

УДК 550.4:552.11:553.3/4

## НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ОСОКИНСКО-БАТУНКОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ СЕВЕРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И., Табакаева Е.М.

*Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина,  
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены новые по минералогии и геохимии руд Осокинского-Батунковского рудного поля Северного Алтая. Впервые выявлены иттрий-торит и торбернит в рудах Осокинского месторождения. Установлены повышенные содержания в рудах и минералах Au, Sc, Y, Dy, Ho, Er, U. В минералах проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М- типа при не соблюдении заряд-радиус-контролируемого поведения химических элементов. Максимальные значения ТЭФ РЗЭ М- типа характерны для условий повышенной кислотности среды минералообразования. Генерация оруденения осуществлялась при наложении процессов от верхнего девона до мел-эоценовой тектоно-термальной активизации мантийных процессов.

**Ключевые слова:** грейзены, скарны, кварц, мусковит, иттрий-торит, торбернит, золото, редкие земли, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, мультэтапное рудообразование

## NEW DATA ON MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF OSOKINSKO-BATUNKOVSKOE ORE FIELD OF NORTHERN ALTAI

Gusev A.I., Tabakaeva E.M.

*The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

New data on mineralogy and geochemistry of ores Osokinsko-Batunkovskoe ore field of Northern Altai lead. At the first reveal yttrium-thorite and torbernite in ores of Osokinskoe deposit. The high contents of in ores and minerals arranged Au, Sc, Y, Dy, Ho, Er, U. The tetradic effect fractionation (TEF) of rare earth elements (REE) M-type display at do not observance charge-radius-control behavior of chemical elements. The maximum values of TEF REE M-type characterized for conditions of the high acidic environment of mineral formation. Generation of ore mineralization realized at collecting processes from Last Devonian to Cretaceous-Eocene tectono-thermal activation of mantle processes.

**Keywords:** greisen, skarn, quartz, muscovite, yttrium-thorite, torbernite, gold, rare earth elements, tetradic effect fractionation of REE, multy-stage ore mineralization

К числу наиболее перспективных месторождений относятся комплексные объекты в формировании которых совмещены этапы минералообразования, связанные с разновозрастными интрузивными комплексами [1, 2]. К таким районам относится восточная часть Белокурихинского рудного района, где совмещены позднедевонские гранитоиды усть-беловского комплекса Макарьевского ареала и заключительные фазы лейкогранитов Осокинского массива раннего триаса [5]. Первый из них несёт металлогеническую нагрузку в виде жильных медно-золоторудных, медных и медно-золото-порфирировых типов оруденения. Второму свойственно исключительно редкометалльное оруденение в скарнах, пегматитах и грейзенах – W, Mo, Be, Ta, Nb, Sc, редких земель. Кроме того, Осокинский-Батунковское рудное поле попадает в зону влияния мел-эоценовой Искровско-Белокурихинской зоны, связанной с мантийной тектоно-термальной активизацией. *Цель исследования* – изучить минералогию и геохимию месторождений Осокинского-Батунковского рудного поля, где совмещены разновозрастные типы оруденения разных тектоно-магматических циклов. Актуальность исследований не вызывает со-

мнений, так как здесь совмещены наиболее востребованные в настоящее время металлы – Au, Sc, W, Mo, редкие земли.

### Результаты исследования и их обсуждение

Несколько месторождений, проявлений и пунктов минерализации молибден-вольфрамовой кварцевой и предположительно молибден-вольфрамовой скарновой рудных формаций сконцентрированы на восточном ограничении Белокурихинского вольфрам-молибден-редкометалльного рудного района. Здесь известны Батунковское и Осокинское месторождения, а также Щемилковское проявление, образующие Осокинский-Батунковское рудное поле [1].

