29.2	Кварц
17	1.606	39.0	Гранат
18	1.547	45.4	Гранат, кварц
19	1.447	21.6	Гранат, гематит титансодержащий
20	1.294	22.7	Гранат
21	1.291	19.3	Гематит титансодержащий
22	1.263	26.3	Гранат

Примечание. Дифрактометр ДРОН-3, аналитик А.П. Слюсарев.

Note. Diffractometer DRON-3, analyst A.P. Slyusarev.

Таблица 3

Средний химический состав чёрного граната (мас. %)

Table 3

Average chemical composition of black garnet (wt. %)

Компоненты	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
SiO ₂	36.60	36.02	37.93	0.2609
TiO ₂	0.18	0.04	0.30	0.0275
Al ₂ O ₃	20.37	19.53	21.14	0.2168
Fe ₂ O ₃	12.69	11.99	13.19	0.1078
CaO	2.07	1.82	2.41	0.0635
MgO	4.42	4.23	4.95	0.0752
MnO	23.77	23.29	24.64	0.1517
Сумма	100.09			

Примечание. Количество анализов – 10. Здесь и в таблице 4 – микроанализатор JCXA-733, аналитик В.Л. Левин.

Note. Number of analyses, 10. Here and hereafter in Table 4 – microprobe JCXA-733, analyst V.L. Levin.

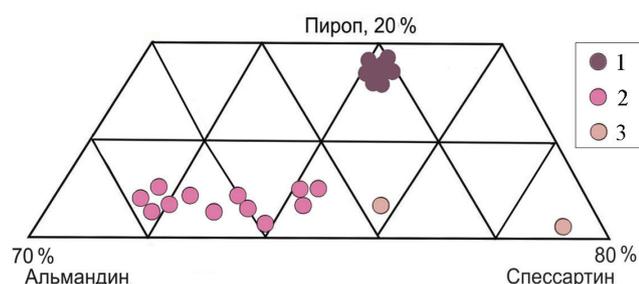


Рис. 3. Молекулярный состав исследованных гранатов в координатах пироп-альмандин-спессартин.

1 – чёрный и тёмно-серый Fe-Mg-спессартин («пиральспит», 10 анализов); 2 – розово-красный Mn-альмандин; 3 – розовый спессартин.

Fig. 3. Molecular composition of garnet in ternary pyrope-almandine-spessartite plot.

1 – black and dark gray pyralspite; 2 – pink-red Mn-almandine; 3 – pink spessartite.

Разный состав красного и чёрного граната наглядно виден на рисунке 3. Количество пироповой молекулы в гранате зависит от температуры его кристаллизации и очень мало – от давления (Ермолов и др., 1979). В данном случае можно говорить, что красный гранат, наиболее широко распространённый в гнейсо-гранитах и гранит-аплитах, кристаллизовался в позднемагматическую или постмагматическую стадии, а в сланцах его можно связывать с частичным диафторезом сланцев. Но в сланцах одним из главных минералов является мусковит, который в амфиболитовой фации неустой-

чив, что прямо указывает на диафторез, а чёрный гранат является реликтовым. На высокотемпературный гранат указывает и высокотитанистый гематит, присутствующий в виде микровключений. В сланцах, наряду с совершенными кристаллографическими формами граната, встречаются и окатанные зёрна (рис. 4). Уникальны в гранате и реликтовые включения гематита и кварца, отражающие гнейсовидность вмещающей породы (рис. 5), прежде не отмечавшиеся нами в красных гранатах. Происхождение их может быть связано как с древним протолитом, так и с вновь образованными породами, возникшими за счёт размыва протолита и последующего их метаморфизма. Помимо кварца и титансодержащего гематита, в чёрном гранате встречены микровключения монацита-(Ce) (табл. 4) и единичные зёрна циркона и ксенотима-(Y). Кристаллохимическая формула монацита-(Ce), рассчитанная по среднему из пяти анализов на $(Ca+TR_2O_3+Th)=1$, имеет вид: $(Ce_{0.43}La_{0.21}Nd_{0.14}Pr_{0.04}Sm_{0.02}Gd_{0.02}Dy_{0.01}Ca_{0.06}Th_{0.07})P_{1.11}O_{4.2}$.

