

УДК 553.411(57):546.65

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МЕТАСОМАТИТАХ И РУДАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ КАЛБЫ

Ю.С. Ананьев

Томский политехнический университет

E-mail: AnanyevYS@ignd.tpu.ru

Изучены особенности распределения редкоземельных элементов в метасоматитах и рудах золоторудных месторождений Западной Калбы (Восточный Казахстан). Установлено, что все метасоматические процессы протекали с изменением баланса этих элементов. Показана вертикальная дифференциация редкоземельных элементов в рудоносных метасоматитах, сопровождающих кварцево-жильное и прожилково-вкрапленное золотое оруденение. Выделены три типа распределения лантаноидов в метасоматитах. Установлена единая природа рудоносных березитов.

Ключевые слова:

Западная Калба, золоторудные объекты, редкоземельные элементы, метасоматиты, черносланцевые толщи.

Key words:

Western Kalba, gold deposits, rare-earth elements, metasomatic rocks, black shale formation.

Введение

Редкоземельные элементы традиционно рассматриваются как геохимические индикаторы тех или иных магматических процессов. Однако для метасоматических и сопровождающих гидротермально-рудных ассоциаций в черносланцевых толщах информация о поведении редкоземельных элементов (РЗЭ) крайне ограничена.

Западно-Калбинская металлогеническая зона Зайсанской складчатой системы (Восточный Казахстан) вмещает 18 золоторудных полей, расположенных в поперечно-диагональных структурах II порядка одноименного складчато-рифтогенного пояса. Рудные поля объединяются в три структурно-морфологические группы: 1) рудные поля с жильно-кварцевым и штокверковыми типами руд в терригенных, вулканогенных и карбонатных толщах карбона, габбро-плагиигранитных массивах; 2) рудные поля, представленные минерализованными сульфидными зонами в углеродистых терригенных толщах карбона; 3) рудные поля комбинированного типа, включающие кварцевые жилы, штокверки, золото-пирит-арсенопиритовые залжи в различных терригенно-вулканогенных толщах и интрузивах [1].

Редкоземельные элементы изучались в метасоматических и рудных образованиях Баладжальского, Кызыловского и Эспинского золоторудных полей черносланцевого типа.

Для Баладжальского рудного поля характерно развитие вкрапленного, прожилково-вкрапленного и жильного типа оруденения как в теле габброидного массива, так и в его экзоконтактной части в черносланцевой толще нижнего карбона [2].

Среди многочисленных золоторудных объектов Кызыловского рудного поля по величине разведанных запасов выделяются два месторождения — Бакырчик и Большевик. Оба месторождения приурочены к системе сближенных субширотных разрывных нарушений, образующих Кызыловский надвиг, известный в литературе как Кызыловская

зона смятия. Полого падающая на север, Кызыловская зона смятия разбита на отдельные блоки разрывами северо-западного и северо-восточного направлений, что создает мозаично-блоковое строение рудного поля [3]. Основные рудные тела месторождений сложены прожилково-вкрапленными и вкрапленными золото-пирит-арсенопиритовыми ассоциациями в апочерносланцевых березитах.

В пределах рудного поля Эспе известно более 20 золотоносных кварцевых жил. Жилы имеют невыдержанную мощность и занимают секущее положение с вмещающими черносланцевыми породами молассовой формации среднего карбона [2].

Методические основы исследований

В основу исследований положены данные, полученные методами масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой (ISP—MS) и инструментального нейтронно-активационного анализа. Аналитические исследования выполнялись в химико-аналитическом центре «Плазма» (аттестат аккредитации РОСС RU № 0001.516895 от 21.05.2008), г. Томск (ISP—MS); в аналитическом центре «Геохимии природных систем» Томского регионального центра коллективного пользования Томского государственного университета (ISP—MS); в лаборатории ядерно-геохимических исследований кафедры полезных ископаемых и геохимии редких элементов Томского политехнического университета.

Для графического представления результатов применялось нормирование как по хондриту [4], так и по эдукту. Аномалии Eu (Eu/Eu*) и Ce (Ce/Ce*) рассчитывались по формулам

$$\begin{aligned} \text{Eu}/\text{Eu}^* &= \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N^* \text{Gd}_N)^{1/2}, \\ \text{Ce}/\text{Ce}^* &= \text{Ce}_N / ((2\text{La}_N + \text{Sm}_N)/3). \end{aligned}$$

Полученные результаты и их обсуждение

Все формационные типы метасоматитов в черносланцевых толщах карбона проявились в пределах *Баладжальского рудного поля* и одноименного

месторождения. Здесь получили распространение альбит-амфиболовые метадiorиты магматического этапа, кварц-полевошпатовые автометасоматиты и поздние пропилиты и лиственито-березиты [5]. Формирование метадiorитов, ранних кварц-полевошпатовых и пропилитовых метасоматитов сопровождалось довольно значительным выносом золота, и, лишь процесс образования лиственито-березитов, особенно сульфидизированных разновидностей, привел к значительному накоплению металла [2].

