

УДК 550.4:551.2/3

ГЕОХИМИЯ РУД И МИНЕРАЛОВ ПЕГМАТИТОВОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ДАНИЛОВСКОГО (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

¹Гусев А.И., ²Гусев Н.И.

¹*Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет
им. В.М. Шукшина, Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru;*

²*Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ),
Санкт-Петербург, e-mail: nikolay_gusev@vsegei.ru*

В статье приведены геохимические составы руд, а также рудных и жильных минералов гранитных пегматитов Даниловского проявления: сфена, турмалина, микроклина, мусковита, кварца серого, монацита, циркона, апатита, граната, ксенотима. Редкометалльные пегматиты отнесены к семейству Nb > Ta-Y-F (NYF) и алланит (ортит)-монацитовому типу, обогащённому лёгкими РЗЭ. В отличие от аналогичных (NYF) пегматитов, имеющих связь с анорогенным А-типом пегматито-генерирующего магматизма, Даниловские пегматиты связаны с шшонитовым магматизмом, на заключительных этапах которого проявлены значительные объёмы лейкогранитовых дериватов. В минералах пегматитов (сфене, монаците, цирконе и гранате) проявлен М-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

Ключевые слова: редкометалльные пегматиты, геохимия, сфен, турмалин, микроклин, мусковит, кварц серый, монацит, циркон, апатит, гранат, ксенотим, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ

GEOCHEMISTRY OF ORES AND MINERALS OF PEGMATITE MANIFESTATION LANILOVSKOE (MOUNTAIN ALTAI)

¹Gusev A.I., ²Gusev N.I.

¹*The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru;*

²*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St Petersburg, e-mail: nikolay_gusev@vsegei.ru*

Geochemical compositions of ores and ore minerals, vein minerals of granitic pegmatites Danilovskoe manifestation lead in paper: spnen, tourmaline, microcline, muscovite, grey quartz, monazite, zircon, apatite, garnet, xenotime. Rare metal pegmatites carry to family Nb > Ta-Y-F (NYF) and allanite (orthite)-monazite type, reached light REE. The Danilovskoe pegmatites related with shoshonitic magmatism on the concluding stages of it display considerable volumes of leucogranites derivatives as against from analogic (NYF) pegmatites, having realation with anorogenic A-type pegmatite generation magmatism. M-type tetradic effect fractionation of REE demonstrated in minerals of pegmatites (spnen, monazite, zircon, garnet).

Keywords: rare metals pegmatites, geochemistry, spnen, tourmaline, microcline, muscovite, grey quartz, monazite, zircon, apatite, garnet, xenotime, tetradic effect fractionation of REE

Пегматиты имеют большое практическое значение, являясь источником разнообразных полезных ископаемых: керамического сырья (полевого шпат, кварц), электротехнического сырья (слюда), драгоценных и цветных камней (берилла, аквамарина, циркона и т.д.), рудных месторождений (бериллия, тантала, ниобия, редких земель) [1, 2]. Пегматиты являются источником получения металлов для изготовления высоко-технологичных материалов, таких как стеклокерамика электронные высоко-чувствительные фото-детекторы (Rb and Cs), высоко-прочные сплавы (Be, Nb, Ta), режущие материалы и свето-диодные лампы в электронных приборах (W) [4].

На севере Горного Алтая расположено пегматитовое проявление Даниловское, локализованное в области Белокурихинского гранитоидного плутона, относящееся к типу гранитных редкометалльных пегматитов. Проявление изучалось в прошлом веке и данные по нему устарели. *Целью ис-*

следования является получение новых данных по геохимии руд и составу минералов с использованием высокоточных методов анализа и более детальной расшифровкой содержаний всех редких и редкоземельных элементов в рудах и минералах Даниловского проявления. *Актуальность этого исследования* заключается в том, что в пределах Белокурихинского плутона в последнее время выявляются новые проявления пегматитов (Раиса, Берёзовое, Черновское и другие), требующих их оценки на весь комплекс полезных ископаемых и в особенности на редкие земли.

