

Томское отделение Российского минералогического общества
Томский государственный университет
Кафедра минералогии и геохимии



МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ АЗИИ

Выпуск 2

Томск
2013

15. Князев Г.Б., Хохлов В.Е. Химико-минералогические особенности руд Таятского метасоматического магнетитового месторождения скаполитового подтипа. // Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: Иркутский политехнический ин-т, 1981. – С. 36–47.
16. Князев Г.Б., Зубков А.А. и др. Структурно-генетическая модель Восточно-Бурлуковского железорудного месторождения (Восточный Саян). // Геология и разведка. – 1991. – №2. – С. 70–75
17. Князев Г.Б. Структурно-генетическая модель Тереховского магнетитового месторождения // Геология и геофизика. – 1988. – №12 – С. 68–77.
18. Магнетитовые руды Кустанайской области и пути их использования / ред. А.П. Бардин. – М.: АН СССР, 1958. – 490 с.
19. Мазуров М.П. Генетические модели скарновых железорудных формаций. – Новосибирск: Наука, 1985. – 185 с.
20. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 255 с.

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ И СПЕЦИФИКА ГЕОХИМИИ ТАСТЫГСКОЙ ЖИЛЬНОЙ СЕРИИ СПОДУМЕНОВЫХ ПЕГМАТИТОВ ЮЖНОГО ПЕГМАТИТОВОГО ПОЯСА САНГИЛЕНА В ТЫВЕ

С.И. Коноваленко, С.Д. Гармаева

Томский государственный университет, г. Томск

e-mail: konov@ggf.tsu.ru

Предметом обсуждения и анализа настоящей статьи являются результаты исследования вещественного состава валовых протолок пегматитовых проб весом около 5 кг, отобранных по профилям на Тастыгском литиевом месторождении Сангиленского нагорья Тывы. Нагорье расположено в юго-восточной части Республики и является фрагментом крупного Тувино-Монгольского массива южного обрамления Сибирской платформы. Это коллизонная структура ранних каледонид, состоящая из нескольких тектонических пластин различного вещественного состава и возраста прорванных интрузиями орогенных и посторогенных гранитоидов [5]. Пегматитоносные граниты, как установлено в последние годы методами изотопного датирования, относятся к постколлизонным и связаны с ремобилизационными процессами фундамента [2]. Пегматиты нагорья четко группируются в два неравнозначных по своему масштабу пояса – Южный и Северный. Южный пояс, пегматиты которого рассматриваются в работе, имеет субширотную ориентировку и контролируется тектоническим швом аналогичного простираения. Протяженность данной металлогенической структуры, с учетом Монгольской части на ее восточном окончании, более 150 км. В пределах пояса известно не менее полутора десятков редкометалльных

пегматитовых полей различной специализации с зональным, неявно зональным и практически незональным строением. Интенсивность развития редкометальной минерализации в жилах нарастает с запада на восток и достигает максимума в центральной части пояса, где расположено Тастыгское поле, являющееся одним из крупнейших не только на Сангилене, но и в России. Пространственно, а возможно и генетически пегматиты пояса связаны с гранитоидами гранодиорит-гранитной формации кыстарысского комплекса, в составе которого присутствуют ранние диориты и кварцевые диориты, сменяющие их гранодиориты и гнейсовидные порфириовидные биотитовые граниты и поздние мелкозернистые биотитовые и двуслюдяные граниты с завершающей пегматитовой серией [11, 15]. Возраст гранитов (SHPIMP, U-Pb по цирконам) от 508 до 488 млн. лет, что близко к изотопному возрасту (470–501 млн. л) сподуменовых пегматитов Тастыгского месторождения [9]. Следует, однако, сказать, что собственно сподуменовые пегматиты всех известных на юге проявлений, в отличие от других парагенетических типов жил пояса, всегда обособлены в самостоятельные жильные серии и не обнаруживают убедительных признаков прямой связи с конкретными гранитными массивами кыстарысского комплекса. В равной степени это относится и к Тастыгскому месторождению. Последнее представляет собой крупную жильную зону протяженностью до 1200 м и шириной от 230 до 280 м, которая в рельефе, а также по скважинам прослежена на 650 м в глубину. Мощность отдельных жил зоны достигает 78 м, а длина по простиранию до 600 м. Жильная серия сложена несколькими десятками крутопадающих (угол падения 70–80°) плитоподобных тел, кулисообразно расположенных друг относительно друга. Серия приурочена к линейной тектонической зоне в области ее перегиба и коробления, с которыми совпадает раздвиг мощности подавляющего большинства пегматитовых тел. К югу от участка перегиба жильная серия резко выклинивается, а к северу постепенно затухает.

