

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

ПЕТРОЛОГИЯ И ОРУДЕНЕНИЕ УЛЬТРАКИСЛЫХ ГРАНИТОИДОВ НОЧНОГО МАССИВА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Е.М. Табакаева, А.И. Гусев

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина, Бийск
E-mail: tabakaeva16@mail.ru, anzerg@mail.ru

Приведены данные о составе ультракислых гранитоидов Ночного массива и связанном с ним оруденении. Рассмотрены петрографические и геохимические особенности гранитоидов. Проведена классификация гранитоидов с выделением двуслюдяных лейкогранит-порфиров и гастингситовых аляскитов. Определены некоторые параметры петрогенезиса. Выявлено мантийно-коровое взаимодействие в генерации породных типов и особенности высокого фракционирования полевых шпатов. Установлено проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М- и W-типов. Констатировано присутствие сложных магматогенных флюидов с обилием летучих компонентов: F, H₂O, CO₂ и S₂ или H₂S. Со становлением ультракислых гранитоидов связано формирование субвулканического золото-серебряного и гидротермального редкоземельного и редкоземельного оруденения.

Ключевые слова: двуслюдяные лейкограниты, гастингситовые аляскиты, петрогенезис, мантийно-коровое взаимодействие, оруденение, Au, Ag, Zr, Nb, Ta.

DOI: 10.24411/2410-1192-2019-15203

Дата поступления 19.12.2018

Ультракислые гранитоиды относятся к семейству кислых пород с содержаниями SiO₂, превышающими 73 % [1]. Чаще всего формирование ультракислых гранитоидов происходит в результате крайней степени фракционирования альбита или калиевого полевого шпата в расплаве с образованием высоко фракционированных гранитов [2]. Формирование ультракислых гранитоидов идет параллельно с развитием рудогенерирующей специализации гранитных массивов [3]. Это положение нередко является важнейшим и определяет рудогенерирующий потенциал гранитных массивов. В Горном Алтае имеется гранитоидный массив, в котором зафиксированы ультракислые гранитоиды – лейкограниты. Актуальность исследования заключается в определении рудогенерирующего потенциала Ночного массива.

Целью исследования было определение перспектив Ночного массива на эндогенное оруденение на основе ис-

пользования современных лабораторных данных, а также геохимических и петрогенетических критериев.

Результаты исследований

Ночной массив (луп D₁₋₂) располагается на границе Казахстана и Республики Алтай. Он представляет собой субвулканическое тело коргонского комплекса и занимает площадь более 20 км². Массив имеет овальную вытянутую в север-северо-западном направлении форму с сильно изрезанным и осложненным многочисленными апофизами юго-восточным контактом. Центральная часть массива раскристаллизована до порфировидных и неравномернозернистых среднезернистых лейкогранитов, а эндоконтактовые зоны сложены преимущественно порфиrowыми гранитоидами, варьирующими до гранит-порфиров и лейкоплагиогранит-порфиров. Гранитоиды массива прорваны дайками высокотитанистых метадолеритов урскульского комплекса мощностью до 1,5-

2 м. В зонах дробления развиты кварц-карбонатные и карбонат-альбитовые метасоматиты, структурно соответствующие бластокатаклазитам. Мощная зона указанных метасоматитов (от 10 до 25 м) выявлена в восточной части массива, приуроченной к области разлома субмеридиональной ориентировки.

Основная средняя часть Ночного массива сложена порфиroidными и неравномернозернистыми мусковит-биотитовыми лейкогранитами и субщелочными лейкогранитами с характерными округлыми фенокристаллами кварца, макроскопически сходными с развитыми в гранит-порфирах и порфиroidных риолитах краевых частей массива.

