

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТ-ЛЕЙКОГРАНИТОВОГО УСТЬЯНСКОГО МАССИВА РУДНОГО АЛТАЯ

Анатолий Иванович Гусев

профессор кафедры естественнонаучных дисциплин, безопасности жизнедеятельности и туризма, доктор геолого-минералогических наук, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукина, 659333 г. Бийск, ул. Владимира Короленко, д. 53, anzerg@mail.ru

Приведены данные о составе гранитоидов Устьянского массива Рудного Алтая и связанном с ним оруденении. Выделены две фазы внедрения: 1) равномерно-крупно-зернистые граниты; 2) слабо порфировидные мелкокристаллические лейкограниты и субщелочные лейкограниты, а также дайки аплитовидных лейкогранитов. Определён абсолютный возраст лейкогранитов, который составил 372 млн. лет. Рассмотрены петрографические и геохимические особенности гранитоидов и их потенциальная рудоносность. Породы массива отнесены к постколлизийным с признаками мантийной природы. В пространственной и прагенетической связи с массивом связано грейзеновое бериллиевое и жильное тантал-ниобиевое оруденение.

Ключевые слова: граниты, лейкограниты, дайки аплитовидных лейкогранитов, абсолютный возраст, оруденение бериллия, тантал и ниобия.

ВВЕДЕНИЕ

Ультракислые гранитоиды с признаками умеренной повышенной щёлочности широко распространены в Горном Алтае. С ними чаще всего связано оруденение W, Mo, Be, Ta, Nb, Li. Такие гранитоиды чаще всего связаны с мантийными процессами. В Рудном Алтае на территории Алтайского края известен единственный такой массив – Устьянский, который требует новых комплексных исследований с расшифровкой петрологических особенностей породных типов и оценкой рудоносности.

Материалы по геологическому строению и петро-геохимическим особенностям пород Устьянского массива собраны в процессе:

- 1- Геологического доизучения территории в период 2002-2008 годов (ГДП-200 лиса М-44-Х).
- 2- В процессе маршрутов в составе комплексной экспедиции краевого отделения РГО в июне 2021 года.

Анализы выполнены: определение абсолютного возраста уран-свинцовым методом по циркону, а также силикатный на главные компоненты химическим методом и для микроэлементов - методом ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСГЕИ (г. Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (г. Москва). Изучение газово-жидких включений в рудных кварцах выполнено в Лаборатории СО РАН (г. Новосибирск).

Актуальность исследования заключается в определении абсолютного возраста, фазового состава рудогенерирующего потенциала Устьянского массива.

Цель исследования – на основе использования современных лабораторных данных, а также геохимических и петрологических критериев выявить особенности генезиса и определить перспективы Устьянского массива на эндогенное оруденение.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД МАССИВА

Гранитоиды комплекса составляют единственный петротипический Устьянский массив площадью 272,6 км², имеющий овальную форму и слабо вытянутый в субширотном направлении вдоль Алейского разлома. Интрузив реконструируется как довольно мощное двухкорневое воронкообразное тело, погружающееся в южном направлении. На это указывают имеющие южное падение замеры ориентировки кристаллов плагиоклаза, чешуек биотита, мелких ксенолитов в различных частях интрузива и две отрицательные аномалии Δg напряжённостью 8-10 мГл, располагающиеся в южной части массива в зоне субширотного Алейского разлома, позволяющие предположить размещение там его корневых частей. В южной части массива существенно эродирован, северная и северо-восточная части затронуты эрозией слабее. Магнитное поле над массивом неоднородное, слабо повышенное (100-200 нТл) с множеством мелких локальных аномалий напряжённостью 300-500 нТл, фиксирующих многочисленные ксенолиты гранодиоритов и габброидов змеиногорского комплекса (рис. 1).