Редкометальные пегматиты месторождения относятся к достаточно четко выраженному альбит-сподуменовому парагенетическому типу по Н.А. Солодову [1, 12]. От типичных альбит-сподуменовых пегматитов других провинций его отличает большая роль в жилах калиевого полевого шпата (10–15 %) и часто несколько повышенная основность породообразующего плагиоклаза (№11–17). То и другое связывают с химизмом, вмещающих пегматиты пород, которые и представлены мраморизованными известняками [3, 14].

Для пегматитов характерно слабое проявление внутрижильной зональности и широкое развитие мелкозернистых спутанно-шестоватых структур, относительно редко встречающихся среди других полей сподуменовых пегматитов. Обычно в лежачем боку жил наблюдается мелкозернистый сподуменсодержащий пегматит гранитной структуры. Он сменяется далее на средне-крупнозернистый пегматит спутано-шестоватой или директивной структуры. В центре жил либо у всячего бока развита зона мелкоблокового и блокового микроклинового пегматита. Гораздо реже в жилах встречаются агрегаты аплитовидной и графической структуры, а также мономинеральные кварцевые зоны. Маломощные жилы целиком сложены мелкозернистым

пегматитом гранитной, директивной, неяснодирективной или спутанно-шестоватой структур. Текстура таких жил массивная. Мощные жилы чаще обладают участковой или полосчатой текстурой. Полосчатость обусловлена появлением в жилах поздних прожилков мелкозернистого кварц-плаггиоклаз-сподуменового агрегата спутано-шестоватой и особенно флюидальной структуры.

Петрохимия пегматитов хорошо видна в таблице 1, где приведены результаты валового силикатного анализа 13 протолокчек, отобранных по трем поперечным профилям вкрест простирания жильной серии на южном и северном флангах, а также в центральной части месторождения.

Как видно, все протолокчки имеют близкий химический состав в отношении главных петрогенных компонентов. Сумма щелочей (K_2O+Na_2O) в валовых пробах меняется от 6,5 до 10,8 мас. %, причем по профилям наблюдается рост суммарного содержания щелочей при переходе от висячего к лежащему боку жильной серии, одновременно в этом же направлении возрастает отношение Na_2O к K_2O с 1,4–1,5 до 2,0–2,4, что подразумевает рост в жилах объемов плаггиоклаза и уменьшение доли в них калишпата в этом же направлении. Такое необычное поведение Na и K объясняется тем, что в силу специфики эрозионного среза жильной серии тела пегматитов лежащего бока вскрываются в ней на 350–400 м выше по восстанию, нежели пегматиты начала профилей в висячем боку. Иными словами на поперечную зональность пучка жил на месторождении накладывается более ярко проявленная вертикальная зональность, что подробно обсуждалось в нашей предыдущей статье, посвященной минерало-геохимической зональности Тастыгского месторождения [6]. Следует отметить, что содержание Li_2O в протолокчках меняется более сложным образом и в определенной степени не зависит от поведения Na и K. Правда, с одной стороны поведение Li в пробах внутри профилей повторяет поведение Na, отражая вертикальную зональность специфического эрозионного среза пегматитового пучка. С другой стороны наиболее высокие концентрации Li_2O характерны для протолокчек центральной части месторождения, убывая к южному и особенно северному профилю. Это согласуется с представлениями В.В. Гордиенко о существовании в пределах пегматитовых пучков так называемой стержневой зоны, максимально обогащенной всеми флюофильными редкими элементами [4].