Распределение редкоземельных элементов в метасоматитах месторождения приведено в табл. 1.

Таблица 1. Содержание РЗЭ в и метасоматитах и габбро месторождения Баладжал, г/т

Элементы	Породы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
La	14,1	14,4	30,1	29,7	29,6	14,8	11,4	12,9	31,4	29,5
Ce	36,8	36,3	83,7	79,7	80,2	40,6	30,3	30,4	87,9	83,3
Pr	4,66	4,55	12,1	11,2	11,5	5,98	4,34	3,79	13,2	12,5
Nd	20,3	19,5	56,1	49,8	52,5	27,7	19,7	16,1	61,7	60,4
Sm	4,68	4,46	13,3	11,5	12,5	6,91	4,67	3,55	15,0	14,6
Eu	1,50	1,38	4,25	3,99	4,19	2,33	1,68	1,16	4,7	4,4
Gd	4,55	4,28	13,1	11,0	12,4	6,98	4,63	3,20	14,8	14,2
Tb	0,70	0,67	1,99	1,68	1,91	1,08	0,72	0,48	2,2	2,2
Dy	4,22	3,95	11,9	9,89	11,2	6,54	4,32	2,82	12,6	12,5
Ho	0,87	0,81	2,35	1,95	2,23	1,34	0,89	0,57	2,5	2,5
Er	2,35	2,22	6,15	5,17	5,83	3,57	2,34	1,56	6,6	6,5
Tm	0,34	0,32	0,84	0,74	0,80	0,51	0,34	0,22	0,9	0,9
Yb	2,15	2,03	5,13	4,50	4,77	3,13	2,08	1,49	5,2	5,2
Lu	0,32	0,30	0,73	0,67	0,69	0,46	0,31	0,21	0,7	0,8
ΣРЗЭ	98	95	242	221	230	122	88	78	259	249
La _N /Yb _N	4,43	4,79	3,96	4,45	4,19	3,19	3,70	5,85	4,06	3,83
La _N /Sm _N	1,90	2,03	1,42	1,63	1,49	1,35	1,54	2,29	1,32	1,28
Gd _N /Yb _N	1,71	1,71	2,06	1,98	2,10	1,80	1,80	1,74	2,30	2,21
Eu/Eu*	0,99	0,96	0,98	1,08	1,03	1,02	1,11	1,05	0,97	0,94
Ce/Ce*	1,19	1,17	1,18	1,18	1,17	1,15	1,16	1,11	1,17	1,16

Породы: 1, 2 – альбит-амфиболовые метадiorиты; 3–5 – апогаббровые кварц-полевошпатовые метасоматиты: 3 – внешняя зона; 4 – промежуточная зона; 5 – внутренняя зона; 6 – апогаббровые пропилиты; 7, 8 – апогаббровые березиты: 7 – промежуточной зоны; 8 – внутренней зоны; 9–10 – неизменное габбро.

Все формационные типы метасоматических образований характеризуются преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми (рис. 1). Аномалии церия в метасоматитах не выражены (табл. 1), что позволяет предполагать участие магмогенных флюидов в формировании месторождения. В целом, тренды распределения РЗЭ в метасоматитах унаследуют особенности распределения элементов в подвергшихся метасоматическим преобразованиям габбро кунушского комплекса. При этом, максимальные суммарные концентрации РЗЭ обнаруживают кварц-полевошпатовые автометасоматиты (221...242 г/т), а минимальные – березиты (88...78 г/т). Наблюдается закономерное снижение уровня концентраций РЗЭ от ранних щелочных кварц-полевошпатовых к поздним кислотным лиственито-березитам, что указывает на низкую кон-

центрацию РЗЭ во флюиде и определенную подвижность РЗЭ в гидротермальном процессе.

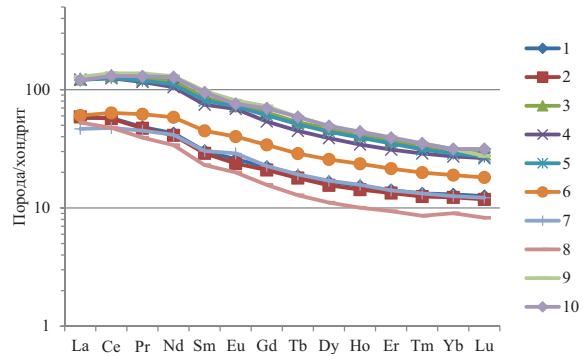


Рис. 1. Распределение редкоземельных элементов в апогаббровых метасоматитах. 1, 2) альбит-амфиболовые метадiorиты; 3–5) апогаббровые кварц-полевошпатовые метасоматиты. Метасоматические зоны: 3 – внешняя; 4 – промежуточная; 5 – внутренняя; 6) апогаббровые пропилиты; 7, 8) апогаббровые березиты. Метасоматические зоны: 7 – промежуточная; 8 – внутренняя; 9, 10) неизменное габбро