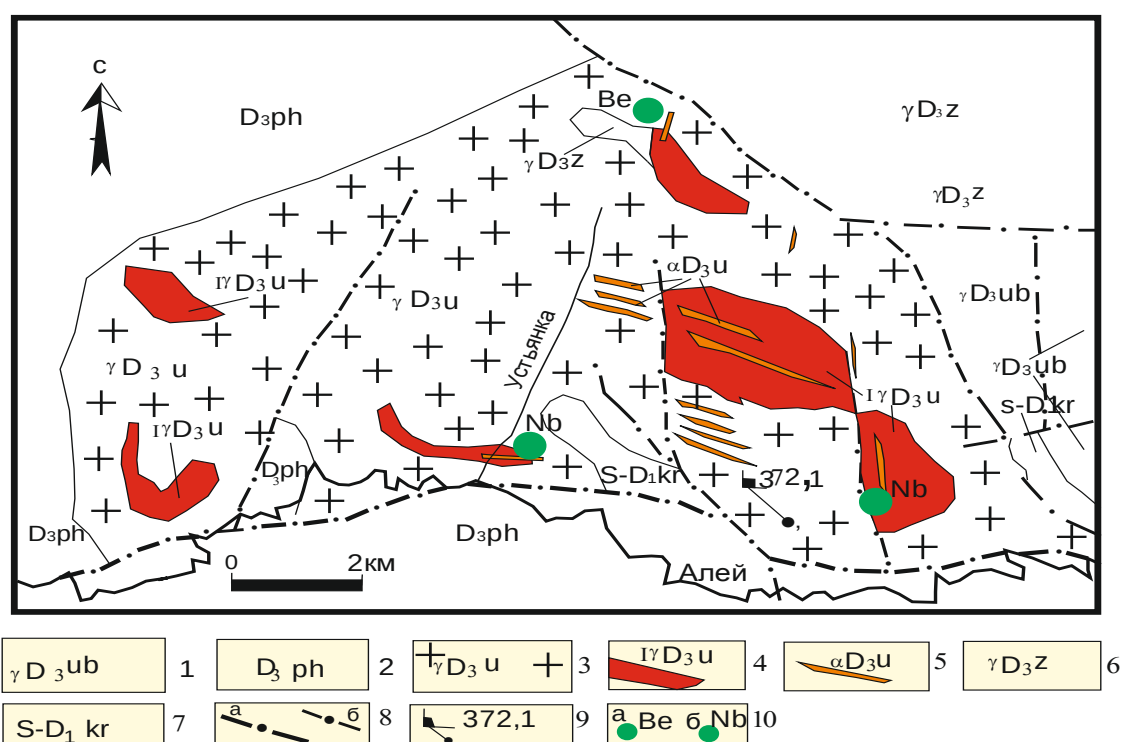


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (со снятыми неоген-четвертичными образованиями) с полезными ископаемыми (составлена А.И. Гусевым)

1. Усть-беловский комплекс габбро-диорит-гранодиоритовый; 2- пихтовский комплекс базальт-дацит-риолитовый; устьянский комплекс: 3- крупнокристаллические граниты и лейкограниты 1 фазы; 4- мелкокристаллические лейкограниты и умеренно-щелочные лейкограниты; 5- дайки аплитовидных лейкогранитов; 6- змеиногорский комплекс габбро-гранит-лейкогранитовый; 7- корбалихинская толща метапесчаников, сланцев, мраморов; 8- Разломы: а- глубинный Алейский; б- прочие разломы; 9- место отбора и возраст гранитов первой фазы устьянского массива; 10 – проявления: а- грейзенового бериллиевого (Алейское проявление), б – жильного тантал-ниобиевого.

Вмещающими массив породы являются зеленосланцевые образования корбалихинской толщи, превращённые в контактовые роговики амфибол-плагиоклазового, амфибол-кварц-плагиоклазового и кварц-плагиоклаз-амфиболового составов. Западный, северный и восточный контакты массива сложены вулканитами

пихтовской свиты и гранитоидами змеиногорского и усть-беловского комплексов. Роговики являются поделочным камнем, использовавшимся в 18-19 веках Колыванской (Локтевской) шлифовальной фабрикой для изготовления высокохудожественных произведений камнерезного искусства.

В составе комплекса нами выделены две фазы внедрения: 1) равномерно-крупнозернистые граниты; 2) слабо порфировидные мелкокристаллические лейкограниты и субщелочные лейкограниты; кроме того, массив пересечён многочисленными дайками аплитовидных лейкогранитов. Гранитоиды массива содержат редкие шлиры пегматитов, жилы и прожилки кварца с турмалином, хлоритом и ферриколумбитом, а также грейзеновое Устьянское проявление бериллия. По текстурным особенностям и цветовой окраске фазовые разновидности контрастно различимы (рис. 2).

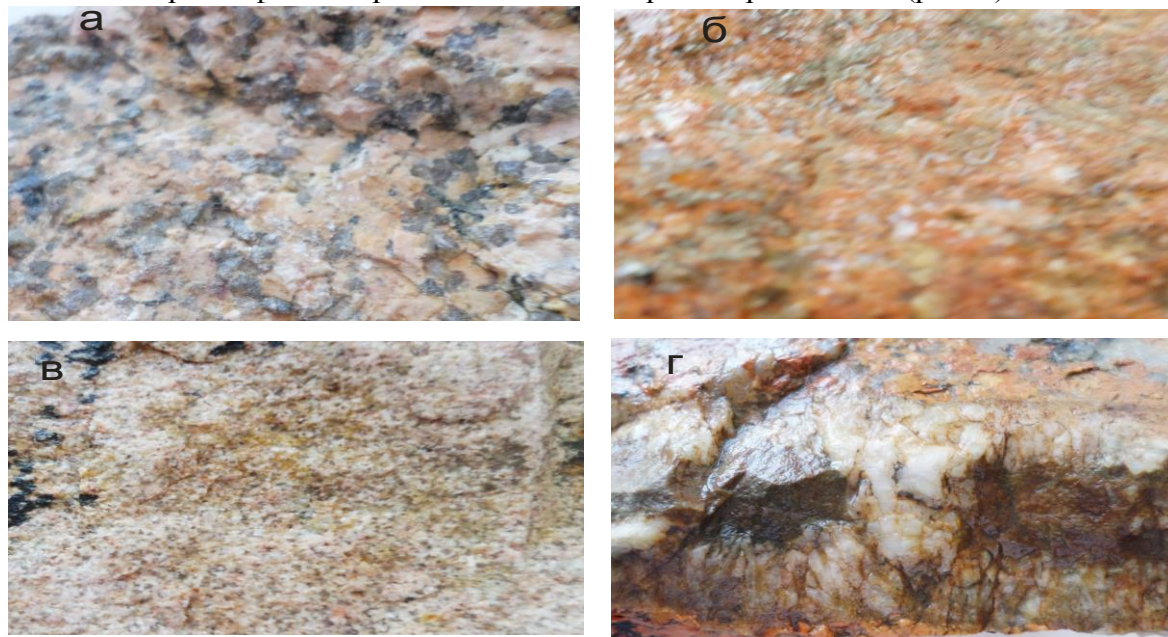


Рис. 2. Фазовые разновидности гранитоидов Устьянского массива

а) крупнокристаллические граниты 1 фазы; б) мелкокристаллические лейкограниты 2 фазы; в) дайки аплитовидных лейкогранитов (с турмалином); г) кварцевая жила с хлоритом, турмалином, ферриколумбитом.