Обращают внимание очень низкие концентрации в пробах, определившихся в ходе анализов летучих компонентов – воды и фтора. К тому же они никак не коррелируются с масштабом накопления в жилах Li_2O , а в целом свидетельствуют о весьма специфическом составе флюидов участвовавших в формировании пегматитов поля. Нами установлено [8], что основу пегматитового флюида на Тастыге составляла вода. Вторым по значимости компонентом был CO_2 , причем наиболее высокие его содержания характерны для высокопродуктивных жил центра поля и пегматитов висячего бока жильной серии.

Таблица 1 – Химический состав (масс.%) протолочек сподуменовых пегматитов Тастыгского месторождения

Компоненты	Южный фланг			Центральная часть							Северный фланг		
	№ пробы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	72,32	69,50	74,80	70,60	71,56	73,16	71,20	69,54	72,86	71,64	71,00	72,82	74,02
TiO ₂	-	-	-	-	0,03	0,01	-	0,03	-	-	0,02	-	0,01
Al ₂ O ₃	15,81	17,45	15,40	17,45	17,17	16,63	17,45	18,26	16,35	17,10	14,37	17,00	15,20
Fe ₂ O ₃	0,03	0,03	0,24	0,03	0,34	0,11	0,15	0,21	0,05	0,03	0,16	0,03	0,26
FeO	0,39	0,39	0,49	0,46	0,52	0,39	0,46	0,46	0,39	0,52	0,52	0,52	0,36
MnO	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	-	0,03	0,02	0,06	0,03	-	0,02
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-
CaO	1,02	0,25	0,68	0,79	0,45	0,30	0,79	1,55	0,34	0,57	2,15	1,13	0,96
K ₂ O	2,56	6,49	1,25	2,52	2,23	3,15	2,02	2,52	2,63	1,87	2,68	1,80	2,21
Na ₂ O	3,70	2,83	3,44	4,03	4,04	3,52	3,72	4,16	4,02	3,54	4,00	4,32	3,46
Li ₂ O	1,55	1,46	2,00	1,88	1,84	1,98	2,30	1,61	1,72	2,12	0,71	0,94	0,85
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
F	0,14	0,08	0,11	0,13	0,13	0,04	0,07	0,01	0,06	0,10	0,18	0,03	0,03
ппп	1,68	0,74	1,05	1,26	1,17	0,62	1,47	1,63	0,78	1,51	3,21	1,52	1,70
Σ	99,31	99,25	99,51	99,21	99,54	99,98	99,66	99,54	99,25	99,09	99,06	100,01	99,11
Σ исп	99,25	99,23	99,46	99,16	99,49	99,96	99,63	99,54	99,22	99,05	98,99	100,00	99,10

Следующими по значимости и концентрации компонентами оказались N_2 и CH_4 относящиеся, как известно, к глубинной составляющей флюида. Именно они определяли восстановленный характер высокоплотного эндогенного флюида и специфику процессов минералообразования в жилах. Эксперименты по ступенчатому обжигу проб кварца пегматитов с параллельным анализом высвобождающейся флюидной фазы показали, что при умеренном отжиге проб теряется главным образом вода и в гораздо меньшей степени углекислота и присутствующие в небольшом объеме фтор и хлор. Основная же часть углекислоты, а также азот и метан выделяются только при очень высокой температуре. Это свидетельствует о том, что последние из перечисленных компонентов флюида связаны с субмикроскопическими включениями или структурными дефектами кварца, т.е. являются первичными, в то время как вода преимущественно находится в относительно крупных вторичных, псевдвторичных и реже первичных включениях.