Аномалии Eu могут свидетельствовать об окислительно-восстановительных характеристиках флюида. Так, по мнению [6–9] преобладание Eu^{2+} свидетельствует об относительной восстановленности флюида, тогда как преобладание Eu^{3+} говорит о его относительной окисленности. В нашем случае величина Eu/Eu^* метасоматитов хотя и близка к 1 (табл. 1), но закономерно меняется от 0,96...0,99 у ранних альбит-амфиболовых метадiorитов до 1,05...1,11 у поздних березитов, что свидетельствует о слабой относительной окисленности флюида на начальном этапе метасоматоза и его последующего незначительного относительного восстановления.

Для оценки поведения редкоземельных элементов в гидротермальном процессе выполнено нормирование гидротермально измененных пород по фоновым содержаниям РЗЭ в исходных неизмененных габброидах (рис. 2).

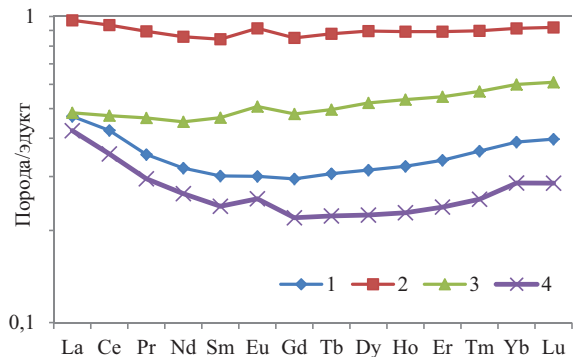


Рис. 2. Эволюция спектров распределения РЗЭ при формировании альбит-амфиболовых метадiorитов (1), кварц-полевошпатовых автометасоматитов (2), пропилитов (3) и березитов (4). Нормировано по средним содержаниям элементов в исходных неизмененных габброидах

Анализ полученных данных показывает, что в стадийном гидротермальном процессе РЗЭ проявляют различную подвижность на фоне общего выноса лантаноидов.

При формировании альбит-амфиболовых метадiorитов в магматический этап в щелочной обстановке происходил общий вынос РЗЭ. При этом максимально выносились промежуточные элементы (Sm, Eu, Gd, Tb). Минимальную подвижность при этом проявляют крайние легкие (La, Ce) и, в чуть меньшей степени, крайние тяжелые (Yb, Lu) элементы.

Наименьшая подвижность у РЗЭ проявляется при кварц-полевошпатовом автometасоматозе. Дифференциация между легкими, промежуточными и тяжелыми РЗЭ незначительная.

Пропилитизация, протекавшая в слабо щелочных условиях, также характеризуется общим выносом РЗЭ. При этом метасоматическом процессе максимальную подвижность, и соответственно вынос, проявляют легкие элементы (La, Ce, Pr, Nd), минимальную — тяжелые (Er, Tm, Yb, Lu), т. е. происходит относительное обогащение метасоматитов тяжелыми лантаноидами.

Максимальная подвижность РЗЭ проявляется при березитизации в условиях кислотного выщелачивания. В этом метасоматическом процессе наблюдается максимальная подвижность, и соответственно вынос, промежуточных лантаноидов (Sm, Gd, Eu, Dy), средняя у тяжелых (Yb, Lu) и минимальная у легких (La, Ce).

Закономерно меняется сумма РЗЭ, нормированных на эдукт. Теоретически, значение этой величины у неизмененных пород должно быть близко к 14. Выше было показано, что метасоматические процессы в большей мере приводят к выносу редкоземельных элементов. В случае развития гидротермального процесса в «закрытой системе» (этап автometасоматоза) этот показатель будет стремиться к 14. В случае развития дальнейшего гидротермального процесса в «открытой системе», будет происходить вынос, или привнос редкоземельных элементов. И это изменение баланса РЗЭ будет определяться в том числе и степенью «открытости» системы — чем она выше, тем значительнее будет наблюдаться привнос/вынос РЗЭ. Таким образом, предлагается использовать сумму РЗЭ, нормированную на эдукт, в качестве показателя проницаемости магматогенно-флюидной системы.

Внедрение габброидного штока, вмещающего Баладжальское месторождение, контролировалось сопряжением зоны Баладжальского разлома с разрывными нарушениями субширотного простирания. Еще в магматический этап, под воздействием трансмагматических флюидов, здесь формировались ранние альбит-амфиболовые метасоматиты. Они слагают тела неправильной формы, тяготеют к приконтактовой части штока и выходят за его пределы. В связи с этим следует считать открытой систему на этом этапе метасоматизма. Сумма нормированных значений содержаний РЗЭ — 4,9.