Преобладающие лейкогранит-порфиры сложены альбитом, олигоклазом (55-65 %), кварцем (30-44 %), иногда присутствует биотит, мусковит и наложенный слабо-решетчатый микроклин (до 6 %). Во вкрапленниках калиевый полевой шпат преобладает над кварцем. Акцессорные минералы представлены сфеном, апатитом, магнетитом, цирконом, редко – монацитом, ильменитом, турмалином.

Лейкогранит-порфиры характеризуются нормальной щелочностью при незначительном преобладании калия над натрием ($\text{Na}_2\text{O} - 3,56\%$, $\text{K}_2\text{O} - 3,99\%$ при $\text{SiO}_2 - 77,16\%$), высокой глиноземистостью (индекс Шенда – 1,15), повышенной апгаитностью ($K_a - 0,83$) и железистостью ($K_{ж} - 0,76$) при относительно низкой окисленности ($K_o - 0,22$) и очень низкой известковистости ($K_{и} - 0,02$). Субщелочные лейкограниты имеют более высокую щелочность ($\text{Na}_2\text{O} - 3,54-4,5\%$, $\text{K}_2\text{O} - 3,69-5,62\%$ при $\text{SiO}_2 - 76,01-77,19\%$), более низкую глиноземистость (индекс Шенда – 1,0) и высокую апгаитность ($K_a - 0,94$), что более сближает данные гранитоиды с анорогенными гранитами гранит-граносиенитовой формации. В то же время в краевой части массива, по данным А.К. Захарова, фиксируется развитие ультракислых гранит-порфиroidов пла-

гиогранитного состава ($\text{Na}_2\text{O} - 5,50\%$, $\text{K}_2\text{O} - 2,0\%$ при $\text{SiO}_2 - 78,26\%$).

В восточной краевой части массива обнаружены аляскиты, в которых изредка встречаются мелкие выделения гастингсита (0,3-0,5 мм). Такие аляскиты содержат: кварц – 40-44 %, микроклин – 60-62, альбит – 5-7, гастингсит – 0,3-2 %. Аляскиты характеризуются повышенной щелочностью, в них сумма щелочей составляет 10,12-10,25 %, и калий преобладает над натрием. Из акцессориев в них присутствуют: циркон, апатит, монацит, ильменит. Наличие последнего свидетельствует о принадлежности аляскитов к ильменитовой серии гранитоидов по [2, 4]. К аляскитам эти породы относятся и по сумме признаков (сумме щелочей, содержанию SiO_2 , а также минеральному составу) согласно петрографическому кодексу России [1].

По распределению редких элементов, низким содержаниям Ва (178 г/т), Sr (21 г/т), Rb (106 г/т), повышенным содержаниям Nb (23 г/т) и Y (66 г/т) и высокому рубидий-стронциевому отношению (5,05) гранитоиды Ночного массива более идентифицируются с анорогенными гранитами А-типа. Химический состав пород массива представлен в таблице 1.

Породы Ночного штока характеризуются повышенными суммарными концентрациями РЗЭ – от 114,7 до 266,66 г/т. В них нормированные отношения $(\text{La/Yb})_N$ к хондриту колеблются от 1,1 до 7,7, указывая на различную степень фракционирования легких относительно тяжелых РЗЭ. Отношение Eu/Eu^* , как правило, ниже такового в хондрите, за исключением пробы № 2, в которой очень высокая позитивная аномалия европия. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа (границное значение выше 1,1) и W-типа (границное значение менее 0,9), что свидетельствует о сложных магматогенных флюидах (F , H_2O , CO_2 , HS^-), которые могли способствовать формированию различных типов оруденения.