Если исходить из представлений D.B. Stewart [16] о пегматитовой эвтектике, то рассчитанный по данным анализа протолок нормативный состав пегматитов месторождения близок к эвтектоидному. Это подчеркивает магматогенную природу изученных жил. Эволюция пегматитового расплава, из которого шла кристаллизация, судя по положению фигуративных точек в треугольнике кварц – полевые шпаты (альбит + ортоклаз) – петалит, осуществлялась из области эвтектики в направлении петалита (рис.). Согласно Л.Г. Кузнецовой [9] это отличает аномально богатые литием пегматиты Тастыга и других сподуменовых полей Сангилены от редкометалльных пегматитов иных провинций Земного шара, имеющих преимущественно «альбитовый» тренд фракционирования.

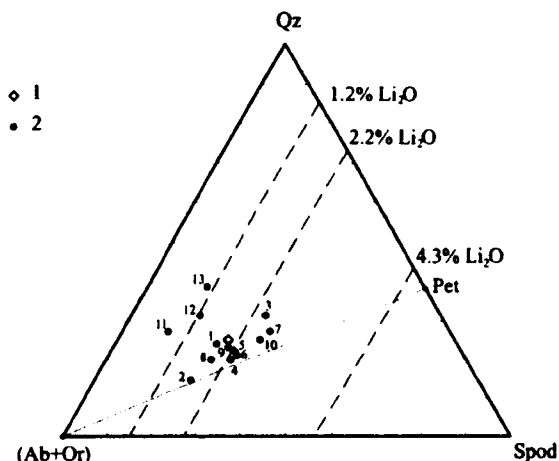


Рисунок – Положение точек нормативного состава проб сподуменовых пегматитов Тастыгского месторождения: 1 – отдельные представительные пробы; 2 – среднее значение нормативного состава проанализированных проб.

Достаточно специфичной оказалась и примесная геохимия сподуменовых пегматитов Тастыга, изученная с использованием метода JCP MS – анализа (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание (г/т) редких, малых и рассеянных элементов в валовых пробах Тастыгского месторождения

Элемент	Номера проб							\bar{X}
	1	2	3	4	5	6	7	
Rb	1485	1528	1529	1426	1447	1467	1415	1471
Cs	86	97	89	86	89	88	86	89
Be	136	189	153	147	159	139	143	152
Nb	117	136	130	138	130	124	125	129
Ta	70	93	77	74	79	75	78	78
Sn	76	85	77	59	62	77	69	72
Ba	101	105	103	100	100	99	96	101
Sr	223	240	233	220	224	223	208	224
Pb	64	85	68	69	59	68	63	68
Ga	54	56	56	53	53	54	54	54
Zr	37	36	35	36	30	40	31	35
Hf	4	4	4	4	3	4	3	4
U	13	15	15	17	15	14	12	14
Th	22	13	17	11	11	11	10	14
V	9	10	9	8	10	8	8	9
La	8	8	11	5	6	5	4	7
Ce	18	19	24	14	14	14	12	16
Pr	2	2	2	2	2	2	1	2
Nd	5	6	7	4	4	4	4	5

Примечание: \bar{X} – среднее по семи пробам

Анализ показал, что все проанализированные валовые пробы пегматитов отличаются комплексным характером присущей им полезной минерализации (Li, Ta, Nb, Sn, Be) и высоким уровнем ее накопления. Вместе с тем, хотя концентрация в пробах данных флюофильных редких элементов и повышена, особенно с учетом того, что объект относится к фанерозойским по возрасту, а не докембрийским, в целом она укладывается в рамки, свойственные пегматитам альбит-сподуменового парагенетического типа [12]. Однако в отношении другой группы, так называемых пиррофилов, этого сказать никак нельзя. Жилы Тастыга аномально обогащены, относительно всех других известных провинций сподуменовых пегматитов, необычными для них элементами как Pb, Ba и Sr. Причины этого сегодня не совсем ясны. Скорее всего, они различны для разных элементов, но главной, по-видимому, на взгляд авторов, является отчетливо проявленное влияние глубинного по природе потока восстановленных флюидов, участвовавших в формировании месторождения, что предопределило обогащенность жил Тастыга, хотя и не в столь значительной степени, не только Ba, Sr и Pb, но и другими

некогерентными элементами (Zr, Hf, Y, TR, U и Th) также обычно не свойственными классическим альбит-сподуменовым пегматитам.