*Батунковское месторождение* локализовано в экзоконтактовой зоне Осокинского гранитного массива среди грейзенизированных гранодиоритов усть-беловского комплекса. Оруденение контролируется региональной субширотной тектонической зоной, прослеживающейся от Осокинского месторождения в восточном направлении. Протяженность зоны окварцевания 950 м при мощности 50-150 м и насыщенности жилами кварца в объёме 15-20%. Жилы часто ветвятся, вы-

клиниваются и имеют грейзеновые оторочки (2-5 см), в пустотах отмечается горный хрусталь. Рудные минералы – вольфрамит (гюбнерит), шеелит, пирит, реже молибденит, висмутин, бисмутит. Среднее содержание  $WO_3$  в рудной массе – 1,46%. Наиболее крупные и богатые жилы находятся на Западном участке. Для менее эродированных Восточного и Центрального участков характерны мелкие кварцевые жилы, обогащенные пиритом (до 3%), турмалином, полевым шпатом и флюоритом, но с бедным оруденением вольфрама. Запасы  $WO_3$  на 1.01.2006 г. составляли: по категориям В – 14,5 т;  $C_1$  – 34,5 т;  $C_2$  – 36 т; при среднем содержании – 0,94%. Поисковыми работами, проведенными на прилегающей площади выявлены шлиховые ореолы шеелита, вольфрамита, высоко аномальные вторичные и первичные геохимические ореолы, позволяющие считать перспективы месторождения на глубину и на фланги более значительными. Прогнозные ресурсы  $WO_3$  категории  $P_2$  до глубины 200 м оцениваются в 2000 т. Обращают на себя внимание высокие (до 300 г/т) содержания в жилах серебра. На южном фланге месторождения жильные зоны окварцевания с пиритом нескольких генераций локализируются среди черносланцевых образований куяганской свиты, где определены содержания золота от 0,9 до 3,5 г/т [5, 6]. Эти зоны необходимо проследить в южном направлении и детально опробовать на золото.

*Осокинское месторождение* находится в эндоконтактовой зоне Осокинского гранитного массива среди грейзенизированных гранитов белокурухинского комплекса. Месторождение вытянуто в субширотном направлении на 2,5 км при ширине 0,5 км. При переходе вольфрамит-кварцевых жил из гранитов в сланцевую кровлю и скарнированные известняки девона жилы ветвятся и выклиниваются. Главными рудными минералами являются вольфрамит и висмутин, образующие крупные кристаллы (до 10-12 см) и гнезда (до 20×30 см), неравномерно распределенные в кварцевых жилах; подчиненное значение имеют пирит, висмутин, молибденит, шеелит, отмечается дымчатый горный хрусталь (до 3 см в длину). Впервые нами обнаружен в дымчатом кварце торит, образующий зёрна размерами от 0,5 до 1,6 мм. оранжевого цвета. Он ассоциирует с мелкими выделениями торбернита. По содержаниям редкоземельных элементов торит может быть отнесён к разновидности иттрий-торита. В дымчатом кварце с торитом и торбернитом содержания уран достигают 0,2%. Зальбанды кварцевых жил грейзенизированы (до 40 см), содержат молибденит (Мо – до 0,026%). Наибольший интерес представляют 6 жил со средними со-

держаниями (%):  $WO_3$  – 0,2-1; Bi – 0,02-0,12; Мо – до 0,16. Запасы  $WO_3$  составляют (т): балансовые категории В – 14,  $C_1$  – 40,  $C_2$  – 3 при среднем содержании  $WO_3$  – 0,9% и забалансовые – 150 т. при среднем содержании  $WO_3$  – 0,5%. Прогнозные ресурсы категории  $P_2$  оцениваются в 2,8 тыс. т.  $WO_3$  и 0,1 тыс. т. Мо.