Представительные анализы гранитоидов Ночного массива

Оксиды и элементы**	Номера проб								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	77,16	76,01	77,19	76,89	75,22	75,26	75,74	76,53	76,67
TiO ₂	0,13	0,15	0,23	0,21	0,13	0,23	0,06	0,15	0,13
Al ₂ O ₃	12,70	12,71	12,78	12,7	13,49	12,78	13,23	12,71	12,70
Fe ₂ O ₃	0,78	0,81	0,95	0,9	0,83	0,95	0,58	0,81	0,78
FeO	1,12	1,20	1,18	1,15	1,05	1,18	0,90	1,20	1,12
MnO	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
MgO	0,21	0,23	0,26	0,25	0,25	0,26	0,10	0,23	0,21
CaO	0,64	0,63	1,04	1,01	0,42	1,04	0,46	0,63	0,64
Na ₂ O	3,56	3,54	4,5	4,55	3,35	3,2	3,69	3,43	3,44
K ₂ O	3,99	3,69	5,62	5,7	3,88	4,51	4,32	3,81	3,75
P ₂ O ₅	0,08	0,08	0,06	0,05	0,03	0,034	0,03	0,03	0,03
Ga	15	4,5	13,6	13,3	15,9	13,7	13,2	13,3	14,1
Rb	123	93	103	102	128	163	192	103	105
Sr	17	35	12	15	59	109	36	48	50
Y	59	61	78	81	38	35	47	29	44
Zr	86	82	103	102	225	149	90	127	125
Nb	26	21	22	22,7	24,3	21,5	25,5	21,7	31,6
Mo	1,6	1,4	1,3	1,4	3,0	5,1	1,5	3,5	3,7
Sn	2,4	4,9	2,3	2,3	1,93	1,7	4,8	3,4	3,3
Cs	0,9	0,7	1,6	1,6	1,2	0,81	2,1	0,48	0,5
Ba	182	196	156	156	572	618	180	444	445
La	22	2,8	23	23,4	33	5,4	7,5	19,1	20,1
Ce	48,1	22	64	64,2	72	16	18,8	43	44
Pr	1,2	1,1	7,5	7,8	8,8	2,1	2,7	5,2	5,1
Nd	24	5,2	30	31	30	8,6	11,1	19,5	19,4
Sm	2,5	2,4	8,3	8,5	5,8	5,0	3,7	4,2	4,3
Eu	0,3	2,1	0,6	0,6	0,7	0,3	0,28	0,62	0,61
Gd	4,8	0,3	9,8	9,9	5,2	5,7	5,3	4,3	4,2
Tb	1,3	4,8	1,9	1,85	1,02	1,3	0,97	0,7	0,6
Dy	10	1,3	13	13,2	6,2	9,6	6,1	4,0	4,1
Ho	2,3	10	2,7	2,9	1,27	2,3	1,29	0,82	0,81
Er	7,2	2,3	7,8	7,7	3,8	7,8	4,1	2,4	2,5
Tm	1,1	7,2	1,3	1,4	1,64	1,44	0,71	0,38	0,37
Yb	7,1	1,1	2,3	2,7	3,8	7,3	4,5	2,5	2,6
Lu	1,0	0,5	1,2	1,2	0,61	0,44	0,65	0,38	0,39
Hf	4,8	4,9	5,7	5,7	6,2	4,8	4,3	4,2	4,3
Ta	1,6	2,0	1,8	1,8	1,28	1,1	1,54	1,1	1,1
W	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	3,2	1,48	2,1	2,2
Th	15	15,6	17	17,7	10,4	15,1	11,6	9,0	9,5
U	3,1	4,0	4,6	4,9	1,42	4,3	2,9	1,96	1,82
Th/U	4,8	3,9	3,7	3,6	7,32	3,5	4,0	4,6	5,2
Nb/Ta	16,3	10,5	12,2	12,6	11,2	10,4	10,1	10,6	10,54
∑ PЗЭ	198,8	122,0	251,4	257,3	211,84	266,66	114,7	136,1	153,08
(La/Yb) _N	2,04	1,7	6,6	5,5	5,7	7,7	1,1	5,05	5,1
Eu/Eu*	0,26	28	0,2	0,2	0,025	0,12	0,014	0,032	0,031
TE _{1,3}	0,82	1,7	1,12	1,09	1,12	1,13	1,06	1,03	0,99

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Нормализация некоторых PЗЭ проведена относительно концентраций в хондрите по [5]. $Eu^* = (Sm_N + Gd_N) / 2$. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования PЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами по [6]. Породы Ночного массива: 1-2, 5-9 – двуслюдяные лейкограниты; 3-4 – гастингситовые аляскиты. ** – оксиды – в масс; элементы – в г/т.