Обсуждение и выводы

Плойчатые сланцы и плойчатые гранито-гнейсы, вмещающие редкоземельное оруденение, слагают в Иртышской зоне аллохтонные тектонические чешуи. Возраст пород раннепалеозойский: 453 млн лет (сланцы) и 512–488 млн лет (гранито-гнейсы).

Геодинамические показатели тех и других показаны на рисунке 6.

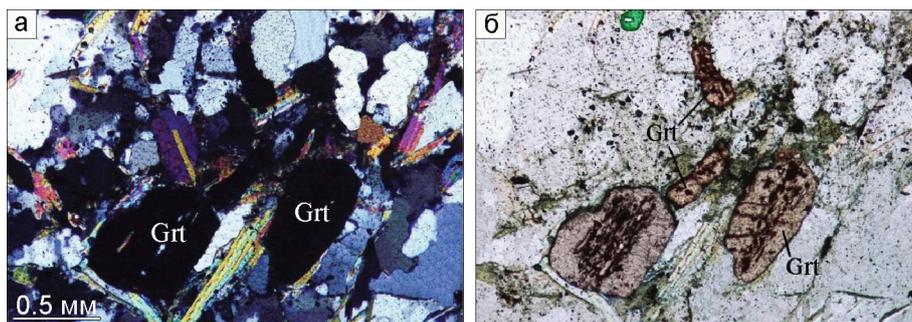


Рис. 4. Детритовый гранат в плойчатых сланцах высоких давлений.

а – с анализатором; б – без анализатора.

Fig. 4. Detrital garnet in high-pressure plicated schists.

а – nicols ||; б – nicols x.

Рис. 5. Включения титансодержащего гематита (светло-серое) и кварца (чёрное) в гранате, унаследованные из гнейса. BSE-фото.

Fig. 5. Inclusions of Ti-bearing hematite (light gray) and quartz (black) in garnet crystals inherited from gneiss. BSE-image.

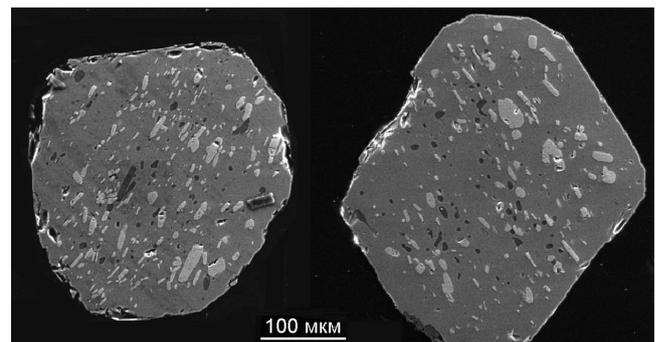


Таблица 4

Химический состав монацита-(Ce) (мас. %)

Table 4

Chemical composition of monazite-(Ce) (wt. %)

№ ан.	1	2	3	4	5	Среднее
P ₂ O ₅	33.28	34.38	34.80	33.47	34.00	33.99
ThO ₂	3.67	3.05	1.98	5.33	5.61	3.93
La ₂ O ₃	12.93	14.15	14.33	12.68	12.91	13.40
Ce ₂ O ₃	30.77	31.76	32.24	29.26	29.48	30.70
Pr ₂ O ₃	3.23	2.64	2.67	2.61	3.03	2.84
Nd ₂ O ₃	10.21	10.85	10.78	10.63	10.07	10.51
Sm ₂ O ₃	1.57	1.65	1.30	1.65	1.53	1.54
Gd ₂ O ₃	1.30	1.36	1.52	1.57	0.81	1.31
Dy ₂ O ₃	0.65	0.73	0.86	0.98	0.71	0.79
CaO	1.07	0.94	1.18	1.11	2.49	1.36
Сумма	98.68	101.51	101.66	99.29	100.64	100.36