Лейкократовые гранитоиды первой фазы образуют крупные скальные обнажения. В большинстве своём это массивные породы розового до мясо-красного, реже розовато-серого оттенка с порфировыми выделениями калиевого полевого шпата и довольно обильными миароловыми пустотами. На контакте с вмещающими породами корбалихинской толщи граниты имеют мелкозернистую структуру, ширина краевой фации достигает 600-800 м. Далее идёт постепенный переход от среднезернистых до крупнозернистых разновидностей. Минеральный состав гранитов следующий (%): кварц – 30-35, калишпат – 35-40, олигоклаз № 13-18, реже альбит-олигоклаз – 25-32, биотит – 1-5. Акцессории представлены флюоритом, магнетитом, апатитом, цирконом, вторичные минералы – серицитом и хлоритом. Структура гранитовая, микропегматитовая. В лейкогранитах первой фазы наблюдаются более высокие отношения La/Yb_N и La/Sm_N , указывающие на более дифференцированный характер распределения РЗЭ, чем в лейкогранитах второй фазы (табл. 1).

Таблица 1

Состав породных типов Устьянского массива (оксиды в %, элементы – в г/т)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	72,6	76,1	75,52	75,5	76,25	75,6	76,26	77,68	77,0

TiO ₂	0,2	0,16	0,12	0,07	0,16	0,12	0,15	0,06	0,05
Al ₂ O ₃	13,1	12,3	12,18	12,13	12,7	12,5	12,66	12,74	11,4
Fe ₂ O ₃	1,35	1,2	1,35	1,02	1,1	1,07	1,09	0,8	1,05
FeO	2,0	1,02	1,03	0,78	0,8	0,99	0,8	0,3	0,54
MnO	0,08	0,1	0,03	0,05	0,1	0,52	0,12	0,1	0,05
MgO	0,6	0,24	0,14	0,14	0,15	0,46	0,15	0,1	0,71
CaO	2,1	0,7	0,72	0,64	0,9	0,25	0,8	0,4	0,33
Na ₂ O	4,0	3,4	3,5	4,2	2,3	4,05	2,3	3,25	4,1
K ₂ O	2,8	3,9	4,4	4,6	5,45	4,4	5,45	4,2	4,28
P ₂ O ₅	0,2	0,15	0,03	0,01	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02
Σ	99,03	99,27	98,63	99,14	99,16	99,96	99,83	99,66	99,53
Li	5,4	5,41	5,43	5,43	7,54	8,4	4,82	5,4	4,9
Be	1,9	1,75	1,76	1,76	2,13	6,8	13,07	12,8	13,6
Sc	10,7	5,90	4,34	3,93	4,42	3,9	4,42	3,3	3,1
V	67	48	50	50	50	47,2	50	46,7	44,6
Cr	43,7	12,0	21,5	28,7	24,9	22,1	24,9	14,8	14,1
Co	3,6	1,50	1,74	1,93	1,88	2,0	1,88	1,96	2,2
Ni	10,8	7,8	7,98	7,98	7,91	7,7	7,91	6,8	6,6
Cu	21,8	15,0	16,03	16,0	5,0	8,3	10,50	13,3	14,1
Zn	43,2	25,0	29,2	29,2	18,5	16,8	18,5	19,2	20,4
Ga	16,8	16,3	16,1	16,1	15,4	17,2	18,4	17,8	18,4
Rb	126,7	97,3	117,8	101,0	127,0	126,5	158,5	136	140
Sr	105,3	96,9	65,6	54,8	41,2	45,2	25,1	32	43
Y	55,7	54,5	49,73	41,7	43,30	41,7	43,3	43,1	44,2
Zr	167,8	123,00	131,3	87,8	97,7	88,9	97,7	88,5	76,6
Nb	26,5	20,40	22,33	16,90	17,20	18,2	27,2	28,5	30,2
Cs	1,7	0,8	1,51	1,32	1,31	1,6	1,5	3,4	3,7
Ba	503	430	421	421	274	255	202	211	207
La	33,6	29,20	30	24,5	14,2	14,5	11,1	9,7	9,5
Ce	67,2	60,00	63,6	57,8	40,4	53,1	43,4	47,3	48,1
Pr	7,1	6,72	6,70	6,71	4,55	3,5	2,52	2,4	2,2
Nd	32,8	30,80	30,33	27,30	19,60	23,3	10,6	11,7	12,6
Sm	7,9	7,80	7,32	6,31	5,47	4,5	1,46	1,53	1,56
Eu	1,06	1,40	0,92	0,71	0,68	0,7	0,25	0,34	0,37
Gd	7,7	7,50	7,01	6,44	5,94	6,5	1,95	2,1	2,2
Tb	1,5	1,36	1,27	1,17	1,16	0,19	0,24	0,22	0,21
Dy	7,5	6,98	7,02	7,02	7,28	7,6	1,99	2,2	2,4
Ho	1,7	1,53	1,54	1,54	1,63	0,35	0,41	0,38	0,35
Er	5,9	4,55	4,56	4,56	5,02	5,1	1,52	1,6	2,2