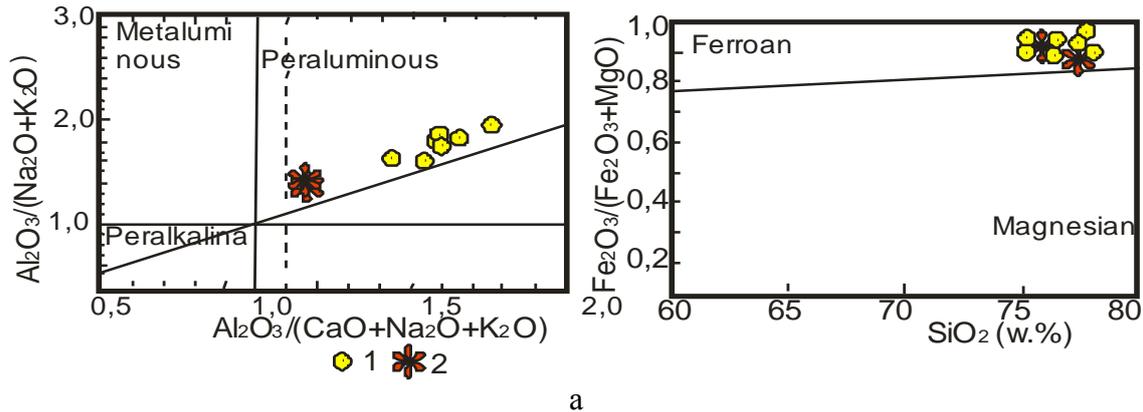


Рис 1. Диаграммы $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ (а) по [7] и $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO) - SiO_2$ (б) по [8] для пород Ночного массива:
а – двуслюдяные лейкогранит-порфиры, б – гастингситовые аляскиты.

На канонических петрохимических диаграммах фигуративные точки составов всех пород локализуются в областях пералюминиевых и высокожелезистых серий (рис. 1).

Оруденение Ночного массива

С гранитоидами массива связаны два типа оруденения: 1 – несколько золото-серебряных проявлений по западной и юго-западной периферии массива, сопровождающихся аргиллизитами; 2 – оруденение редких и редкоземельных элементов, связанное с карбонат-альбитовыми метасоматитами и альбититами, располагающимися в восточной части массива.

Золото-серебряные проявления образуют зоны окварцевания и жилы карбонат-кварцевого состава, локализующиеся в вулканитах коргонской свиты и сопровождающиеся окварцеванием и аргиллизитами (каолинит, монтмориллонит). Содержания золота в них варьируют 0,1-1,5 г/т, серебра – 10-86 г/т. В них присутствуют также медь (0,2-0,8 %), цинк (0,1-0,9), свинец (0,06-1,1 %). Проявления изучены недостаточно.

Прогнозируемый Ночной золото-марганцеворудный узел, выявленный здесь, является перспективным на золотое оруденение золото-сульфидно-кварцевого и золото-кварцевого типов,

относящихся к субвулканическому золото-серебряному классу. Также установлено марганцевое оруденение в вулканогенно-осадочных толщах. Оценка прогнозных ресурсов золота по параметрам вторичных литохимических потоков рассеяния аномальных структур геохимического поля составила 55 т (суммарная площадная продуктивность потоков золота – 286100 м²г/т, глубина оценки – 200 м, доля балансовых руд – 0,3, коэффициенты соответствия – 1,33 и 0,59). Параметры россыпной золотонности прогнозируемого узла по категории P₃ составляют 400 кг.