По мере кристаллизации габброидного штока происходило накопление флюидной фазы, и затем формирование кварц-полевошпатовых автometасоматитов. Тела этих метасоматитов располагаются только в пределах штока, следовательно, система на этом этапе метасоматизма была закрытой и $\Sigma PZЭ_N=12,6$. Другим показателем замкнутости системы могут служить высокие концентрации P_2O_5 (до 2 %) в форме апатита [2], установленные в этих метасоматитах.

Формирование пропиловых метасоматитов проходило вокруг эпидот-микроклин-кварцевого прожилкования как в пределах габброидного штока, так и за его пределами, что указывает на достаточно высокую степень открытости системы с показателем $\Sigma PZЭ_N=7,2$.

Березиты на месторождении образуют как самостоятельные тела вне интрузива, так и сопровождающие оторочки кварцевых жил и прожилков в теле габброидного штока. Следовательно, в этот этап метасоматоза система характеризовалась максимальной открытостью и $\Sigma PZЭ_N=3,8$.

Другим доказательством открытости системы могут служить положительные Eu аномалии на нормированных по эдукту кривых распределения РЗЭ. По мнению [10], возникновение таких аномалий возможно при дегазации флюидной системы на фоне понижения давления в обогащенных хлором системах.

В пределах *Кызыловского рудного поля* изучено вертикальное распределение РЗЭ в верхней части 9 рудного тела месторождения Бакырчик. Пробы для аналитических исследований отбирались в карьере № 3 (горизонт +405 м), скважинах 8—25 и 6—25 подземного бурения разведочной линии № 25 (горизонт + 288 м условно) и в орте 19 (горизонт +254 м, 19 разведочная линия). Вертикальный размах опробования составил около 120 м, по падению рудного тела более 250 м (рис. 3). Неизменные алевропесчаники отбирались на поверхности на удалении 8...10 км от месторождения в блоках не затронутых гидротермальными процессами.

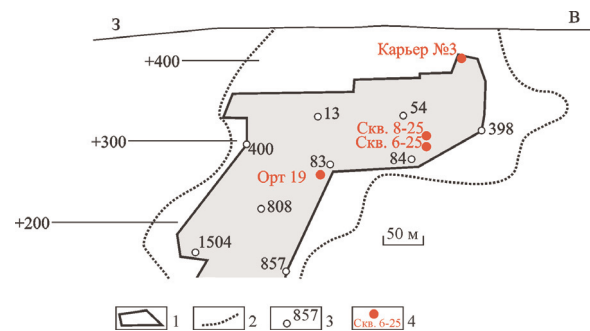


Рис. 3. Проекция рудного тела № 9 месторождения Бакырчик на вертикальную плоскость с местами отбора проб для исследования распределения РЗЭ: 1) контур учтенных запасов по категории C_2 по состоянию на 1980 г (по данным Алтайской геологоразведочной экспедиции); 2) контур выклинивания рудного тела; 3) проекции пересечения рудного тела разведочными скважинами; 4) места отбора проб

Рудные тела месторождения представляют собой березиты или интенсивно березитизированные породы с тонкой неравномерной вкрапленностью пирита и арсенопирита, которые сопровождают маломощные кварцевые жилы и прожилки. В таких образованиях постоянно присутствуют кварцшунгитовые выделения различной морфологии.

Средние содержания РЗЭ на опробованных горизонтах, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средние содержания РЗЭ в 9 рудном теле месторождения Бакырчик, г/т

Элементы	Горизонты, м			Неизменные алевропесчаники (3)
	+405 (3)	+288 (5)	+254 (4)	
La	23	15	12	15
Ce	51	35	28	31
Pr	6,8	4,1	3,5	4,1
Nd	23	17	14	17
Sm	5,2	3,8	2,8	3,3
Eu	1,3	1,2	0,9	0,9
Gd	4,4	3,3	3,0	3,3
Tb	0,8	0,4	0,4	0,5
Dy	2,7	2,4	2,0	2,2
Ho	0,6	0,5	0,4	0,5
Er	1,6	1,2	1,1	1,5
Tm	0,3	0,2	0,2	0,2
Yb	1,3	1,3	1,1	1,6
Lu	0,4	0,2	0,2	0,2
ΣРЗЭ	122	86	70	81
La _N /Yb _N	11,94	7,71	7,52	6,33
La _N /Sm _N	2,78	2,43	2,85	2,91
Gd _N /Yb _N	2,74	2,03	2,19	1,64
Eu/Eu*	0,83	0,99	0,98	0,87
Ce/Ce*	1,08	1,11	1,11	1,00

В скобках – количество проб.

Уровень концентраций РЗЭ в золотых рудах колеблется от 70 до 122 г/т, при этом максимально обогащенными оказываются руды верхних горизонтов. На всех горизонтах установлено преобладание легких лантаноидов над тяжелыми и промежуточными, и промежуточными над тяжелыми. Европиевая аномалия на всех горизонтах слабо отрицательная. При этом ее величина увеличивается по восстанию рудного тела, что свидетельствует об относительном «окислении» металлоносного флюида за счет его взаимодействия с поровыми растворами вмещающих пород. Цериевая аномалия относительно слабо положительная.