В наибольшей степени (приблизительно на порядок) пегматиты Тастыга обогащены Sr. Безусловно, часть этого элемента имеет в жилах радиоактивное происхождение и накапливалась за счет радиогенного распада изотопа ^{87}Rb , поскольку рубидием пегматиты поля также обогащены. Однако учитывая фанерозойский возраст жил, количество этого стронция вряд ли было большим. Известно, что основным носителем элемента в сподуменовых пегматитах является кислый плагиоклаз, в котором содержание Sr обычно зависит от номера минерала и времени его кристаллизации, резко понижаясь от ранних генераций зон первичной кристаллизации к поздним зонам автометасоматического замещения. В случае Тастыга основность первичного плагиоклаза была повышена за счет гибридации расплава инъецированного в карбонатную толщу, а поздние генерации альбита в жилах развиты достаточно слабо вследствие редукции соответствующих ему замещающих комплексов. Отсюда и резко повышенная концентрация Sr в жилах, где нормативный, преимущественно первичный плагиоклаз, слагает от 35 до 55 % объема, являясь доминирующей минеральной фазой.

Что же касается Ba и Pb, то основным носителем их в пегматитах месторождения является калишпат. Специальное изучение типохимизма минерала на месторождении показало, что концентрация Ba в калишпате жил лежит в интервале от 100 до 2000 г/т, а средняя для 162 монопроб составляет 330 г/т [7]. Она обусловлена влиянием глубинного флюида и высоким стартовым давлением кристаллизации расплава (4–6 кбар). В какой-то степени аномальное содержание бария в протолочках связано и с повышенной ролью в жилах калишпата (до 10 и даже 15 % объема). Свинец по поведению аналогичен барию. Его концентрации обычно резко падают по мере перехода от безрудных жил к собственно редкометальным. На Тастыге этого однако, не происходит, возможно потому, что в продуктивных жилах развиты преимущественно комплексы первичной кристаллизации и редуцированы поздние комплексы замещения, в которых содержания свинца минимальны. Характерными элементами-примесями сподуменовых пегматитов месторождения являются и редкие земли. Их концентрация в жилах почти на порядок выше, чем обычно в редкометальных пегматитах, что лишь немногим меньше, чем содержание данных элементов в потенциально материнских для них лейкогранитах. Легкие лантаноиды при этом во всех пробах заметно преобладают над суммой тяжелых и иттрия.

Необычной чертой геохимии пегматитов представляются и повышенные концентрации в пробах радиоактивных элементов – U и Th (табл. 2). При этом нередко Th преобладает в пробах над U.

Особенности геохимии пегматитов с неизбежностью отражаются на их минеральном составе. В первую очередь на наборе второстепенных аксессуарных минералов (табл. 3). Специфика минерального состава Тастыга неоднократно рассматривалась разными исследователями [3, 14], прежде всего со стороны влияния на нее карбонатной среды вмещающих жилы пород.

Таблица 3 – Содержание аксессуарных минералов (г/т) в протоколках Тастыгского месторождения