Результаты исследования и их обсуждение

Даниловское пегматитовое проявление расположено в истоках ручья Спирина, правого притока р. Даниловки, вблизи высотной отметки 683,8 м. Приурочено к экзоконтактовой части Осокинского мас-

сива, где отмечаются жилообразные тела альбит-микроклин-кварцевых пегматитов и аплит-пегматитов мощностью от 0,5 до 12 м и протяжённостью от нескольких десятков метров до 150 м. В мощных телах проявлена зональность с кварцевым ядром, крупно-блоковой частью и микропегматитовой оторочкой. К последней чаще всего и приурочена вкрапленность и гнезда монацита, ксенотима, ортита, тортвейтита, апатита, циркона (гиацинта). Помимо указанных минералов отмечены также мусковит, турмалин, гранат, сфен. Циркон чаще всего образует дипирамидальные формы и характеризуется осцилляционной зональностью. Для микроклина получены данные рентгеноструктурного анализа: $\Delta p = 0,859$; $\Delta Z = 0,838$; % Ort = 91,47; $t_{1o} = 0,889$; $t_{1m} = 0,0297$; $t_{2m} = t_{20} = 0,0405$. Данные анализа позволяют отнести его к максимальному микроклину. Состав калиевой фазы Ort 91Ab9, где ΔP – триклинная упорядоченность, ΔZ – моноклинная упорядоченность.

В рудах пегматитового проявления Даниловского установлены содержания пентоксида тантала до 0,238%, пентоксида ниобия – до 2%, а также урана – 0,1266%, тория – 0,639%, циркония – 3,0%, иттрия – 0,5%, церия – 0,15%, лантана – 0,4%. скандия – 2,0%, лития – 1,8%. В таких обогащённых металлами пегматитах обнаружены собственные редкоземельные минералы, к также сподумен.

Химический состав пегматитов Даниловского проявления приведены в табл. 1.

Обращают на себя внимание сильные колебания отношений лёгких РЗЭ к тяжёлым (нормированные отношения La/Yb_N) в рудных пегматитах, которые варьируют от 84,1 до 110,3, указывая на сильно дифференцированный тип распределения редкоземельных элементов. Сильная дифференциация химических элементов проявлена и для других элементов, что особенно хорошо демонстрируют индикаторные отношения, приведенные в табл. 1. Кроме того, в пегматитах проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (W и M), что связано с одновременным участием при генерации пегматитов многих летучих компонентов: F, Be, Li, H_2O , B_2O_3 и других.

Проанализирован химический состав минералов пегматитов, сведенный в табл. 2.

Обращают на себя внимание концентрации редкоземельных элементов в монофракциях монацита и ксенотима, приведенных в табл. 2. Следует отметить, что в указанных минералах помимо главных элементов (Y, La, Ce) в повышенных количествах присутствуют и тяжёлые РЗЭ – гадолиний, дис-

прозий, эрбий. В тоже самое время в апатите из пегматита Даниловского проявления установлены повышенные концентрации лёгких редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd), а также гадолиния и диспрозия. Апатит относится к фтор-apatиту с содержанием фтора 3,5%. При этом сумма РЗЭ в апатите сравнительно невысокая (349,75 г/т). Наиболее высокие концентрации суммы РЗЭ определены в монаците, ксенотиме и цирконе. Последний характеризуется также повышенными содержаниями гафния, тантала, ниобия, иттрия, скандия, тория и урана. Как в пегматитах, так и в минералах наблюдаются широкие вариации нормированных отношений La/Sm_N и La/Yb_N , указывающих на различные типы распределения РЗЭ. В отличие от пегматитов, в минералах их слагающих, проявлен только один тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ – M-тип. Значимые величины определены для сфена (1,3), монацита (1,35), циркона (3,32) и граната (1,19), превышающие граничное значение 1,1.

На генезис пегматитов имеются различные точки зрения. За рубежом выделяется работа, посвящённая генетической проблеме пегматито-образования [7]. В этой работе подчеркнута роль воды и других летучих компонентов в эволюции пегматитовых тел. Однако, D. London [8] показал, что насыщение водной фазой не является необходимостью для формирования пегматитовых структур. Частичное плавление метасадочных пород может быть другим возможным процессом, который создаёт широкие вариации по составу, наблюдаемые в природных пегматитовых полях. В случае Даниловских пегматитов можно с уверенностью констатировать глубинный гранитоидный очаг и предположить кристаллизационную дифференциацию гранитоидного расплава, близкого к шошонитовому с образованием заключительных порций лейкогранитового состава, парагенетически с которым формировались пегматиты, насыщенные и водой и другими летучими компонентами. По составу они близки редкометалльным пегматитам района Саламанка в Испании [11].