Tm	0,95	0,74	0,76	0,76	0,88	0,8	0,38	0,44	0,65
Yb	6,6	5,37	5,08	4,58	5,46	5,3	2,47	2,65	2,8
Lu	0,9	0,81	0,76	0,67	0,88	0,7	0,33	0,42	0,4
Сумма РЗЭ	182,41	164,74	166,87	150,06	113,15	126,14	78,62	82,98	85,54
Hf	5,1	5,0	4,47	3,21	4,30	4,4	4,3	4,5	5,0
Ta	1,0	1,1	1,18	1,15	1,56	1,7	1,86	1,9	2,1
Pb	7,4	7,5	8,02	8,02	11,50	12,7	11,5	11,1	10,5
Th	6,9	7,1	46,44	8,23	12,40	9,6	12,4	11,6	12,2
U	1,6	1,9	1,71	1,63	2,28	1,7	2,28	2,12	2,1
La/Yb _N	3,36	3,59	3,9	3,53	1,72	1,8	1,69	2,42	2,24
La/Sm _N	2,6	2,29	2,51	2,38	1,59	1,97	1,58	3,9	3,73
Eu/Eu*	0,42	0,04	0,028	0,025	0,026	0,65	0,025	0,59	0,61
U/Th	0,23	0,27	0,04	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17
TE _{1,3}	0,97	0,97	0,98	1,03	1,12	0,96	1,2	1,14	1,11

Примечание. Eu = (Sm_N*Gd_N)/2. N- элементы нормированы по хондриту [Anders?].*

TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами по [Irber,1999]. 1 фаза ; 1- гранит, 2- лейкогранит, 2 фаза: 3, 5 – лейкограниты, 4 и 6 – лейкограниты умеренно-щелочные; дайки: 7 – 8 - аплитовидные лейкограниты; 9- аплитовидный умеренно-щелочной лейкогранит.

Лейкократовые гранитоиды второй фазы образуют несколько дугообразных тел и штоков среди пород главной фазы и выражаются в рельефе резкими положительными гребневидными формами. В строении наиболее крупных из них наблюдается зональность –крайние части имеют тонко-мелкозернистую структуру основной массы, внутренние – мелко-среднезернистую. Это массивные породы розового, буровато-красного оттенка гранитовой структуры, по минеральному составу сходны с породами первой фазы. Из аксессуаров присутствуют флюорит, гематит, циркон, апатит. Вторичные минералы – серицит, гидрослюды, хлорит, агрегат соссюрита. В сравнении с лейкогранитами первой фазы во второй фазе отмечаются значительно меньшие концентрации суммы РЗЭ (табл. 1), и более высокие значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Значение тетрадного эффекта, превышающие 1,12, выше порога значимой величины тетрадного эффекта фракционирования для М- типа по [Masuda, 1979].

Гранитоиды сопровождаются дайками мощностью 0,5-3 м, реже до 5 м, протяжённостью 500-600 м, реже до 1 км, приуроченными к системе поперечных трещин, представлены аплитовидными гранитами, аплитами. Изредка встречаются пегматитовые жилы мощностью до 2 м и протяжённостью до 50 м.

Лейкократовые гранитоиды Устьянского массива характеризуются низкой и умеренной глиноземистостью (Shand = 0,92 – 1,07), повышенной и высокой щелочностью с преобладанием K₂O над Na₂O, низкой анортитовостью (с = 0,05 – 0,12), высокой агпаитностью (K_{аг} = 0,83 – 0,98) и близки по указанным показателям к гранитоидам А-типа.

Следует отметить, что массив нередко включался в состав змеиногорского комплекса, но даже внешний вид пород свидетельствует об их индивидуальности. В отличие от змеиногорских гранитоидов имеющих серую окраску, рассматриваемые образования красные, либо кирпично-красные, что обусловлено резким преобладанием

калишпата среди полевых шпатов. Другая характерная черта, выраженная макроскопически – наличие в них большого количества грубозернистого кварца.

Гранитоиды устьянского комплекса образовались в гип-мезоабиссальной обстановке, на что указывают широкие зоны мелкозернистых пород в эндоконтактах, широкое развитие миароловых пустот и микропегматитовых структур, сравнительно высокие индикаторные отношения элементов: $\text{Be/Ba} = 0,004-0,019$; $\text{La/Sc} = 3,2-7,5$; $\text{Be/Co} = 0,91-1,13$. Позднедевонский возраст комплекса принят на основании того, что:

- контактовые изменения вмещающих пород отмечены лишь в позднесилурийских-раннедевонских отложениях корбалихинской толщи, в то же время фаменские вулканогенные породы пихтовского комплекса остаются неизмененными;

- установлены находки галек лейкократовых гранитов, по петрографическому составу аналогичных таковым из Устьянского массива, в грубообломочных отложениях пихтовской свиты фаменского возраста;

- при определении абсолютного возраста U-Pb методом из гранитов первой фазы массива получен результат $372,1 \pm 5,6$ млн. лет (рис. 3).

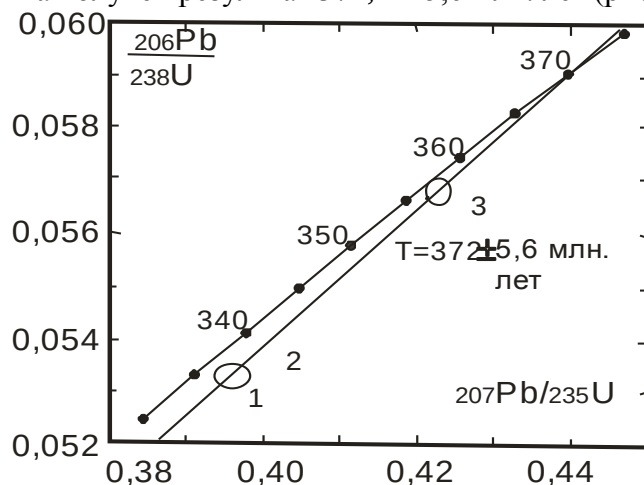


Рис. 3. Изохронная U – Pb диаграмма с конкордией для цирконов лейкогранитов Устьянского массива.