*Щемиловское проявление* приурочено к кровле Осокинского гранитного массива, сложенной вулканогенно-осадочными и карбонатными образованиями девона и прорванной дайкообразными апофизами гранитов. Контакты пологие (около 20° к югу). Вмещающие породы интенсивно ороговикованы, скарнированы, грейзенизированы, альбитизированы и эпидотизированы. Линейные и линзовидные тела везувиановых и гранат-везувиановых скарнов развиты на площади 0,9×0,4 км; мощность скарных тел до 60 м, падение их юго-восточное под  $\angle$  60–80°. Шеелит образует мелкую вкрапленность, гнезда и тонкие прожилки в окварцованных скарнах, подчиненное значение имеют висмутин, молибденит, касситерит, пирит, апатит, флюорит. Установлена прямая зависимость между степенью окварцевания и содержанием шеелита в рудах. В скарнах выделено 11 рудных тел со средним содержанием  $WO_3$  0,1-1,12%, мощностью 0,1-3,0 м и протяженностью 60-100 м. В рудах установлены повышенные содержания (%): Li – до 0,1; Be – до 0,079; Bi – до 0,107; Sn, Nb – до 0,02; Mo, Zn – до 0,03; Cu – до 0,05; Au – до 0,2-1,0 г/т; Ag – до 400 г/т. Прогнозные ресурсы категории  $P_2$  до глубины 200 м оцениваются в 1180 т  $WO_3$ , бериллия – 155 т (при среднем содержании 0,01%), лития – 1203 т (0,03%). Прогнозные ресурсы  $WO_3$  всей скарновой зоны категории  $P_2$  составляют 5900 т. Общие прогнозные ресурсы категории  $P_2$  Осокинского-Батунковского рудного поля оценены в 52605 т  $WO_3$  и 1000 т бериллия. На площади Осокинского-Батунковского вольфрам-редкометалльного рудного поля установлены зоны грейзенизации мощностью до 300 м, вмещающие кварцевые жилы мощностью до 0,3 м с вкрапленностью молибденита, шеелита и висмутина, содержащие  $WO_3$  до 0,28%, Мо – до 0,15%, Bi – до 0,13%, а также скарнированные породы с шеелитом и бисмутитом. Перспективность Осокинского-Батунковского вольфрам-редкометалльного рудного поля Белокурухинского рудного района подчеркивается наличием шлиховых ореолов шеелита в ассоциации с вольфрамитом, торитом, включающих геохимические аномалии по коренным и рыхлым породам вольфрама, молибдена, висмута, меди, золота, а также точечные аномалии молибдена с содержанием до 0,1% и единичными пробами окварцованных сланцев с концентрациями золота от 0,9 до 3,5 г/т.