Общепринятой классификации пегматитов нет. По содержаниям основных рудных компонентов пегматиты Даниловского месторождения (пробы №№ 6-8 в табл. 1) ближе всего к сподуменовой подформации тантал-бериллиевому геохимическому эволюционному ряду, принятому в России, по [2]. Однако, они отличаются от тантал-бериллиевых геохимического ряда повышенными концентрациями скандия, циркония, а также суммой редкоземельных элементов. Последние достигают 10223 – 14562 г/т.

Таблица 1

Химический состав пегматитов Даниловского месторождения (в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Be	7,44	9,66	5,47	2,44	5,16	415,6	313,2	313,1	1,8	8,68
Li	-	-	-	-	-	1367	1256	1215	18,9	21,7
Ti	192	432	660	53,4	120	1236	1178	188	72	132
V	3,59	12,7	10,4	2,5	2,5	13,8	14,8	14,2	2,5	3,35
Cr	7,75	27,6	6,63	2,06	6,44	2,5	2,4	2,1	18,1	17,4
Mn	263	465	194	116	40	543	441	548	8,47	36,2
Co	-	-	-	-	-	6,7	5,9	7,9	2,1	2,0
Ni	-	-	-	-	-	3,2	2,8	2,5	1,3	1,2
Cu	-	-	-	-	-	16,8	15,7	15,1	4,9	4,4
Zn	-	-	-	-	-	123	96	99	10,1	12,8
Ga	26,3	29,7	14,3	23,6	17,3	34,7	65,8	66,9	1,03	5,4
Ge	1,64	1,61	0,73	1,04	0,71	23,8	21,4	21,1	0,24	0,41
Rb	429	170	182	640	290	543	441	515	4,45	40,1
Sr	23,7	27,8	119	37,9	37,8	123	118	141	6,21	41,9
Y	21,3	1,11	6,95	18,4	9,3	4530	3217	3112	0,49	1,42
Zr	19,7	13,5	48	26	20,5	25500	22531	21151	15,5	18,4
Nb	4,84	4,88	9,63	1,11	16,1	13500	11340	10210	0,58	3,19
Mo	10,2	4,0	2,83	1,7	1,44	12,9	16,4	19,4	3,35	12,9
Cs	24,2	7,37	4,81	20,3	21,5	34,8	43,1	43,7	0,27	2,83
Ba	113	243	154	194	34,5	125	116	163	15,5	64,6
La	5,89	4,91	4,37	4,8	3,93	3975	2865	2661	1,01	4,46
Ce	15,5	5,5	42,5	5,15	3,71	1457	1145	1123	2,29	9,34
Pr	1,66	0,98	1,06	1,21	0,79	1196	987	992	0,24	1,0
Nd	6,91	3,7	3,39	4,47	3,3	2136	1256	1245	0,54	3,23
Sm	1,48	0,62	0,6	0,73	0,76	563	543	534	0,074	0,48
Eu	0,13	0,073	0,28	0,17	0,17	2,67	2,16	2,18	0,035	0,14
Gd	1,31	0,34	1,04	1,0	1,16	543	441	424	0,12	0,41
Tb	0,23	0,031	0,16	0,18	0,21	114	98	92	0,015	0,044
Dy	1,66	0,19	0,98	1,38	1,61	10,7	9,3	9,1	0,062	0,22
Ho	0,32	0,032	0,18	0,24	0,37	1,76	1,5	1,45	0,021	0,038
Er	1,27	0,061	0,61	1,01	1,08	5,67	5,3	5,1	0,032	0,14
Tm	0,25	0,018	0,13	0,24	0,19	1,3	1,0	1,1	0,005	0,027
Yb	2,52	0,079	0,82	2,14	1,15	23,8	22,5	20,1	0,027	0,12
Lu	0,42	0,019	0,12	0,41	0,18	1,7	1,6	1,2	0,0059	0,021
Hf	2,35	0,51	1,99	3,92	0,56	1365	1156	1103	0,13	0,47
Ta	0,85	0,63	0,9	0,18	1,66	1968	1270	1150	0,1	0,4
W	65,1	30,1	17	18	12	12	15	19	22,3	63,8
Pb	-	-	-	-	-	18,9	32,1	39,0	5,9	13,7
Th	5,54	0,55	31,5	1,59	2,75	5679	3459	2451	0,73	2,66
U	0,53	0,23	0,8	0,43	4,27	1198	965	851	0,12	0,86
Ag	-	-	-	-	-	2,8	3,5	3,9	1,6	2,2
Sn	-	-	-	-	-	56,9	76,1	106,0	3,8	5,6
Sc	-	-	-	-	-	1257	25670	23670	3,7	5,1
ΣP3Э	60,85	17,66	63,2	41,5	27,9	14562	10595	10223	4,97	21,09
La/Sm _N	2,44	4,86	4,47	4,02	3,17	4,32	3,23	3,05	8,42	5,7
La/Yb _N	1,54	41,05	3,52	1,48	2,25	110,3	84,1	87,4	24,6	24,8
Y/Ho	66,5	34,7	38,6	76,7	25,1	2573	15020	2146	738	481
Sr/Y	1,11	25,0	17,1	2,06	4,06	0,027	0,037	0,045	121,67	29,5
U/Th	0,095	0,42	0,025	0,27	1,55	0,21	0,28	0,35	0,16	0,32
Zr/Hf	8,38	26,5	24,1	0,07	18,7	19,5	19,2	19,7	119,2	39,1
Eu/Eu*	0,28	0,44	1,09	0,61	0,92	0,015	0,013	0,014	1,14	0,95
TE _{1,3}	1,09	0,78	1,73	0,94	0,82	0,94	1,04	1,05	1,04	1,0