На диаграмме La- Nb породы Устьянского массива тяготеют к астеносферному источнику (рис. 4).

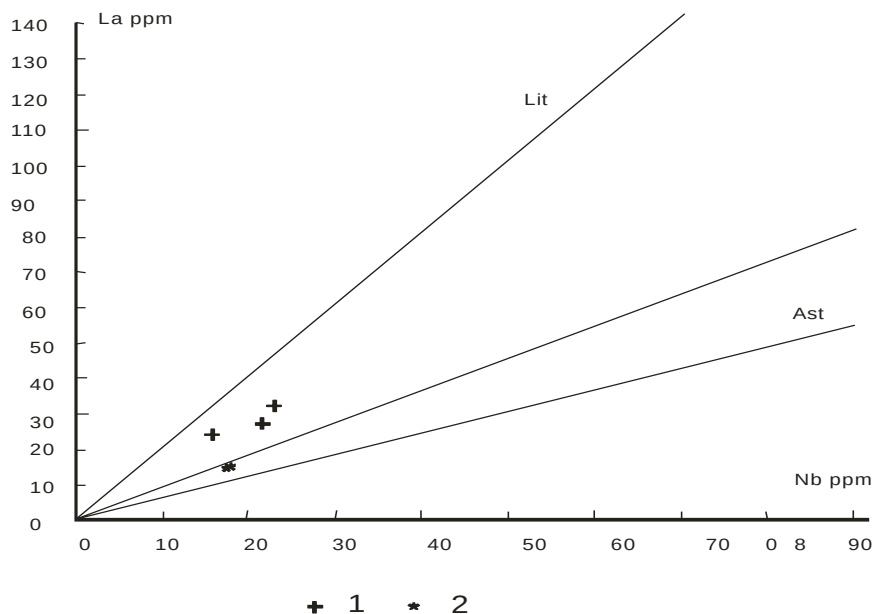


Рис. 4. Диаграмма $La - Nb$ по [De Paolo, 2000] для лейкогранитов Устьянского массива Границы астеносферно производных лав Бассейнов и Хребтов по [Bierlen, 2006].

1- Лейкограниты 1 фазы, 2- лейкограниты 2 фазы.

На диаграмме $Zr/Nb - Nb/Th$ лейкограниты обеих фаз устьянского комплекса тяготеют к источнику мантии типа Гавайских островов (рис. 5).

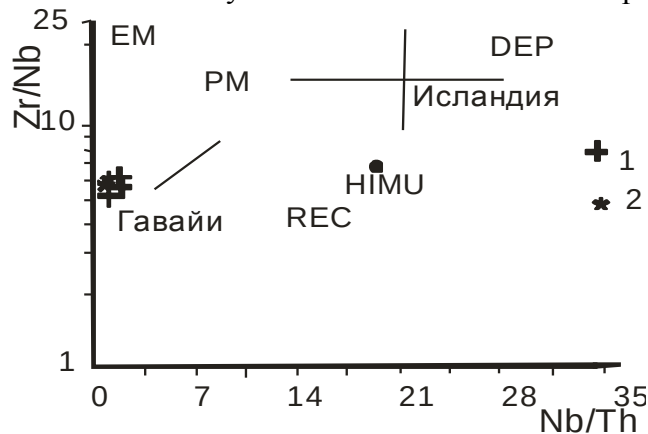


Рис. 5. Диаграмма $Zr/Nb - Nb/Th$ по [Rollinson, 2005] для пород устьянского комплекса

Типы мантии: DEP – деплетированная мантия; В разной степени обогащённая мантия (ЕМ, РМ, HIMU), предполагаемая рециклинговая литосфера (REC) – источник, близкий по изотопно-геохимическим данным к HIMU и другим источникам обогащённого типа. 1-Лейкограниты 1 фазы, 2- лейкограниты 2 фазы.

Лейкограниты обеих фаз устьянского массива на диаграмме $Y - Nb - Ce$ попадают в поле постколлизийных гранитоидов (рис. 6).

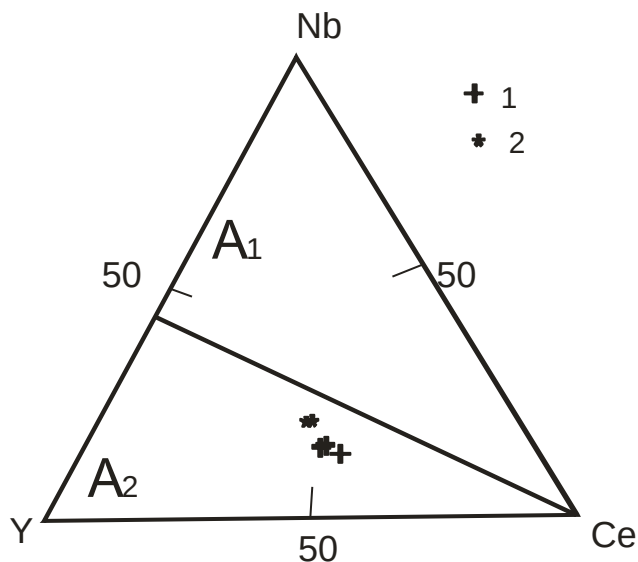


Рис. 6. Диаграммы Y- Nb - Ce по [Eby, 1992] для гранитоидов Устьянского массива. Анорогенные гранитоиды по G.N. Eby: A₁ – гранитоиды горячих точек или плюмов; A₂ – гранитоиды постколлизии. Гранитоиды Устьянского массива: 1- лейкограниты 1 фазы, 2 – лейкограниты 2 фазы.