№ п/п	Минерал	Номера протоколов												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Гидроксиды Fe по пириту	-	460	403	363	350	362	164	395	-	179	91	155	947
2	Пирит	зн	зн	-	73	зн	зн	зн	зн	зн	-	зн	-	-
3	Флюорит	153	83	68	182	357	зн	77	зн	68	178	122	зн	270
4	Циртолит	76	74	зн	65	71	67	77	-	55	60	46	31	135
5	Касситерит	122	92	137	218	107	92	77	395	137	179	27	33	203
6	Пироклор	-	-	-	зн	-	-	зн	зн	зн	-	-	19	зн
7	Микролит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	зн	-
8	Фергюсонит	зн	-	-	-	-	-	-	зн	-	-	18	-	зн
9	Торит	зн	зн	зн	зн	зн	зн	зн	99	зн	-	-	-	зн
10	Перовскит	зн	зн	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Турмалин	зн	-	-	-	-	зн	-	зн	-	48	21	-	-
12	Ортит	зн	-	-	зн	-	-	-	-	зн	зн	-	-	-
13	Гельвин	-	-	зн	-	зн	-	-	-	-	зн	-	-	-
14	Апатит	-	-	зн	-	-	зн	-	-	-	-	-	зн	-
15	Топаз	-	-	зн	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Рутил	-	-	-	-	-	зн	-	зн	-	-	-	-	-
17	Молибденит	-	-	-	-	зн	-	-	-	зн	-	-	зн	-
18	Галенит	-	-	-	-	-	-	-	-	зн	-	-	-	-
19	Актинолит	зн	-	-	-	-	-	-	-	зн	-	-	-	-
20	Диопсид	зн	-	-	-	-	-	-	зн	-	-	-	-	-
21	Гранат	-	-	-	-	-	-	-	зн	-	-	-	-	-
22	Ильменорутил	зн	-	-	-	-	-	-	-	-	зн	-	-	-

Примечание: Номера протоколов соответствуют номерам в таблице 1. Зн. – знаки.

В связи с этим отмечалась повышенная основность породообразующих плагиоклазов жил, а также появление и развитие в пегматитах второстепенных и аксессуарных кальцийсодержащих минералов: флюорита, ортита, пироклора, ферсмита, бавенита, диопсида, актинолита и др.

При анализе протоколов многие эти минеральные фазы были встречены в знаковых количествах, а некоторые, например, флюорит, и в весовых. Показательно, что в протоколках постоянно присутствуют в качестве собственных минералов-концентратов минеральные фазы, отражающие геохимическую специфику пегматитов месторождения (ортит, циртолит, торит, фергюсонит, хинганит и др.). Необычной чертой минерального состава пегматитов Тастыга является очень широкое развитие в них сульфидов, в первую очередь пирита. Достаточно сказать, что псевдоморфозы гидроксидов железа по пириту составляют основной объем тяжелой фракции всех без исключения проб (табл. 3). Гораздо реже и в более скромных количествах встречаются неокисленный пирит, а также молибденит и галенит. Подобное

широкое и относительно массовое развитие в пегматитах сульфидов наводит на мысль, что в исходном глубинном флюиде заметную роль играл H_2S . В связи с этим весьма показательным частое присутствие во многих жилах гельвина $Mn_4(BeSiO_4)_3S$, который, как установлено в ходе экспериментов по синтезу минерала, возникает при высокой температуре ($400-600^\circ C$), умеренных значениях f_{O_2} и максимальной активности (f_{S_2}) серы [13]. Специфику флюида Тастыга дополняет исчезающе малая концентрация в нем бора, следствием чего является тот факт, что турмалин на месторождении является минералогической редкостью.

Следует также отметить, что определенная часть профильных флюофильных редких элементов месторождения находится не только в собственных минералах-концентраторах, но и рассеяна в форме изоморфной примеси в минералах-носителях. Это относится к бериллию, существенная доля которого, помимо берилла и гельвина, рассеяна в решетке плагиоклазов, и олову, постоянные высокие концентрации которого (от $100-2000$ г/т) обнаружены в породообразующем сподумене пегматитовых жил.

Подводя итог изложенному, необходимо констатировать, что Тастыгское месторождение Сангиленского нагорья Тывы является уникальным по масштабу запасов и качеству литевых руд в России. Это комплексный редкометалльный объект, промышленно интересными компонентами в котором, помимо лития, являются Ta, Be, Nb и Sn. Геохимическую и минералогическую специфику сподуменовых пегматитов Тастыга определяют тесные связи исходных для жил коровых расплавов с глубинными источниками восстановленного эндогенного флюида и их инъекция в карбонатную толщу, изменившую химизм и ход процесса кристаллизации и ограничившую рассеяние из жил полезных компонентов.