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории ОИГиМ СО РАН (г. Новосибирск) методом ICP-MS и в Лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). ΣP3Э – сумма редкоземельных элементов. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов, как среднее между первой и третьей тетрадами по [6]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. Значения P3Э нормированы относительно хондрита по [3]. Пегматиты: 1 – с мусковитом, 2 – с турмалином; 3-4-5 – микропегматиты; 6-8 – пегматиты с танталитом, мусковитом. Прочерки – анализ не проводился.

Таблица 2
Химический состав минералов пегматитов Даниловского проявления (в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Be	60,6	8,64	2,44	13,9	1,2	1,4	2,5	3,1	7,5	1,5
Ti	15660	3360	53,4	1620	71	12	16,5	12,7	2695	17,9
V	615	32,9	2,5	27,3	2,3	2,5	23,7	29	605	23,8
Cr	54,2	3,76	2,06	4,39	17,1	3,1	3,6	4,8	72,5	3,3
Mn	3388	3850	116	847	8,4	10	23,7	29,8	3506	14,7
Co	-	-	-	-	2,1	1,5	1,2	1	20,4	1,7
Ni	-	-	-	-	1,3	1,0	1,1	1,2	705	1,9
Cu	-	-	-	-	4,8	2	3,8	2,8	1045	23,8
Zn	-	-	-	-	10,4	5	9,7	1,9	980	56,8
Ga	11,3	120	23,6	112	1,03	25	34,5	1,8	121	34,8
Ge	1,16	2,96	1,04	2,54	0,24	2,4	19,6	0,6	20,6	23,1
Rb	4,36	16,4	640	769	4,48	3,1	4,6	2	55	3,8
Sr	1130	35	37,9	5,92	6,2	5,5	10,5	1050	156	6,7
Y	1,39	1,53	18,4	5,59	0,5	876	1234	48,9	103	85642
Zr	106	15,2	26	38,8	15,5	24	-	10,9	281	1546
Nb	132	6,46	1,11	32,3	0,58	346,5	665	1,8	5,1	34,9
Mo	1,77	1,21	1,7	1,92	3,35	2,6	4,7	3,0	63,6	45,9
Cs	1,01	2,36	20,3	117	0,27	0,3	0,6	0,2	35	1,7
Ba	75	34,5	194	83,3	15,5	3,7	4,0	75,6	392	4,7
La	11,9	8,93	4,8	2,28	1,05	56798	101,2	75,8	7,4	611
Ce	74,9	18,7	5,15	4,37	2,3	21345	274,5	132	23,1	735
Pr	4,7	2,08	1,21	0,52	0,24	210	31,3	11,5	2,6	102,8
Nd	20,5	6,73	4,47	2,07	0,64	453	178,8	45,9	11,5	388,1
Sm	3,37	0,98	0,73	0,47	0,075	121	69,7	7,5	6,4	126,3
Eu	0,69	0,055	0,17	0,067	0,034	87,6	6,8	1,55	0,065	106,6
Gd	3,04	0,71	1,0	0,5	0,13	56,7	134,3	8,5	10,1	192,7
Tb	0,31	0,065	0,18	0,077	0,016	18,6	28,1	1,1	2,3	23,8
Dy	1,11	0,26	1,38	0,58	0,069	119,4	212	7,3	15,2	248,2
Ho	0,17	0,041	0,24	0,11	0,02	10,5	63	1,3	2,9	19,23
Er	0,29	0,14	1,01	0,42	0,032	42,7	253	3,7	9,3	56,3
Tm	0,024	0,031	0,24	0,083	0,005	10,6	55,8	0,6	1,9	13,2
Yb	0,16	0,24	2,14	0,74	0,027	32,7	585	3,6	13,2	83,1
Lu	0,028	0,031	0,41	0,15	0,0059	9,9	105	0,5	2,2	10,6
Hf	5,55	0,68	3,92	6,12	0,13	14,7	1268	0,4	19,5	17,9