Нормирование содержания РЗЭ на эдукт позволяет выявлять участки относительного привноса/выноса элементов. Так, нормирование РЗЭ на неизменные алевропесчаники показал (рис. 4) относительный вынос всех РЗЭ с горизонта +254 м, частичный вынос с горизонта +288 м, и фиксация всех элементов на верхнем горизонте +405 м. При этом отчетливо фиксируются относительные уровни накопления легких РЗЭ на горизонте +405 м, промежуточных на горизонте +288 м, тяжелых на горизонте +254 м (табл. 2).

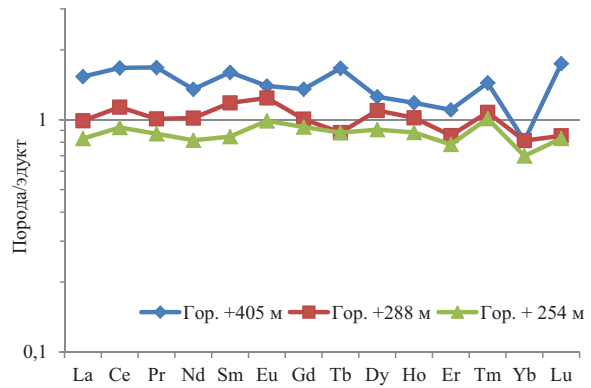


Рис. 4. Распределение РЗЭ в рудах месторождения Бакырчик. 9-е рудное тело

Наиболее отчетливо зональное распределение РЗЭ в рудном теле можно проследить на трехкомпонентной диаграмме $\Sigma(La-Nd) - \Sigma(Sm-Ho) - \Sigma(Er-Lu)$ (рис. 5).

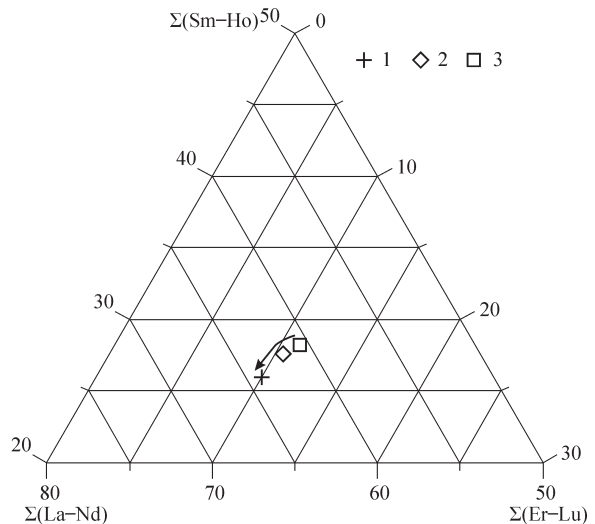


Рис. 5. Диаграмма $\Sigma(La-Nd) - \Sigma(Sm-Ho) - \Sigma(Er-Lu)$ для 9 рудного тела месторождения Бакырчик. Горизонты: 1) +405; 2) +288; 3) +254 м. Стрелкой показана эволюция составов редкоземельных элементов

Такая вертикальная дифференциация РЗЭ в рудном теле вероятно обусловлена гравитационным фактором, а невысокие различия в концентрациях лантаноидов на разных горизонтах вероятно указывают на значительный вертикальный размах процесса, сформировавшего рудные тела месторождения.

В пределах **рудного поля Эсне** известны жильные месторождения золота. Изучено распределение РЗЭ в березитах, сопровождающих жилу Северную (рис. 6, табл. 3). Детальная характеристика таких березитов приведена в [2, 5].

Для всех изученных проб выявлено преобладание легких лантаноидов над промежуточными и тяжелыми и промежуточных над тяжелыми (табл. 3).

Суммы всех РЗЭ в березитах лежат в пределах 41...63 г/т. При этом минимальные концентрации

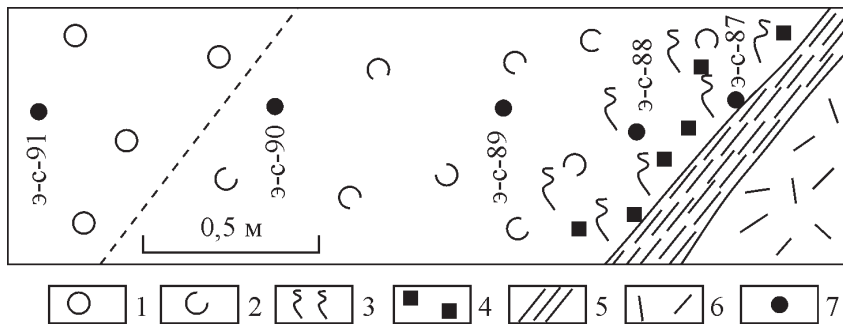


Рис. 6. Схема опробования березитов жилы Северной рудного поля Эспе (горизонт +60 м, орт 32, северная стенка). 1) конгломераты буконьской свиты; 2) апоконгломератовые березиты; 3) зона интенсивного развития карбонатных прожилков; 4) вкрапленность пирита, реже арсенопирита; 5) пачка полосчатого кварца; 6) кварцевая жила; 7) места отбора проб и их номера

