

УДК 553.3/.4.078:553.2:551.73

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТ-ЛЕЙКОГРАНИТОВОГО УСТЬЯНСКОГО МАССИВА РУДНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев

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

Приведены данные о составе гранитоидов Устьянского массива Рудного Алтая и связанном с ним оруденении. Выделены две фазы внедрения: 1) равномерно-крупнозернистые 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 постколлизионным с признаками мантийной природы. В пространственной и парагенетической 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.

DOI: 10.24412/2410-1192-16105

Дата поступления 15.06.2021

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 газожидких 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 слагают единственный петротипический Усть-янский массив площадью 272,6 км², имеющий овальную форму и слабо вытянутый в субширотном направлении вдоль Алейского разлома. Интрузив реконструируется как довольно мощное двух-корневое 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 предпо-

ложить размещение там его корневых частей. В южной части массив 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).

Вмещающими массив породы являются зеленосланцевые образования корбалихинской толщи, превращённые в контактовые роговики амфибол-плагиоклазового, амфибол-кварц-плагиоклазового и кварц-плагиоклаз-амфиболового составов.

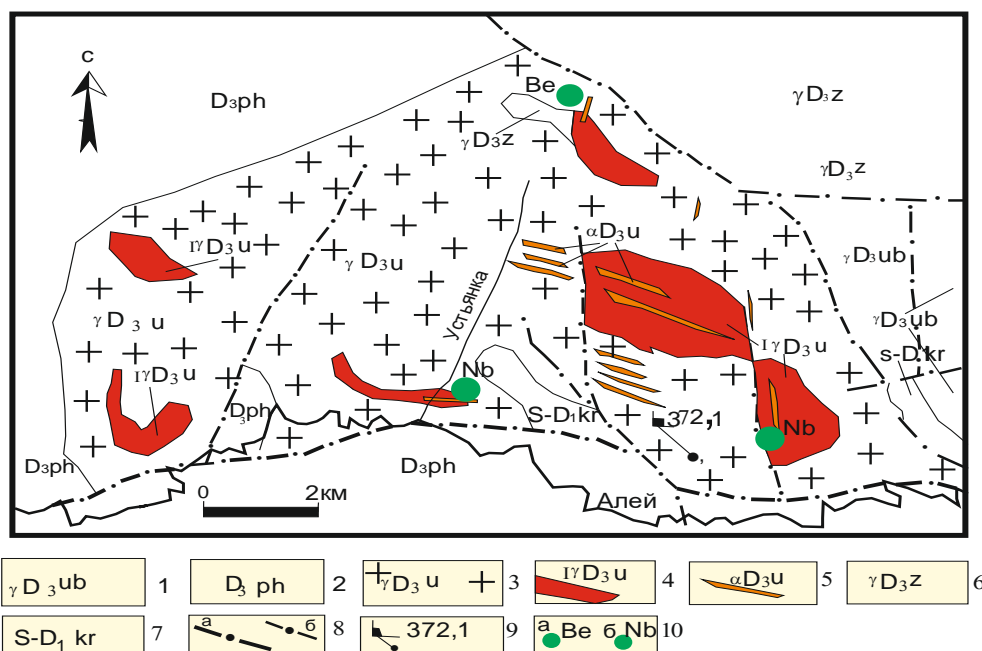


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (со снятыми неоген-четвертичными образования) с полезными ископаемыми:

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.

Западный, северный и восточный контакты массива сложены вулканитами пихтовской свиты и гранитоидами змеиногогорского 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-крупно-зернистые граниты; 2) слабопорфирированные мелкокристаллические лейкограниты и субщелочные лейкограниты; кроме того, массив пересечён многочисленными дайками аплитовидных лейкогранитов. Гранитоиды массива содержат редкие шпирсы 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). Лейкократовые гранитоиды первой фазы образуют крупные скальные обнажения.

В большинстве своём это массивные породы розового до мясо-красного, реже розовато-серого оттенка с порфирированными 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 $LaYb_N$ и $LaSm_N$, указывающие на более дифференцированный характер распределения РЗЭ, чем в лейкогранитах второй фазы (табл. 1).