Редкометалльное и редкоземельное проявление Восточно-Ночное расположено в восточной части массива и представлено зоной фельдшпатолитов (карбонат-альбитовых и альбититов) с редкой вкрапленностью колумбита и циркона. Мощность зоны варьирует от 10 до 25 м, протяженность – до 250 м. В протолочках определены также пирит, монацит, поликраз, ксенотим, фергусонит. Содержания элементов составляют (в масс. %): цирконий – 0,01-0,2, иттрий – 0,1-0,5, иттербий – 0,1-0,2, ниобий – 0,05-0,3, тантал – 0,1-0,2. Минеральной формой редкоземельных элементов на проявлении являются поликраз, монацит, ксенотим, фергусонит и циркон. Проявление изучено не достаточно.

Обсуждение результатов

В последнее время большое значение для понимания генезиса гранитоидов получили геохимические признаки, среди которых используются как концентрации иммобильных элементов, так и их отношения в магматических породах. Для пород Ночного массива имеют значение аномально высокие концентрации в них Nb (21-31,6 г/т). Это свидетельствует об образовании лейкогранит-порфиоров из-за плавления высоко-Nb базальтов (NEB). Источник плавления, за счет которого образуются породы, может быть расшифрован с использованием соотношений Nb и Ta. Известно, что плавление источника пород, содержащего фазы Ti-обогащенных ингредиентов (рутила, ильменита), будет генерировать расплавы с высоким отношением Nb/Ta (>25), в то время как наличие амфибола приводит к формированию расплавов с более низким отношением Nb/Ta (<25) [9-10]. В лейкогранит-порфирах и аляскитах Ночного массива отношения Nb/Ta варьируют от 10,5 до 16,3 и указывают на плавление амфибол-содержащего источника.

В настоящее время предполагается три главных процесса, приводящих к образованию и дифференциации риолитового материала в вулканогенных поясах с эпitherмальным оруденением: кристаллизационное фракционирование [11-12], частичное плавление континентальной коры [13-14] и термогравитационная диффузия, при которой химическое фракционирование достигалось при полном расплавлении [15].

Популярная модель термодиффузии в жидкой среде, предложенная В. Хилдретом [15], способна объяснить различие интерпретаций образования риолитов, в т.ч. и субвулканических кислых образований, в различных районах. Она раскрывает механизм обогащения совместимыми сидерофильными элементами (такими как Y, Sc и Mn) и несовместимыми элементами, характерной особенностью которых является несовместимость с любой системой и прежде всего с системой кристалл-жидкость. По

указанным параметрам к породным типам Ночного массива может быть применима именно модель термодиффузии. Она также дает объяснение механизмам фракционирования тяжелых редкоземельных элементов относительно легких без привлечения фракционирования циркона или апатита. Модель помогает понять процесс обогащения флюидной фазы магматитов рудными элементами. Главные летучие компоненты в большинстве таких магм представлены H₂O, CO₂ и S₂ или H₂S [16]. В субвулканических породах Ночного массива проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W- и M-типа.

Однако модель термодиффузии для условий генерации Ночного массива может быть реализована в результате процессов плавления мантии и смешения с коровым материалом, что подтверждается анализом соотношений La/Nb и Ce/Y, локализующихся в области тренда плавления мантийного источника, а тренд составов пород Ночного массива ближе к тренду смешения с коровым материалом (рис. 2).

Источник плавления корового материала может быть определен на основе экспериментальных диаграмм по плавлению различных пород земной коры (рис. 3). На всех диаграммах фигуративные точки составов пород Ночного массива локализируются в области плавления метаграувакк (рис. 3, a, b, c).