## Химический состав минералов Осокинско-Батунковского рудного поля (в г/т)

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Be	6,8	10	12	23,5	15,5	8,1	10	15	8
Ti	20,3	800	750	1820	17,5	105	659	3000	3005
V	4,3	20	23	76,5	4,7	33	6,6	80	31
Cr	15,2	1,8	1,9	45,2	5,5	7,3	5,1	15	6,5
Mn	85,4	10000	10300	2650	123	13932	132	400	62
Co	0,32	1,8	1,9	2,5	0,6	7,4	0,7	8	3,4
Ni	11,8	60	63	5,4	1,2	2,9	1,1	10	8,6
Cu	47,4	30	25	30,6	35,6	28,0	23,6	20	10,5
Zn	32,7	1,5	1,9	132,3	7,7	226	8,0	102	2,7
Ga	45,2	8,6	9,6	135,4	13,8	10,5	14,5	8,4	2,3
Rb	1195	2,9	4,9	1565	2,6	4,7	3,0	1450	905
Sr	7,7	50	55	345	505	67	125	5000	1004
Y	0,72	104	110	5,9	302	35,2	987	3	4,6
Zr	4,2	55,5	65,1	220	17,8	35,8	127	189	167
Nb	1,18	4500	4350	128,6	5,1	95,9	8,9	105	65
Mo	1,05	135	123	205	58,9	51,7	60,2	2,8	1,6
Cs	2,11	200	207	314,5	12,7	7,3	13,5	13,7	8,9
La	0,64	0,19	0,29	2,05	29,5	48,9	30,7	3,3	4,8
Ce	1,25	0,5	0,9	4,9	105	97,3	112	5,4	7,9
Pr	0,14	0,13	0,12	0,43	22,6	15,0	31	0,44	0,8
Nd	0,41	0,38	0,98	1,58	118	56,3	129	1,6	2,2
Sm	0,14	0,05	0,07	0,45	91,4	14,58	216	0,5	1,2
Eu	0,04	0,06	0,05	0,06	6,2	1,209	6,9	0,1	0,5
Gd	0,09	0,096	0,96	0,56	86,1	8,4	154	0,6	1,3
Tb	0,03	0,047	0,87	0,13	28,5	1,52	43	0,12	0,7
Dy	0,12	0,32	0,42	0,78	203,6	8,8	855	0,8	1,9
Ho	0,04	0,11	0,11	0,17	33,2	1,74	168	0,18	0,6
Er	0,065	0,4	0,5	0,5	96,8	5,5	322	0,55	0,7
Tm	0,009	0,13	0,14	0,1	25,2	1,16	87	0,2	0,6
Yb	0,08	1,41	1,7	0,7	175	10,1	456	1,2	5,6
Lu	0,009	0,24	0,23	0,11	24,6	1,84	65	0,2	0,4
Hf	0,25	2,58	3,6	6,5	2,7	0,52	16,9	7,4	6,6
Ta	1,3	405	415	30,7	1,3	2,36	2,8	28,6	14,7
W	4,6	-	-	193	350	-	238	2,5	2,2
Pb	13,9	300	250	845	20,7	10,99	27	10,4	15,6
Th	0,22	13,66	12,1	1,5	45,9	3,59	-	2,4	2,8
U	0,12	56,4	46,4	0,9	2,5	35,73	-	0,8	0,9
Ag	0,1	0,1	0,2	0,2	1,0	0,5	0,9	0,05	0,06
Sn	10,2	15	14	32	19,6	15,2	29,7	5,4	5,5
Sc	5,6	657	759	11	21,5	685	45,8	1,6	2,4
∑РЗЭ	3,06	109,3	117,3	18,4	1348	307,55	3662,6	18,2	33,8
La/Sm <sub>N</sub>	2,78	2,3	2,6	2,8	0,2	2,06	0,087	4,04	2,45
La/Yb <sub>N</sub>	5,26	0,09	0,11	1,93	0,11	3,19	0,044	1,81	0,57
Y/Ho	18,0	945	1000	34,7	9,1	20,2	5,9	16,7	7,7
Sr/Y	10,69	0,48	0,5	58,5	1,7	1,9	0,12	1666	218
U/Th	0,54	4,12	3,83	0,6	0,05	9,95	-	0,33	0,32
Zr/Hf	16,8	21,5	18,1	33,8	6,6	68,8	7,5	25,5	25,3
Eu/Eu*	1,04	2,6	0,34	0,37	0,21	0,3	0,11	1,17	1,23
TE <sub>1,3</sub>	1,13	1,32	1,45	1,14	1,36	1,04	1,32	0,98	1,26

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории ОИГиМ СО РАН (г. Новосибирск) методом ICP-MS и в Лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). ∑РЗЭ – сумма редкоземельных элементов. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов, как среднее между первой и третьей тетрадами по [11]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. Значения РЗЭ нормированы относительно хондрита по [9]. Осокинское месторождение: 1 – флюорит, 5 – кварц льдистый, 6 – вольфрамит, 7 – торит; Щемиловское проявление: 2 – 3 – вольфрамит, 4 – мусковит, 8, 9 – везувиан.