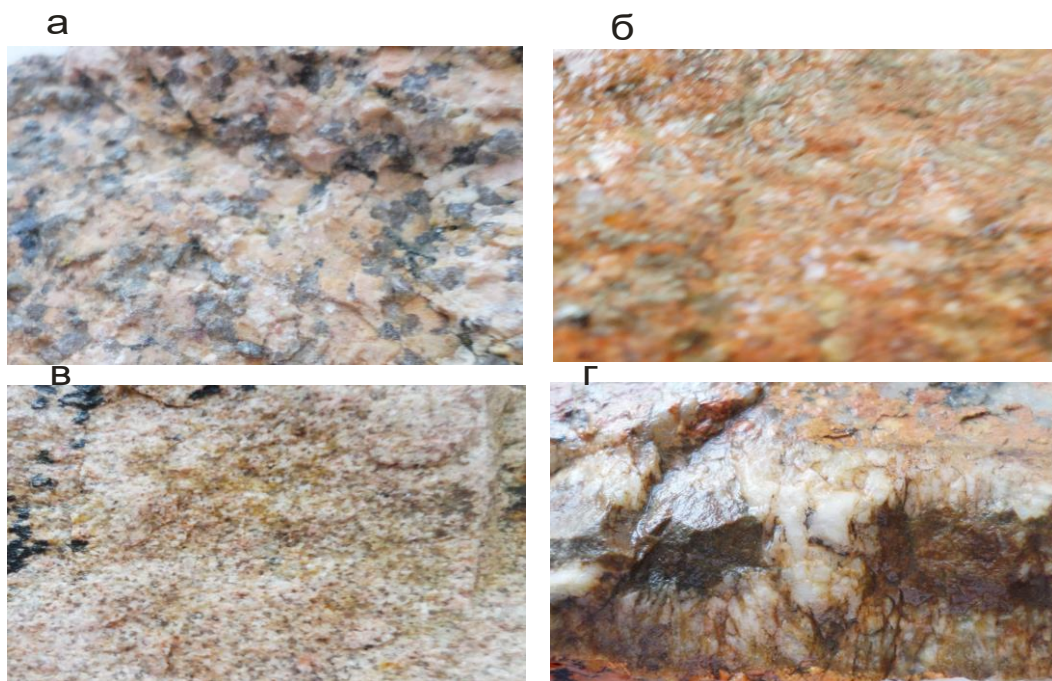


Рис. 2. Фазовые разновидности гранитоидов Устьянского массива:

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

Таблица 1

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

Компоненты	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
∑	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 [1]. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами по [2]. 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, гидрослюда, 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 [3].

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 K_2O над Na_2O , низкой анортитовостью ($c=0,05-0,12$), высокой агпаитностью ($K_{ag}=0,83-0,98$) 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: $Ve/Va=0,004-0,019$; $La/Sc=3,2-7,5$; $Ve/Co = 0,91-1,13$. 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 неизменными;

- 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).

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

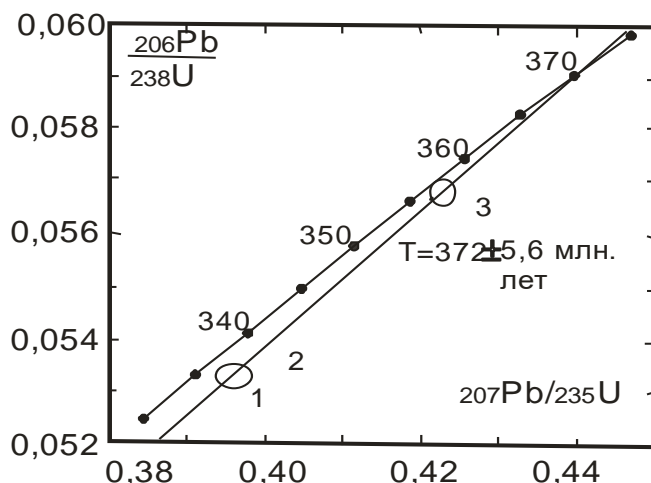


Рис. 3. Изохронная U – Pb диаграмма с конкордией для цирконов лейкогранитов Устьянского массива

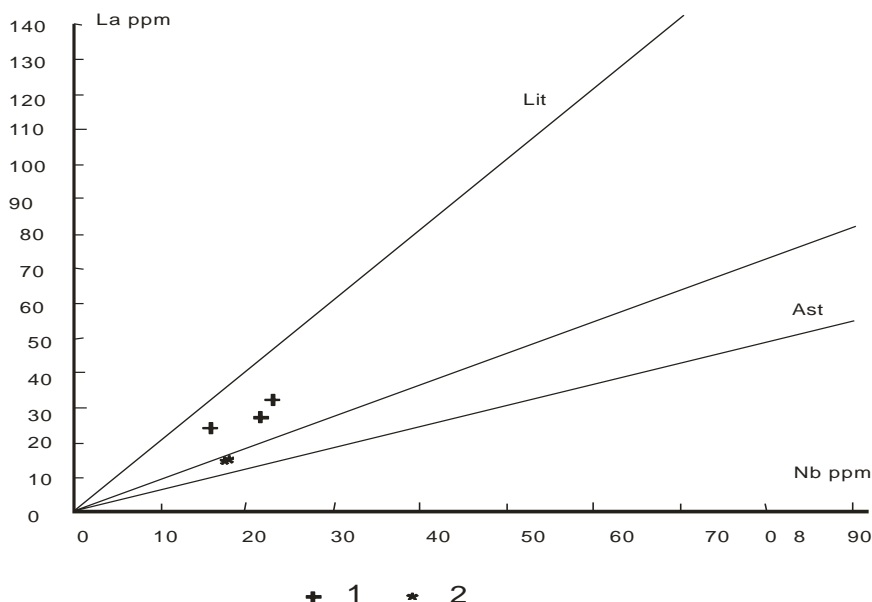


Рис. 4. Диаграмма La - Nb по [4] для лейкогранитов Устьянского массива. Границы астеносферно производных лав Бассейнов и Хребтов по [5]:
1-лейкограниты 1 фазы, 2- лейкограниты 2 фазы.