Работа выполнена в рамках проекта ВЦП Кадры №14. В 37.21.0686.

Литература

1. Бескин С.М., Марин Ю.Б., Матиас В.В., Гаврилова С.П. Редкометалльные граниты (История изучения, терминология, типы, генетические подходы) // Зап. ВМО. – 1999. – Ч. 128 (6). – С. 28–39.
2. Владимиров В.Г., Владимиров А.Г., Гибшер А.С. и др. Модель тектоно-метаморфической эволюции Сангилена как отражение раннекаледонского аккреционно-коллизионного тектогенеза // Докл. РАН. – 2005. – Т. 405. – №1. – С. 82–88.
3. Гинзбург А.И., Волженкова А.Я, Полкунов В.Ф. О некоторых особенностях пегматитов, залегающих в карбонатных породах // Геология рудных месторождений. – 1961. – №1. – С. 52–60.
4. Гордиенко В.В. Гранитные пегматиты (рудные формации, минералогическо-геохимические особенности, происхождение, поисково-оценочные критерии). – СПб: Изд-во СПб университета, 1996. – 272 с.
5. Козаков И.К., Котов А.Б. Сальникова Е.Б. и др. Возраст метаморфизма кристаллических комплексов Тувино-Монгольского массива: результаты

- U-Pb геохронологических исследований гранитоидов // Петрология. – 1999. – Т. 7. – №2. – С. 173–189.
6. Коноваленко С.И. Минерало-геохимическая зональность крутопадающей жильной серии сподуменовых пегматитов, локализованных в карбонатной толще // Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Сибири. – Томск. – 1990. – Вып. 1. – С. 126–133.
 7. Коноваленко С.И., Кумеев С.С., Россовский Л.Н. Использование калишпатов для изучения зональности поля сподуменовых пегматитов // Полевые шпаты в процессе пороодообразования. – Элиста, 1980. – С. 98–117.
 8. Коноваленко С.И., Сазонтова Н.А., Наумов В.Б. Состав флюида газожидких включений в кварце сподуменовых пегматитов // Рудные месторождения. Минералогия. Геохимия. – Томск: Томский гос. ун-т. – 2000. – Вып. 2. – С. 57–70.
 9. Кузнецова Л.Г., Шокальский С.П. Месторождения лития в редкометалльных пегматитах Республики Тыва // Литий России: Минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – С. 65–70.
 10. Редкометалльные пегматиты (Гранитные пегматиты) / В.Е. Загорский, В.М. Макагон, Б.М. Шмакин и др. – Новосибирск. Наука. Сиб. предприятие РАН, 1997. –Т.2 – 285 с.
 11. Рогов Н.В. Структурная упорядоченность в ареалах плутонических комплексов: методика выявления, аспекты использования (на примере Тувы). – Кызыл: ТувиКОПР СО РАН, 2003. – 146 с.
 12. Солодов Н.А., Бурков В.В., Овчинников Л.Н. Геологический справочник по легким литофильным редким металлам. – М.: Недра, 1986. – 287 с.
 13. Фурсенко Д.А. Условия синтеза минералов группы гельвина. – Новосибирск: Наука, 1989. – 77 с.
 14. Хрюкин В.Г., Мартынов Н.Н. Редкометалльная пегматитовая провинция Центральной Азии // Поля редкометалльных гранитных пегматитов. – М.: Наука, 1976. – С. 172–182.
 15. Шенкман Я.Д. Гранитные интрузивные комплексы Восточной Тувы. – М.: Недра, 1980. – 132 с.
 16. Stewart D.B. Petrogenesis of Lithium – Rich Pegmatites // The American Mineralogist. – 1978. – V. 63. – P. 970–980.