элементов обнаруживаются во фронтальной части метасоматической колонки, а максимальные – в тыловой, что свидетельствует о привносе РЗЭ в березиты в метасоматическом процессе. Также закономерно меняются и суммы легких, промежуточных и тяжелых лантаноидов – максимальные концентрации обнаруживаются в тыловой зоне, а минимальные – во фронтальной. Соотношение легких, промежуточных и тяжелых лантаноидов позволяет говорить о дифференциации РЗЭ в метасоматической колонке: доля легких лантаноидов максимальна во фронтальной части колонки, а тяжелых – в тыловой. Такое распределение РЗЭ, по мнению [11], мог обеспечить только калиевый метасоматоз.

Таблица 3. Содержания РЗЭ в березитах жилы Северной, г/т (по результатам ИНАА)

№ проб	э-с-87	э-с-88	э-с-89	э-с-90	э-с-91
La	19	15	14	13	14
Ce	33	29	28	23	26
Sm	6,5	4,3	3,3	2,9	4,3
Eu	1,4	1,2	1,2	1,0	1,2
Tb	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
Yb	2,5	2,4	2,3	1,4	1,6
Lu	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
ΣРЗЭ	63	52	49	41	48
ΣЛРЗЭ _N /ΣТРЗЭ _N	4,15	3,73	3,85	6,78	5,53
ΣЛРЗЭ _N /ΣПРЗЭ _N	1,53	1,67	1,89	1,95	1,72
ΣПРЗЭ _N /ΣТРЗЭ _N	2,71	2,23	2,04	3,47	3,21
Eu/Eu*	0,86	0,95	1,05	1,06	0,98
Ce/Ce*	0,80	0,92	0,94	0,87	0,86

Изучено распределение РЗЭ во внутренних зонах березитов по восстанию ж. Северной на трех горизонтах – +60, +180 и +240 м (табл. 4, рис. 7).

Проведенные исследования показывают преобладание легких лантаноидов над промежуточными и тяжелыми на всех горизонтах. Суммы всех групп РЗЭ в березитах незначительно увеличиваются по восстанию жилы с 58 г/т на горизонте +60 м до 67 г/т на горизонте +240 м. При этом концентрации легких лантаноидов в березитах ра-

стут по восстанию жилы, содержания промежуточных и тяжелых обнаруживают тенденцию к незначительному снижению. Соотношение сумм легких, промежуточных и тяжелых РЗЭ в березитах увеличивается по восстанию жилы, причем наиболее контрастно меняется соотношение легких и тяжелых лантаноидов. Нормирование лантаноидов на эдукт показало, что на всех горизонтах наблюдается их фиксация.

Таблица 4. Средние содержания РЗЭ в апоконгломератовых березитах жилы Северная, г/т

Горизонт (кол-во проб)	+60 м (5)	+180 м (3)	+240 м (4)	Вмещающие конгломераты (4)
La	16,6	17,3	19,8	16,6
Ce	31,0	32,6	38,2	31,5
Sm	5,1	4,9	4,7	4,7
Eu	1,6	1,5	1,5	1,4
Tb	0,7	0,6	0,5	0,5
Yb	2,5	2,6	2,3	2,1
Lu	0,4	0,3	0,2	0,2
ΣРЗЭ	58	60	67	57
ΣЛРЗЭ _N /ΣТРЗЭ _N	3,7	4,4	6,5	5,9
ΣЛРЗЭ _N /ΣПРЗЭ _N	1,5	1,6	2,0	1,8
ΣПРЗЭ _N /ΣТРЗЭ _N	2,5	2,7	3,2	3,3
Eu/Eu*	0,98	0,98	1,00	0,99
Ce/Ce*	0,86	0,88	0,93	0,89

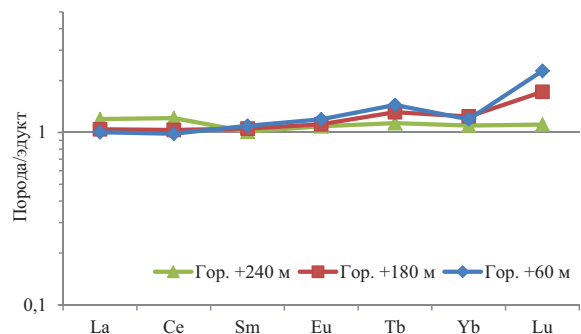


Рис. 7. Распределение средних содержаний РЗЭ в березитах жилы Северной на горизонтах +60...+240 м

На рис. 8 приведены кривые распределения средних содержаний РЗЭ в березитах Баладжальского, Бакырчикского и Эспинского месторождений. Анализ кривых показывает, что березиты изученных месторождений обладают весьма близкими параметрами распределения, что вероятно обусловлено единой природой флюидов.