Ta	28,4	0,67	0,18	4,83	0,1	53,8	112	0,2	0,7	23
W	13	15	18	32,7	22,3	26	31	2,3	21,6	22,6
Pb	-	-	-	-	5,9	156,8	267	56	3750	238
Th	0,1	0,74	1,59	1,84	0,73	325	2065	118	53,5	77
U	10,1	0,64	0,43	0,54	0,12	15,5	2138	55	22,9	159
Ag	-	-	-	-	1,6	1,0	1,3	0,02	0,2	0,7
Sn	-	-	-	-	3,8	2,6	2,9	0,3	2,8	163,5
Sc	-	-	-	-	3,7	10,7	112,8	0,2	9,7	16,9
ΣРЗЭ	122,58	39,85	41,53	18,03	5,14	80191	3332,2	349,75	211,16	88356
La/Sm _N	2,16	5,57	4,02	2,96	8,54	287,6	0,075	6,18	0,71	2,96
La/Yb _N	49,1	24,6	1,48	2,02	25,6	1147	0,0016	13,9	0,37	4,85
Y/Ho	8,17	37,3	76,7	50,8	25,0	83,4	28,7	37,6	35,5	4453
Sr/Y	812	22,9	2,06	1,06	12,4	0,006	0,008	21,5	1,51	0,0007
U/Th	101	0,86	0,27	0,29	0,16	0,048	1,03	0,47	0,43	2,1
Zr/Hf	19,1	22,3	6,6	6,34	119,2	1,63	-	27,2	14,4	86,4
Eu/Eu*	0,65	0,19	0,62	0,43	1,07	2,87	0,42	0,6	0,025	2,11
TE _{1,3}	1,3	0,99	0,94	0,98	1,0	1,35	3,32	0,93	1,19	1,09

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории ОИГиМ СО РАН (г. Новосибирск) методом ICP-MS и в Лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). ΣРЗЭ – сумма редкоземельных элементов. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов, как среднее между первой и третьей тетрадами по [1]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. Значения РЗЭ нормированы относительно хондрита по [3]. Минералы пегматитов: 1 – сфен, 2 – турмалин; 3 – микроклин. 4 – мусковит, 5 – кварц серый, 6 – монацит, 7 – циркон, 8 – апатит, 9 – гранат, 10 – ксенотим. Прочерки – анализ не проводился.

По другим более поздним классификациям пегматиты Даниловского проявления ближе к семейству Nb > Ta-Y-F (NYF) по [9]. NYF пегматиты относятся к пералкалиновым по составу, отражая субальюминиевый, средне фракционированный анорогенный (А- тип) или изверженный (I)-тип родоначальный (пегматитогенерирующий) тип гранитов [5]. Пегматиты этого семейства часто обогащены HREE, Be, Ti, Sc and Zr [9]. Что и имеет место в пегматитах Даниловского проявления, однако для пегматитов последнего наблюдается связь с шшонитовым интрузивным магматизмом, в котором на заключительных этапах формируются значительные объёмы лейкогранитов.

Более детальное подразделение пегматитов основано на глубинах их формирования. Выделяют 5 классов: абиссальные, мусковитовые, мусковит-редкометалльные, редкоземельные и миаролитовые [9]. В нашем случае даниловские пегматиты следует относить к редкоземельному классу.