На диаграмме Zr/Nb – Nb/Th лейкограниты обеих фаз устьянского комплекса тяготеют к источнику мантии типа Гавайских островов (рис. 5). Лейкограниты обеих фаз устьянского массива на диаграмме Y – Nb – Ce попадают в поле постколлизийных гранитоидов (рис. 6).

Таким образом, лейкограниты устьянского комплекса по петрогеохимическим показателям следует интерпрети-

ровать постколлизийными образованиями, в формировании которых принимал участие мантийный источник, близкий к астеносферному. Скорее всего постколлизийная обстановка активного магматизма инициирована плюмтектоникой. Это указывает на то, что помимо основной геодинамической обстановки вулканических островных дуг в Рудном Алтае следует выделять и плюм-тектонический режим.

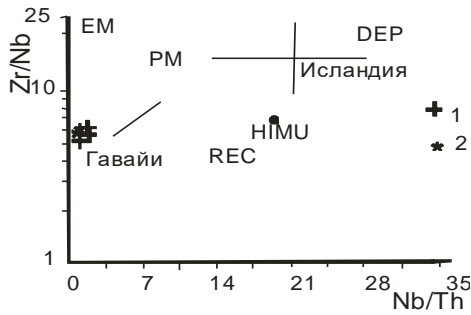


Рис. 5. Диаграмма Zr/Nb – Nb/Th по [6] для пород устьянского комплекса.

Типы мантии: DEP – деплетированная мантия; В разной степени обогащённая мантия (EM, PM, 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.

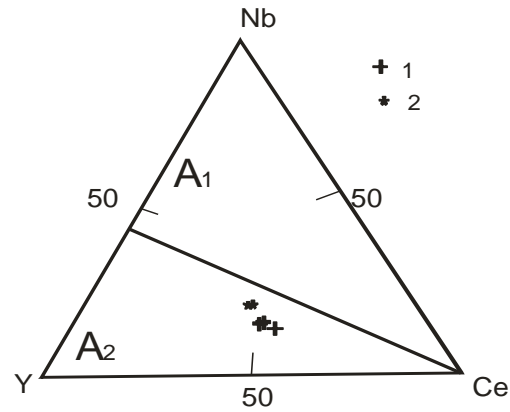


Рис. 6. Диаграммы Y- Nb - Ce по [7] для гранитоидов Устьянского массива.

Анорогенные гранитоиды по G.N. Eby: A₁ – гранитоиды горячих точек или плюмов; A₂ – гранитоиды постколлизионных обстановок. Гранитоиды Устьянского массива: 1- лейкограниты 1 фазы, 2 – лейкограниты 2 фазы.

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 отчётливый тренд увеличения концентраций бериллия в породах более поздних фаз с увеличением значений TE_{1,3}.

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 фор-

мировании 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 аляскиотовыми 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-западной границей Центральной зоны смятия. И Устьянский массив, и бериллиево проявление тяготеют к южному блоку Северо-Восточной зоны смятия. В строении участка принимают участие разновозрастные интрузивные образования – змеиногорского и белокурихинского (ранее считавшегося синюшинским) комплексов.