Таким образом, лейкограниты устьянского комплекса по петрогеохимическим показателям следует интерпретировать постколлизии образованиями, в формировании которых принимал участие мантийный источник. Скорее всего постколлизии обстановка активного магматизма инициирована плюмтектоникой.

Рудоносность Устьянского массива

Потенциальную рудоносность массива можно определить используя концентрации основных металлов, содержащихся в породах массива и проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (ТЭФ РЗЭ). Известно, что ТЭФ РЗЭ отражает насыщенность магм летучими компонентами, которые извлекают из расплавов металлы и переносят их к местам рудоотложения и, таким образом, могут служить критерием потенциальной рудоносности.

На диаграмме Be - TE_{1,3} наблюдается отчетливый тренд увеличения концентраций бериллия в породах более поздних фаз с увеличением значений TE_{1,3}.

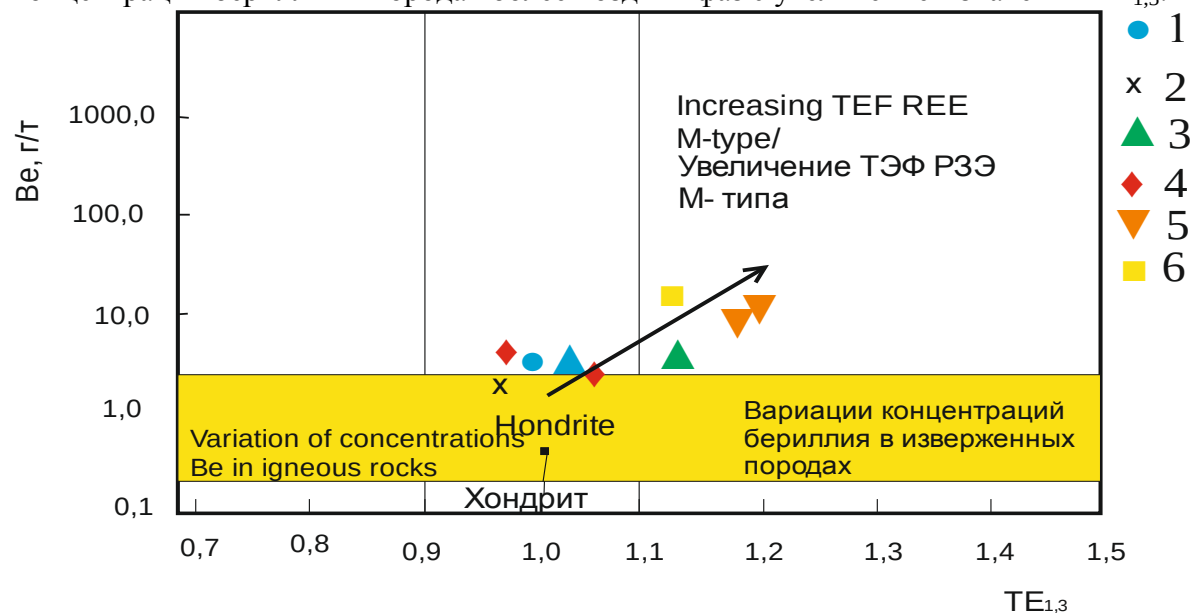


Рис.7 . Диаграмма Be - TE_{1,3} для породных типов Устьянского массива

1 фаза: 1 – гранит первой фазы, 2- лейкогранит; 2 фаза: 3, 5 – лейкограниты, 4 и 6 – лейкограниты умеренно-щелочные; дайки: 7, 8- аплитовидные лейкограниты, 9 – аплитовидные умеренно-щелочные лейкограниты.

Чаще всего проявление ТЭФ РЗЭ М- типа обусловлено насыщенностью и активностью таким летучим компонентом во флюидах как фтор, который образуя фтор-комплексы, присоединяет к себе металлы и осуществляет перенос различных металлов, в том числе и бериллия. Потенциальная рудоносность глубинного очага, сформировавшего Устьянский массив, реализована в формировании грейзенового Алейского бериллиевого проявления.

Алейское проявление бериллия и лития которое, как и ряд геохимических аномалий подобного состава, пространственно (и генетически) связано с гранитоидами Устьянского массива. Более тесная пространственная и парагенетическая связь наблюдается с аляскитовыми гранитами Устьянского массива, обнаруживающего сходство по петрогеохимическим показателям с породными типами белокурихинского комплекса. Структурная позиция участка определяется положением его в зоне Новониколаевско-Междуреченского разлома, являющегося юго-западным границей Центральной зоны смятия. И Устьянский массив, и бериллиевое проявление тяготеют к южному блоку Северо-Восточной зоны смятия. В строении участка принимают участие разновозрастные интрузивные образования – змеиногорского и белокурихинского (ранее считавшегося синюшинским) комплексов. Проявление расположено в контактовой части гранодиоритов Алейского и аляскитовых гранитов Устьянского массивов. Гранодиориты интенсивно разгнейсованы в связи с воздействием разломных кулис Центральной зоны смятия. Рудная зона локализуется в пределах крупного ксенолита габбро-долеритов. Она прослежена горными выработками от р. Устьянки в С-С-З направлении на 400 м. Видимая мощность имеет наибольшее значение в Ю-В. Части, достигая 100-120 м, к С-С-З наблюдается уменьшение ширины зоны вплоть до выклинивания. Падение зоны вертикальное.