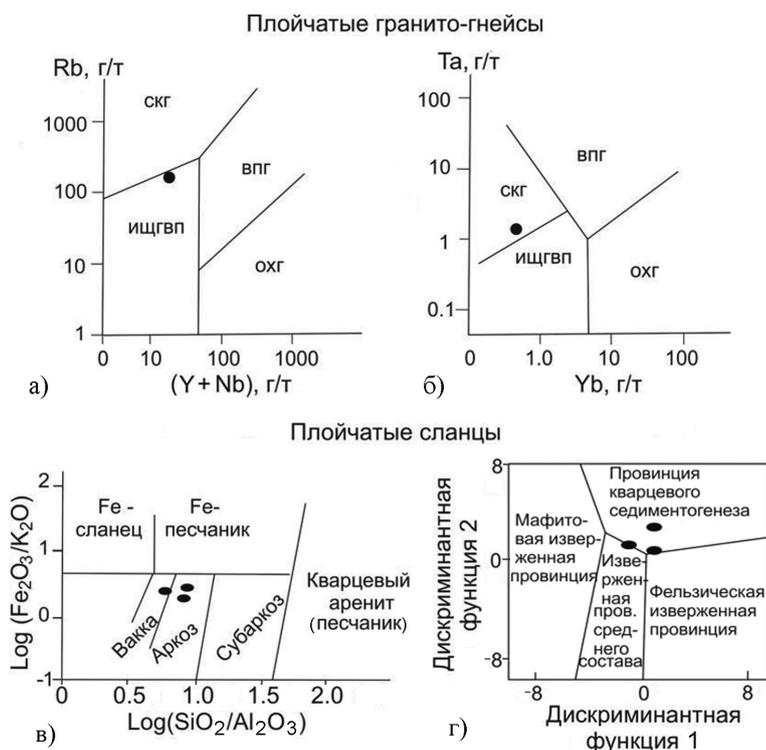


Рис. 6. Состав и геодинамические показатели гнейсов и сланцев, вмещающих редкоземельное оруденение.

а, б – дискриминационные диаграммы для гранитов (Pearce et al., 1984) и положение на них анализа плейчатого гнейсо-гранита: СКГ – субколлизийные граниты, ИЩГВП – известково-щелочные граниты вулканических поясов, ВПГ – внутриплитные граниты, ОХГ – граниты океанических хребтов; в – классификация песчаников и сланцев по (Herron, 1998) и положение на ней анализов плейчатых сланцев; г – функциональная дискриминационная диаграмма для провинций размыва и сноса материала песчаников и алевролитов и положение на ней анализов плейчатых сланцев: *функция 1* = $30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{ Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$; *функция 2* = $56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$ (Roser, Korsch, 1988).

Fig. 6. Composition and geodynamic indices of schists and gneisses with REE mineralization.

а, б – discriminative plots for granites (Pearce et al., 1984) and position of plicated gneiss granite: СКГ – collisional granites, ИЩГВП – calc-alkali granites of volcanic belts, ВПГ – intraplate granites, ОХГ – granites of ocean ridges; в – classification plot of sandstones and schists after (Herron, 1998) and position of plicated schists; г – discriminatory functional diagram for provinces of erosion and runoff of sandstone and siltstone material and position of plicated schists: *function 1* = $30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{ Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$; *function 2* = $56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$ (Roser, Korsch, 1988).

Гнейсо-граниты сочетают в себе признаки субколлизийных и известково-щелочных гранитов вулканических поясов. Этим объясняется бедность редкоземельной минерализации, которая в природе обычно связана с субщелочными и щелочными гранитами.

Сланцы в первичном залегании имели состав аркоза и вакки (глинистого аркоза). В седиментогенезе основным переносчиком редких земель выступают глинистые минералы. Кварц и акцессории добавляют лишь несколько процентов к общему балансу. Провинцией размыва протолита служили породы, богатые кварцем и бедные изверженными магматическими породами. Сочетание перечисленных показателей также убедительно аргументирует причины бедности сланцев редкоземельной минерализацией.