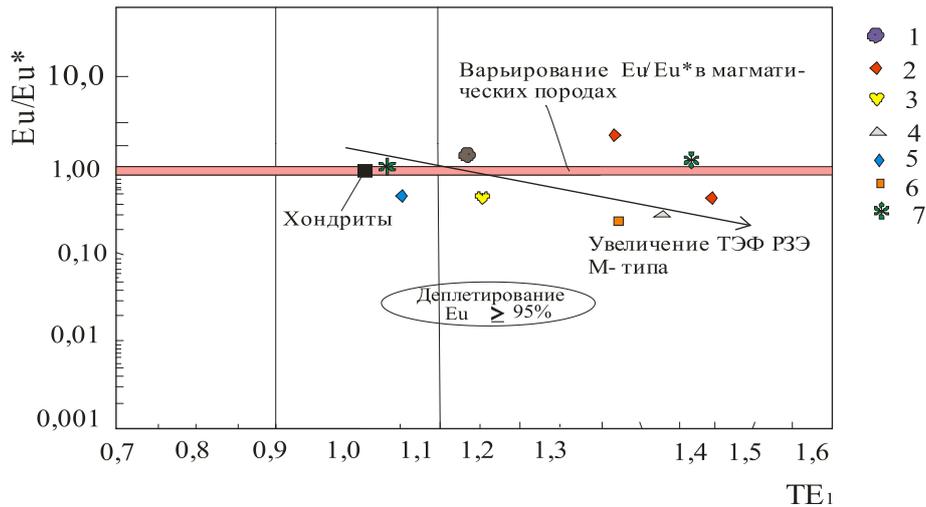


Рис. 1. Диаграмма соотношений  $Eu/Eu^* - TE_{1,3}$  в минералах Осокинско-Батунковского рудного поля (составлена автором с учётом данных [12]). Минералы Осокинско-Батунковского рудного поля: Осокинское месторождение: 1 – флюорит, 5 – вольфрамит, 4 – кварц льдистый, 6 – торит; Щемилловское месторождение: 2 – вольфрамит, 3 – мусковит, 7 – везувиан

Химические составы минералов месторождений приведены в таблице. Характерной особенностью вольфрамитов Щемилловского месторождения являются высокие концентрации ниобий (4350-4500 г/т), тантала (405-415 г/т), скандия (657-759 г/т), превышающие ферсмы для вольфрамитов из грейзенов по [8]. Для мусковита этого же месторождения свойственны повышенные концентрации бериллия, ниобия цезия, тантала. Вольфрамит Осокинского месторождения характеризуется повышенными концентрациями не только скандия, превышающие ферсм этого элемента в вольфрамите, но и суммой редкоземельных элементов. Наибольшие суммарные концентрации РЗЭ отмечены в «льдистом» тёмно-сером кварце и иттрий-торите. Следует отметить, что наибольшие концентрации РЗЭ наблюдаются в минералах с высокой кислотностью (кварцу, вольфрамиту, ториту) по [7].

Обнаружение иттрий-торита и торбернита в кварце Осокинского месторождения предполагает участие в формировании руд и более поздних гидротермальных процессов, связанных с мел-эоценовой тектоно-термальной активизацией, генерировавшей урановое оруденение в этом районе. Возраст уранового оруденения Белокурихинского типа в Искровско-Белокурихинской зоне, расположенной севернее, по изотопно-свинцовым данным от 91 до 38 млн лет (т.е. от верхнего мела до эоцена), в среднем – 78 млн лет. Эта мантийная тектоно-термальная активизация связана с разломной тектоникой в области перехода от Бийско-

Барнаульской впадины к горно-складчатому сооружению Алтая [3, 4], куда попадает и Осокинско-Батунковское рудное поле. В минералах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М- типа (граничное значение превышает 1,1) и варьирует в разных минералах от 1,13 до 1,45, обусловленный активностью фтор-комплексов в гидротермальных растворах. При этом происходят значительные изменения соотношений различных элементов (таблица). Особенно заметно изменение соотношений  $Eu/Eu^*$ . На диаграмме соотношений  $Eu/Eu^* - TE_{1,3}$  видно, что деплетирование европиевого соотношения происходит с увеличением величины ТЭФ РЗЭ (рис. 1). На пике тренда увеличения ТЭФ РЗЭ находятся минералы с наибольшей кислотностью – торит, вольфрамит, кварц.