Обычно редкоземельный класс пегматитов соотносится с зеленосланцевой и амфиболитовой фациями метаморфизма, формирующихся на малых и умеренных глубинах. Они, как правило, сильно вариабельны по составу и характеризуются различной степенью фракционирования редкоземельных элементов [9]. По геохимическим данным выделяются два подкласса: редкоземельный (REE), обогащённый Zr, Nb, Sc и литиевый, обогащённый Rb, Cs [5]. Редкоземельный подкласс расплавов обычно генерируется из пост-орогенных и до анорогенных пералкалиновых и пералюминиевых расплавов, производных геологическим обстановкам с условиями растяжения, в то время как литиевый подкласс расплавов формируется из син- до посторогенных пералюминиевых расплавов, генерированных в обстановке сжатия [5]. Редкоземельный подкласс подразделяется на 3 типа, различающихся минералогическими и геохимическими особенностями. В составе редкоземельного подкласса рассматриваются следующие типы: 1 – алланит (ортит)-монацитовый, обогащённый лёгкими РЗЭ; 2 – эвксенитовый тип, обогащённый Y, с вариабельными отношениями лёгких РЗЭ к тяжёлым LREE:HREE; 3 – гадолининовый тип, обогащённый тяжёлыми РЗЭ с Y и Be [5]. Согласно приведенной классификации пегматиты Даниловского проявления следует относить к ортит-монацитовому типу. Специфика даниловских пегматитов – это высокие концентрации Zr, Ta, Nb, Sc, Hf, помимо типоморфных лёгких РЗЭ.

Пирамидальные формы циркона в пегматитах и наличие осцилляционной зонально-

сти в нём указывают на рост кристаллов из расплава [10], подтверждая что циркон, вероятно, имеет изверженное происхождение.

Выводы

1. Даниловские пегматиты относятся к гранитным пегматитам, а по составу к семейству Nb > Ta-Y-F (NYF) и алланит (ортит)-монацитовому типу, обогащённому лёгкими РЗЭ.

2. В минералах пегматитов (сфене, монаците, цирконе и гранате) проявлен М-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

3. В отличие от аналогичных редкометалльных пегматитов, имеющих связь с анорогенным А-типом магм, Даниловские пегматиты тяготеют к шшонитовому магматизму, на заключительном этапе глубинных очагов которых происходило формирование значительных объёмов лейкогранитовых дериватов.

4. Необходимо провести детальное изучение и других пегматитовых полей в пределах Белокурихинского плутона, и имеющих пространственно- парагенетическую связь с Осокинским, Осиновским, Берёзовским штоками лейкогранитов (Раиса, Берёзовое, Устауриха, Черновское, Проходная Грива, ручей Медвежий и других).

Список литературы

1. Ферсман А.Е. Пегматиты. Т. 1 – Т. 6. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 742 с.
2. Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М. Гранитные пегматиты. Т. 2. Редкометалльные пегматиты. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1997. – 285 с.
3. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – P. 197-214.
4. Brown G., Ewing R.C. Introduction to the Jahns Memorial Issue // *American Mineralogist*, 1986. – V. 71. – P. 233-238.
5. Cerny P., Ercit T.S. The classification of granitic pegmatites revisited // *The Canadian Mineralogist*, 2005. – V. 43. – P. 2005-2026.
6. 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.
7. Jahns R.H., Burham C.W. Experimental studies of pegmatite petrogenesis: 1. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites // *Econ. Geol.*, 1969. – V. 64. – P. 843-863.
8. London D. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of the granitic pegmatites // *The Canadian Mineralogist*, 1992. – V. 30. – P. 499-540.
9. London D. Pegmatites. // *The Canadian Mineralogist*, Special Publication 10., 2008. – 345 p.
10. Nasdala L., Hanchar J.M., Rhede D., Kennedy A.K., Váci T. Retention of uranium in complexly altered zircon: An example from Bancroft, Ontario. // *Chemical Geology*, 2010. – V. 269. – P. 290-300.
11. Roda E., Pesquera A., Velasco F., Fontan F. The granitic pegmatites of the Fregenda area (Salamanca, Spain) // *Mineral. Magazine*, 1999. V.61. – P. 535-558.