Главным носителем редкоземельной минерализации является монацит-(Ce) в отдельных зёрнах и в виде включений в гранате. Красный гранат (с вариациями цвета) и чёрный гранат одинаковы по составу минералов-узников: монацит-(Ce), титансодержащий гематит, ксенотим-(Y), тантало-ниобаты (в гнейсо-гранитах) и ещё не полностью диагностированные другие редкоземельные минералы-включения в красном гранате.

Гранат представлен в двух контрастных формах: красный и розовый альмандин-спессартин с содержанием пиропового минала не более 5 мол. % и чёрный гранат (пиральспит) с содержанием пиропового минала 16–18 мол. %. Альмандин является акцессорным минералом магматических разгнейсованных гранитов (гранито-гнейсов) а обогащённый марганцем альмандин-спессартин образовался в сланцах на стадии регрессивного метаморфизма (диафтореза). Чёрный пиральспит, с большой долей уверенности, является детритовым, т. к. сланцы микрогнейсовой структуры содержат обилие окатанных зёрен чёрного граната, состав которого не соответствует главным минеральным парагенезисам сланцев.

По совокупности признаков можно считать, что плейчатые сланцы несут в себе признаки бедных монацит-ильменитовых палеороссыпей, требующих более глубокого геологического и технологического изучения.

Литература

Ермолов П.В., Изох А.Э., Владимиров А.Г. Гранат как индикатор условий гранитообразования в коре // Докл. АН СССР. 1979. Т. 2456. № 1. С. 208–211.

Ермолов П.В., Полянский Н.В. Основные этапы тектонического развития Иртышской зоны смятия: по данным изотопного анализа циркона методом ШРИМП // Геология и охрана недр. 2008. № 3 (28). С. 17–24.

Ермолов П.В., Хасен Б.П., Мусина Е.В. Редкоземельное оруденение коммерческого значения в метаморфическом комплексе Иртышской зоны смятия // Геология и охрана недр. 2015. № 1 (54). С. 2–8.

Briggs S.M., Yin A., Manning C.E. Late Paleozoic tectonic history of the Ertix Fault in the Chinese Altai and its implications for the development of the Central Asian Orogenic System // *Grove GSA Bulletin*. 2007. July-August. Vol. 119. № 7/8. P. 944–960.

Glorie, S., De Grave, J., Delvaux, D., Buslov, M.M., Zhimulev, F.I., Vanhaecke, F., Elburg M.A. et al. Tectonic history of the Irtysh shear zone (NE Kazakhstan): New constraints from zircon U/Pb dating, apatite fission track dating and palaeostress analyses // *Journ. of Asian Earth Sciences*. 2012. Vol. 45. P. 138–149.

Herron M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *J. Sediment. Petrol.* 1998. Vol. 58. P. 820–829.

Melnikov A., Travin A., Plotnicov A., Smirnova L., Theunissen K. Kinematics and Ar/Ar geochronology of the Irtysh shear zone in NE Kazakhstan // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from East-Central Asia*. 1998. First Workshop. IJCP-420. Urumqi, China. 27 July–3th August. P. 30.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *J. Petrol.* 1984. Vol. 25. P. 956–983.

Roser B.R., Korsch R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // *Chem. Geol.* 1988. Vol. 47. P. 119–139.

Sengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S. Evolution of the Altaid Tectonic Collage and Paleozoic Crustal Growth in Eurasia // *Nature*. 1993. Vol. 364 (6435). P. 299–307.

Travin A.V., Boven A., Plotnikov A.V., Vladimirov V.G., Theunissen K., Vladimirov A.G., Melnikov A.I., Titov A.V. Ar-40/Ar-39 dating of ductile deformations in the Irtysh shear zone, eastern Kazakhstan // *Geochem. Int.* 2001. Vol. 39 (12). P. 1237–1241.

Поступила в редакцию 13 июня 2016 г.