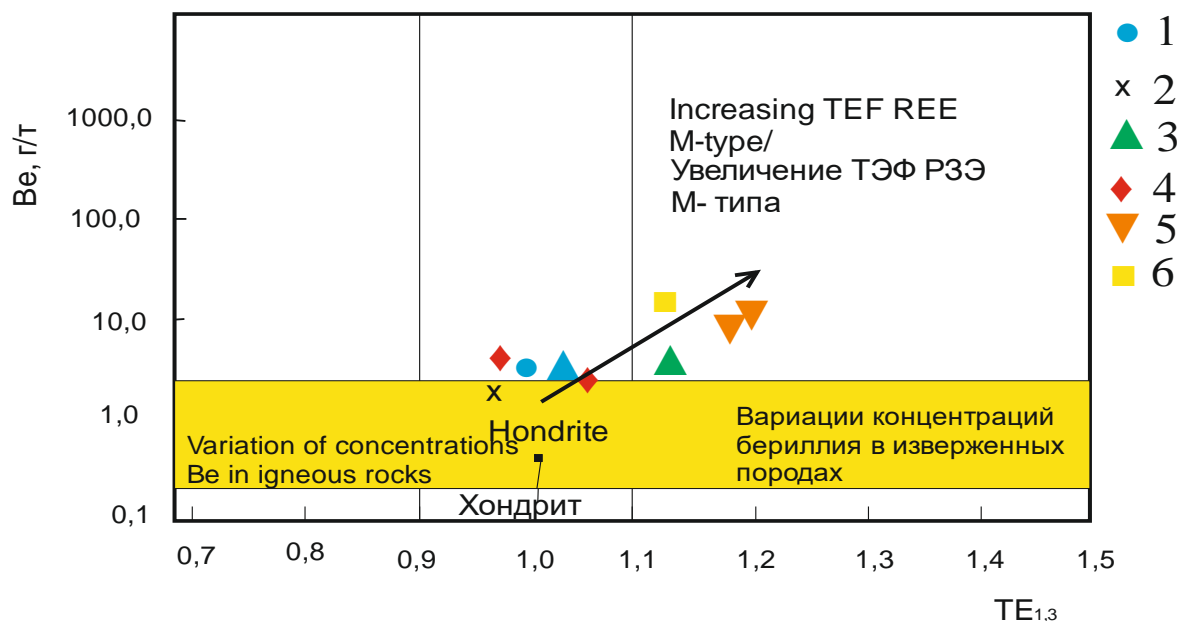


Рис.7. Диаграмма Be - TE_{1,3} для породных типов Устьянского массива.

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.

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.

Внутреннее 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 пре-

вращены 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, крупнокристаллический, 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 различия 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 %, воль-

фрам (0,01–0,3), олово до 0,001, медь – 0,01–0,7, цинк до 0,1, свинец до 0,03.

Рудопроявление 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 опоискования и поисково-оценочных работ. По Верхне-Устьянскому потенциальному рудному полю авторские оценки прогнозных ресурсов категории P₂ – бериллия 4500 тонн, лития – 2400 тонн.

По данным термобарогеохимического анализа температуры гомогенизации газово-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 [8] (табл. 2). Но имеются и отличия, которые обсуждаются ниже. Алейское проявление бериллия весьма схоже с Казандинским, находящимся в пространственной связи с Щebetинским массивом гранитоидов Белокурихирского комплекса.

Таблица 2

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

Компоненты	1	2	3	4	5
CO ₂	181	141	159	119	139
2O	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
CO ₂ ×100 H ₂ O	10,2	7,8	8,03	6,6	7,5
K _B ×1000	2,2	2,0	2,8	1,2	2,1
∑газов	191,5	150,1	170,4	128,1	149
∑+H ₂ O	1771	1814	1978	1805	1850

Примечание: 1–5 – номера проб; K_B×1000 – коэффициент восстановленности флюидов.

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 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} \times 100$, 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 бериллиевого оруденения в 2021 году нами обнаружены жильные проявления танталониобатов, 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 кварцкарбонатных, местами с хлоритом и турмалином, линзовидных образований с вкрапленностью пирита, ферриколумби-

та 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 умеренощелочные лейкограниты. Массив инъецирован дайками аплитовидных лейкогранитов. Становление массива и даек происходило в постколлизийной обстановке и все они 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-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. – P. 197–214.
2. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/No, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim Cosmochim Acta.* – 1999. – V. 63, №3/4. – P. 489–508.
3. Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effect observed in marine environment // *Geochim J.* – 1979. – V. 13. – P. 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, V. 169. P. 157–185.
5. Bierlein F.P. Groves D.I., Goldfarb R.J., Dube B. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits // *Miner. Deposita* – 2006. – V. 40 – № 8. – 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. Гусев А.И., Гусев Н.И. Некоторые аспекты геохимии минералов Казандинского бериллиевого месторождения Горного Алтая // *Успехи современного естествознания.* – 2014. – №12. – С.47–52.

Referencens

1. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – P. 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 Comochim Acta.* – 1999. – V.63, №3/4. – P. 489–508.
3. Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effect observed in marine environment // *Geochim J.* – 1979. – V. 13. – P. 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, V. 169. P. 157–185.
5. Bierlein F.P. Groves D.I., Goldfarb R.J., Dube B. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits // *Miner. Deposita* – 2006. – V.40 – № 8. – 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 geohimii mineralov Kazandinskogo berillievogo mestorozhdeniya Gornogo Altaya // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* – 2014. – №12. – S.47 –52.

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION

OF GRANITE-LEUCOGRANITE UCTJANSKIY MASSIF

OF RUDNY ALTAY

A. Gusev

Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, E-mail: anzerg@mail.ru

Data about composition of granitoids Ustjanskiy massif of Rudny Altay and it related ore mineralization are lead. Two phases 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 its 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.

Received June 15, 2021