Внутренне строение зоны сложное. В целом она фиксируется интенсивным дроблением габбро-долеритов с образованием штокверков и грейзенизацией. Наиболее интенсивной грейзенизации подверглись фельзит-порфиры, образующие 2 дайки (в Ю-В части рудной зоны) меридионального направления. Мощность даек варьирует от 5 до 20 м. (восточная дайка). Длина их до 250 м. На севере и юге дайки срезаются нарушениями С-З простирания. Под воздействием пневматолито-гидротермального метасоматоза фельзит-порфиры превращены в мелко-тонкозернистые грейзены (лишь изредка устанавливаются реликты вкрапленников кварца и плагиоклаза). Минеральный состав грейзенов: кварц, мусковит, (иногда замещающийся литиевыми слюдами – лепидолитом), хлорит, флюорит, реже встречаются топаз, берилл, серицит, в единичных случаях – турмалин. Из второстепенных минералов присутствуют циркон, апатит, кальцит, биотит, пироксен, амфибол. Рудные минералы ограничены пиритом, халькопиритом, вольфрамитом, галенитом, редко – шеелитом.

Более широко в зоне развиты штокверки, слагающие основную часть рудной зоны. Они представляют собой интенсивно раздробленные габбро-долериты, пронизанные густой сетью жилок мощностью до 1 см. В составе штокверков участвуют кварц (30-60%), мусковит и лепидолит (3-4%), флюорит (3-5%), берилл (3-4 %), топаз, апатит, циркон, вольфрамит и пирит (не более 2-3%), иногда встречаются кальцит и шеелит.

В юго-восточной части рудной зоны встречаются 4 кварцевые жилы мощностью от 5 до 25 см и длиной до 10 м с северо-восточным простиранием. Кварц молочно-белый, крупно-кристаллический, шестоватый. В виде отдельных зёрен в нём встречаются слюда, флюорит, хлорит, топаз, вольфрамит, шеелит.

Берилл в количественном отношении преобладает в штокверках. В грейзенах берилл обычно образует голубые длинностолбчатые кристаллы длиной до 1 мм, в штокверках – игольчатые и длинностолбчатые кристаллы длиной до 2 мм, реже образует секториальные сферолито-лучистые агрегаты синей до густо-синей окраски, редко – голубовато-зеленоватые скопления кристаллов, приближающиеся к аквамарину. Такие разности ассоциируют с мелкими кристалликами александрита размерами до 2 мм ярко зелёного цвета. По результатам 136 химических анализов в рудной зоне содержания бериллия варьируют от 0,005 до 1,77 %, среднее содержание по зоне – 0,029%. Среднее содержание Li – 0,2%. Запасы оксида бериллия ориентировочно определены в 15 тонн (на метр углубки). В грейзенах и грейзенизированных породах спектральным анализом установлены (%): литий (0,01-0,3), в единичных случаях до 1%, вольфрам (0,01-0,3), олово до 0,001, медь – 0,01-0,7, цинк до 0,1, свинец до 0,03.

Рудопоявление и наиболее интенсивные геохимические аномалии бериллия и лития размещаются в полосе вдоль Новониколаевского разлома, протяженностью около 19 км, и объединены в Верхне-Устьянское потенциальное рудное поле, требующее опосредованного и поисково-оценочных работ. По Верхне-Устьянскому потенциальному рудному авторские оценки прогнозных ресурсов категории Р₂ – бериллия 4500 тонн, лития – 2400 тонн.

По данным термобарогеохимического анализа температуры гомогенизации газовой-жидких включений (ГЖВ) предрудного кварца Алейского проявления составляли 330-340 и рудного – 290-310 °С. содержание основных компонентов флюида (ГЖВ) кварца для бериллиевого Алейского проявления близки таковым Казандинского бериллиевого [Гусев, Гусев, 2014]. (табл. 2). Но имеются и отличия, которые обсуждаются ниже.

Таблица 2

Состав газовой-жидких включений в кварце рудных жил Алейского бериллиевого проявления (мг/кг)

Компоненты	1	2	3	4	5
CO ₂	181	141	159	119	139
H ₂ O	1771	1814	1978	1805	1850
C ₂ H ₂	0, 9	0, 7	1, 7	0, 7	0,8
C ₂ H ₆	0, 4	0,2	0, 7	0,3	0,5
N ₂	8, 8	7, 8	7, 7	7, 8	7, 9
CH ₄	0,6	0,4	1,3	0,3	0,8
H ₂ O+CO ₂	1952	1955	2137	1924	1989
CO	3,1	2,4	4,3	2,7	3,1
$\frac{CO_2 \times 100}{H_2O}$	10,2	7,8	8,03	6,6	7, 5
K _в ×1000	2, 2	2,0	2,8	1, 2	2, 1
Σгазов	191,5	150, 1	170, 4	128,1	149
Σ+H ₂ O	1771	1814	1978	1805	1850

Примечание. 1-5 – номера проб; K_в×1000 – коэффициент восстановленности флюидов.