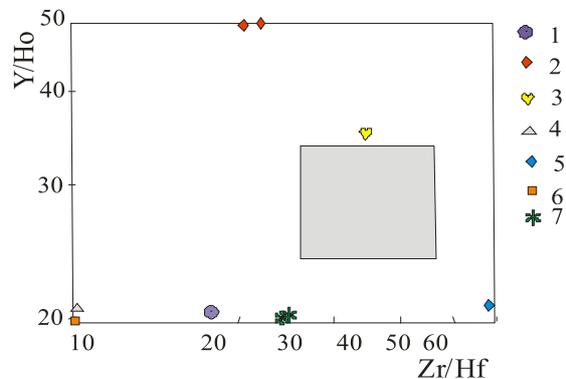


Рис. 2. Диаграмма соотношений  $Zr/Hf - Y/No$  для минералов Осокинско-Батунковского рудного поля

На диаграмме соотношений Zr/Hf – Y/Но фигуративные точки составов минералов не попадают в поле заряд-радиус-контролируемого поведения элементов (рис. 2).

Серым фоном на рисунке показано поле HARAC (CHARge-and-Radius-Controlled) по [10]. Остальные условные на рис. 1.

### Заключение

Таким образом, впервые в рудах Осокинского месторождения обнаружен иттрий-торит, торбернит и высокие концентрации редких земель (особенно иттрия, гольмия, диспрозия, эрбия), урана, а в рудах Батунковского месторождения – промышленные содержания золота. В минералах руд Осокинского и Щемилковского месторождений в повышенных количествах содержатся также ниобий, тантал и скандий. В итоге можно выстроить следующую последовательность мультстадийного формирования оруденения в рудном поле: 1 – наиболее ранний этап связан с глубинным очагом, формировавшим высоко-калиевые адакитовые гранитоиды Макарьевского ареала позднего девона, обремененного формированию золотого оруденения; 2 – максимально-продуктивный редкометалльно-редкоземельный этап связан с очагом, генерировавшим лейкограниты Осокинского штока раннего триаса; 3 – заключительный этап фиксируется в рудах Осокинского месторождения, где присутствуют иттрий-торит и торбернит, формирование которых связано с тектоно-термальной мел-эоценовой мантийной активизацией территории.

В минералах рудного поля проявлен ТЭФ РЗЭ М- типа, максимальные значения которого свойственны условиям повышенной кислотности среды. Минералобразование протекало в условиях сильной трансформации соотношений элементов

в гидротермальных растворах и не подчинения заряд-радиус-контролируемого поведения элементов.

### Список литературы

1. Гусев А.И. Минерагеня и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петрология и геохимия субвулканических тел Кумирского месторождения Горного Алтая // Геология и минеральные ресурсы Сибири, 2013. – № 1. – С. 64–70.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И. Геодинамика и металлогения мезозой-кайнозойского этапа Горного Алтая // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 8. – С. 60–65.
4. Гусев А.И., Гусев Н.И. Мел-эоценовая металлогения Горного Алтая // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту. – Иркутск, 2014. – С. 123–126.
5. Гусев А.И. Петрология и рудоносность высококальциевых адакитовых гранитоидов Макарьевского ареала Горного Алтая // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – 2015. – № 4 (24). – С. 67–76.
6. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. Петрология и золотоносность адакитовых гранитоидов усть-беловского комплекса Макарьевского ареала Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 10. – С. 81–91.
7. Жариков В.В. Кислотно-основные характеристики минералов // Геология рудных месторождений. – 1967. – № 5. – С. 75–89.
8. Иванов В.В., Белевитин В.В., Борисенко Л.Ф. и др. Средние содержания элементов-примесей в минералах. – М.: Недра, 1973. – 208 с.
9. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – P. 197–214.
10. Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // Contrib. Miner. Petrol. 1996. – V. 123. – P. 323–333.
11. 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. – P. 489–508.
12. Jahn B., Wu F., Capdevila R. et al. Highly evolved juvenile granites with tetrad REE patterns: the Wodue and Baerzhe granites from the Great Xing'an Mountains in NE China // Lithos. – 2001. – V. 59. – P. 171–198.