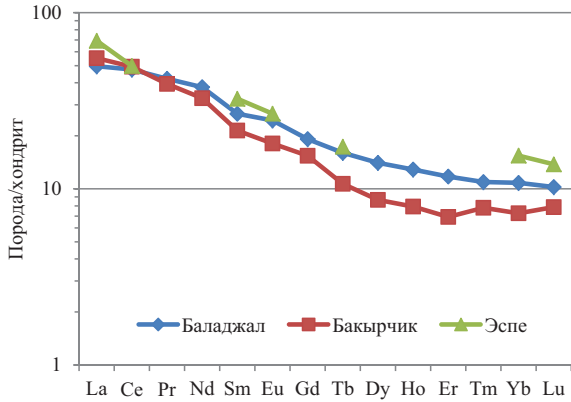


Рис. 8. Кривые распределения средних содержаний РЗЭ в березитах Баладжальского, Бакырчикского и Эспинского месторождений

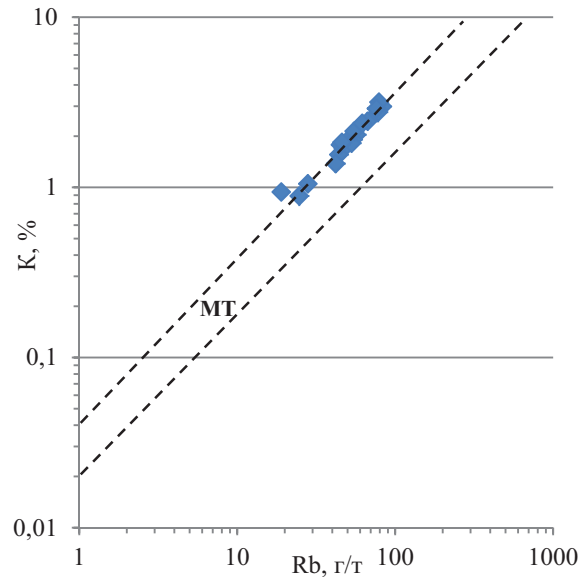


Рис. 10. Отношение К к Rb для березитов золоторудных месторождений Западной Калбы. МТ – главный тренд изверженных пород [12]

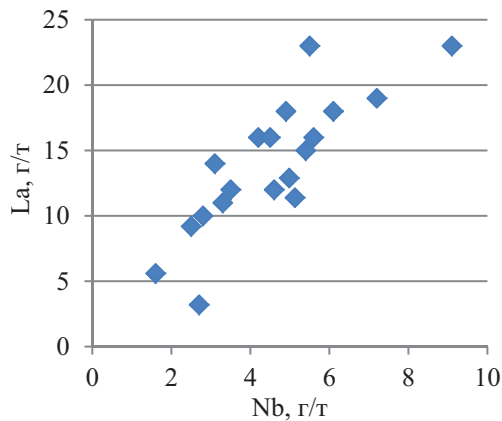
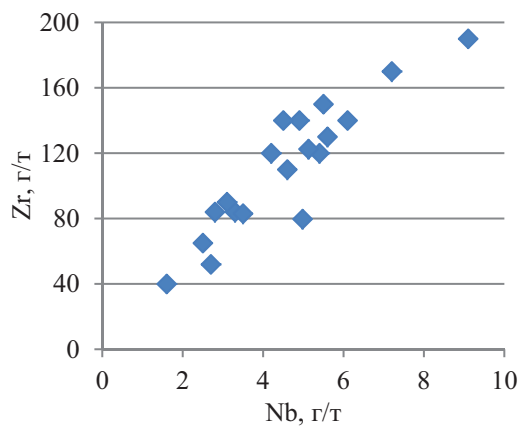
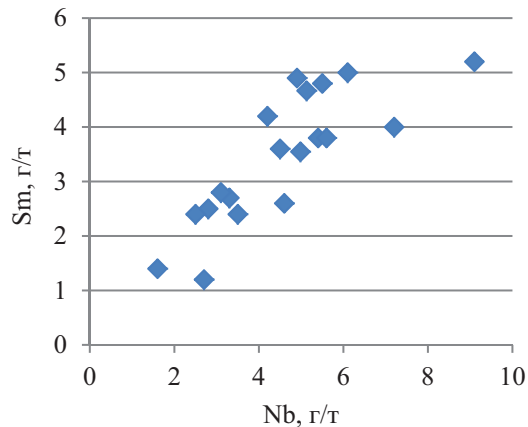
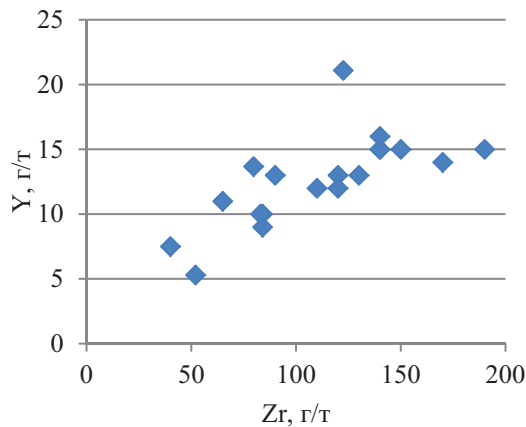