Алейское проявление бериллия весьма схоже с Казандинским, находящимся в пространственной связи с Щебетинским массивом гранитоидов белокурихирского комплекса. Для бериллиевого Алейского проявления характерно более высокое содержание воды во флюидах и меньшее – углекислоты, суммы газов, чем в кварцах Казандинского месторождения. Соответственно, у него меньше отношение CO₂/H₂O×100, что свидетельствует о более открытой системе при становлении

бериллиевого оруденения Алейского проявления или его более глубоком эрозионном срезе, чем для сравниваемого Казандинского месторождения.

Помимо ранее известного бериллевого оруденения в 2021 году нами обнаружены жильные проявления тантало-ниобатов, локализующихся среди гранитоидов Устьянского массива - Покровское и Устьянское проявления, и тяготеющие к области влияния Алейского глубинного разлома (рис. 1). Проявления представлены жилами и линейными штокверками кварцевых, реже кварц-карбонатных, местами с хлоритом и турмалином, линзовидных образований с вкрапленностью пирита, ферриколумбита и содержаниями тантала от 0,05 до 0,1% и ниобия от 0,03 до 0,15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устьянский массив сложен породами двух фаз внедрения, определяемыми как граниты, лейкограниты и умеренно-щелочные лейкограниты. Массив инъецирован дайками аплитовидных лейкогранитов. Становление массива и даек происходило в постколлизийной обстановке и относятся к анорогенным образованиям. Все породные типы показывают признаки происхождения с участием мантийных процессов. Впервые для Рудного Алтая определяется плюмовый магматизм, к которому отнесён Устьянский массив. С глубинным очагом, формировавшим породы массива и даек связано перспективное грейзеновое бериллиево-тантал-ниобиевое оруденение и жильное тантал-ниобиевое. Для бериллиевого оруденения оценены прогнозные ресурсы категории P_2 , указывающие на возможность обнаружения крупного по запасам объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anders, E., Greevesse N.* Abundances of the elements: meteoric and // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – Pp. 197–214.
2. *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. - Pp. 489-508.
3. *Masuda A.* Lanthanide tetrad effect observed in marine environment / *A.Masuda, Y. Ikeuchi* // *Geochim. J.*, 1979. - V. 13. - Pp. 19-22.
4. *DePaolo, D.J., Daley, E.E.* Neodymium isotopes in basalts of the southwest Basin and Range and lithosphere thinning during continental extension// *Chem. Geol.*, 2000, 169, p. 157–185.
5. *Bierlein F.P.* Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits / *F.P. Bierlein, D.I. Groves, R.J. Goldfarb, B. Dube* // *Miner. Deposita*, 2006. – V.40. - № 8. – Pp. 874-886.
6. *Rollinson H.R., Tarney J.* Adakites – the key to understanding LILE depletion in granulites // *Lithos*, 2005. -V. 79. -P. 61-81.
7. *Eby G.H.* Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications // *Geology*. 1992. Vol. 20. P. 641-644.
8. *Гусев А.И., Гусев Н.И.* Некоторые аспекты геохимии минералов Казандинского бериллиевого месторождения Горного Алтая // *Успехи современного естествознания*, 2014. - №12. – С.47-52.

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION OF GRANITE-LEUCOGRANITE UCTJANSKIY MASSIF OF RUDNY ALTAY

Anatoliy Gusev

Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University,
53, Vladimir Korolenko street, Biysk, 659333, Russia, anzerg@mail.ru

Data about composition of granitoids Ustjanskiy massif of Rudny Altay and it related ore mineralization are lead. Two phase of introducing detached: 1- equigranular -coarse-grained granites; 2-weakly porphyritic fine-grained leucogranites and temperate-alkalic leucogranites also dikes of aplitic leucogranites. The absolute age of leucogranites determined that it composed 372 million years. The petrographic and geochemical peculiarities of granitoids and it potential ore mineralization view. Rocks of massif took to postcollisional with signs of mantle nature. The greisen beryllium and loads tantalium-niobium ore mineralization related in space and paragenetic with massif.

Keywords: granites, leucogranites, dike of aplitic leucogranites, absolute age, ore mineralization Be, Nb, Ta.

References

1. *Anders, E., Greevesse N.* Abundances of the elements: meteoric and // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – Pp. 197–214.
2. *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. - Pp. 489-508.
3. *Masuda A.* Lanthanide tetrad effect observed in marine environment / *A.Masuda, Y. Ikeuchi* // *Geochim J.*, 1979. - V. 13. - Pp. 19-22.
4. *DePaolo, D.J., Daley, E.E.* Neodymium isotopes in basalts of the southwest Basin and Range and lithosphere thinning during continental extension// *Chem. Geol.*, 2000, 169, p. 157–185.
5. *Bierlein F.P.* Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits / *F.P Bierlein, D.I. Groves, R.J. Goldfarb, B. Dube* // *Miner. Deposita*, 2006. – V.40. - № 8. – P.p 874-886.
6. *Rollinson H.R., Tarney J.* Adakites – the key to understanding LILE depletion in granulites // *Lithos*, 2005. -V. 79. -P. 61-81.
7. *Eby G.H.* Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications // *Geology.* 1992. Vol. 20. P. 641-644.
8. *Gusev A.I., Gusev N.I.* Nekotorye aspekty geokhimii mineralov Kazandinskogo berillievogo mestorozhdenija Gornogo Altaya // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2014. - №12. – Pp.47-52.