Рис. 9. Двухкомпонентные диаграммы некогерентных элементов для березитов золоторудных месторождений Западной Калбы

Другим свидетельством единой природы гидротермальных флюидов могут служить закономерности распределения некогерентных элементов. Концентрации некогерентных элементов в березитах золоторудных месторождений определяются следующими факторами: содержанием во флюиде, температурой разгружающего флюида, рН флюида, степенью окисленности флюидной системы. На бинарных диаграммах некогерентных элементов Y–Zr, Sm–Nb, Zr–Nb, La–Nb (рис. 9) для березитов изученных месторождений четко выделяется единый тренд.

На природу гидротермальных металлоносных флюидов могут указывать особенности распределения K и Rb [9]. Так, на диаграмме K–Rb (рис. 10) фигуративные точки березитов полностью соответствуют главному магматическому тренду, что можно считать косвенным подтверждением магматогенного происхождения флюидов.

Выводы

1. Формирование всех типов метасоматитов на золоторудных месторождениях Западной Калбы (Восточный Казахстан) протекает с изменением концентраций редкоземельных элементов.
2. Выделенные типы метасоматитов характеризуются преобладанием легких лантаноидов над промежуточными и тяжелыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробейников А.Ф., Масленников В.В. Закономерности формирования и размещения месторождений благородных металлов в черносланцевых толщах Северо-Восточного Казахстана. – Томск: Изд-во ТГУ, 1994. – 337 с.
2. Ананьев Ю.С., Коробейников А.Ф. Метасоматизм и благороднометалльное оруденение в черносланцевых толщах Западной Калбы. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 206 с.
3. Антонов Ю.А. О некоторых структурно-литологических факторах контроля золотого оруденения месторождения Большевик в Восточном Казахстане // Геология и охрана недр. – 2010. – Т. 35. – № 2. – С. 15–26.
4. Evensen N.M., Hamilton P.J., O’Nions R.K. Rare earth abundances in chondritic meteorites // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1978. – V. 42. – № 8. – P. 1199–1212.
5. Ананьев Ю.С. Метасоматические процессы в черносланцевых толщах Западной Калбы // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 3–8.
6. Bau M., Moller P. Rare element systematics of the chemically precipitated in early Precambrian iron formations and evolution of the terrestrial atmosphere-hydrosphere-lithosphere system // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1993. – V. 57. – № 10. – P. 2239–2249.
7. Bau M. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significance of the oxidation state of europium // Chemical Geology. – 1991. – V. 93. – № 3–4. – С. 219–230.
8. Ghaderi M., Palin M., Campbell I.H., Sylvester P.J. Rare earth element systematics in scheelite from hydrothermal gold deposits in the Kalgoorlie-Norseman region, Western Australia // Econ. Geol. – 1999. – V. 94. – № 3. – P. 423–438.
9. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49. – № 2. – С. 99–145.
10. Луканин О.А., Дернов-Пегарев В.Ф. Основные факторы, определяющие появление европиевой аномалии во флюидах, образующихся при дегазации гранитных магм, вызванной снижением давления // Электронный научно-информационный журнал «Вестник отделения наук о Земле РАН». № 1 (27). 2009. URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1–2009/informbul-1_2009/magm-24.pdf (дата обращения: 21.02.2012).
11. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 267 с.
12. Shaw D.M. A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1968. – V. 32. – № 6. – P. 573–601.
3. Околожильная латеральная зональность определяется максимальной долей легких лантаноидов во фронтальной, а тяжелых – в тыловой зоне метасоматической колонки.
4. На месторождениях устанавливается вертикальная (осевая) зональность в распределении РЗЭ – доля легких лантаноидов максимальна в верхних частях рудных тел, а тяжелых – в нижних.
5. Однотипные закономерности распределения РЗЭ в березитах прожилково-вкрапленных и жильных месторождениях указывают на их генетическое единство.
6. Устанавливаются три типа распределения лантаноидов в березитах золоторудных месторождений Западной Калбы: 1) вынос всех лантаноидов в габброидах на уровне формирования вкрапленных руд; 2) перераспределение в черносланцевых толщах на уровне прожилково-вкрапленных руд; 3) фиксация в черносланцевых толщах на уровне формирования жильных тел.
7. Березиты изученных золоторудных месторождений имеют единую природу. При этом предполагается магматогенный источник образовавших их флюидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российскойского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-00115) и Томского политехнического университета (проект 1.75.2012).

Поступила 19.03.2012 г.