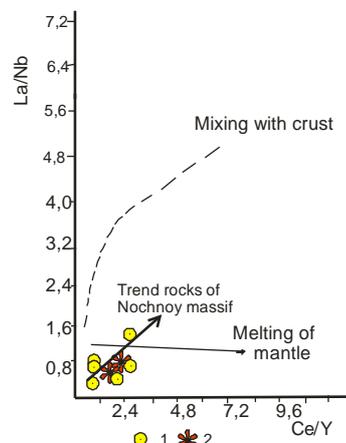


Рис. 2. Диаграмма соотношений La/Nb – Ce/Y по [17] для субвулканических пород Ночного массива:

1 – двуслюдяные лейкогранит-порфиры;
2 – гастингситовые аляскиты.

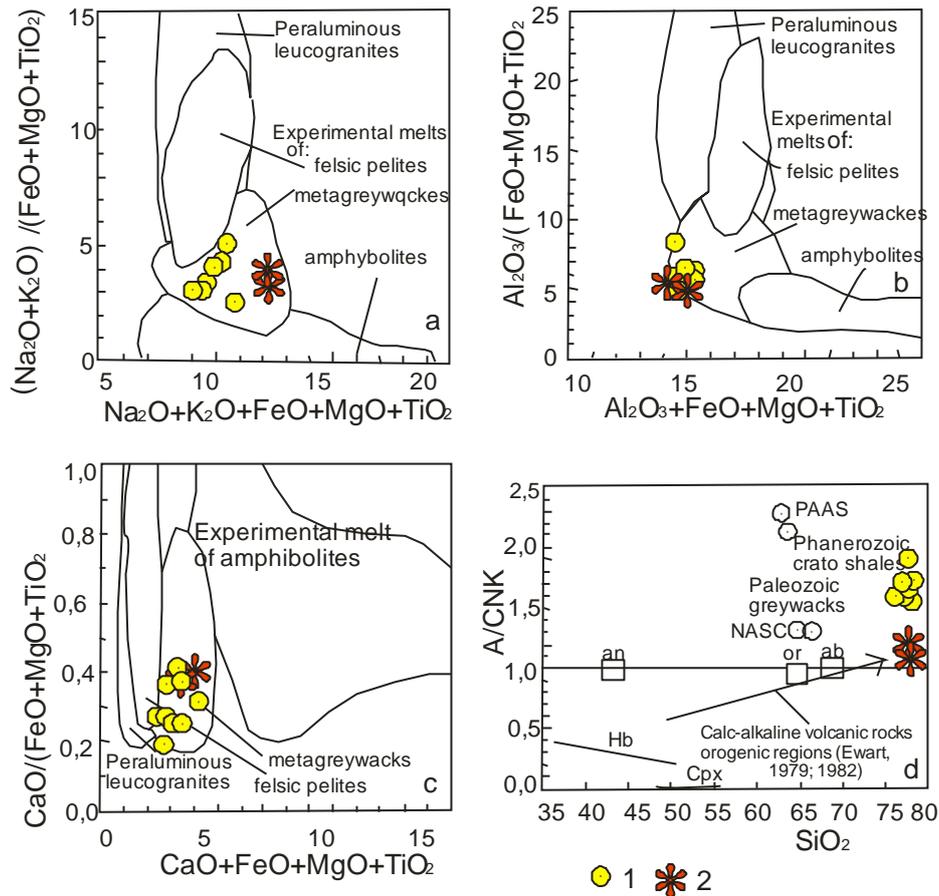


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы:

a, b, c – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусковитовых сланцев), метаграувакк и амфиболитов для пород Ночного массива; d – диаграмма $\text{SiO}_2 - \text{A/CNK}$ для пород Ночного массива. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [18-19]. A – Al_2O_3 , CNK – сумма CaO , Na_2O , K_2O .

Остальные условные см. на рисунке 1.

На диаграмме соотношений $\text{A/CNK} - \text{SiO}_2$ составы пород Ночного массива локализируются на продолжении тренда известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов (рис. 3d).

Заклучение

Генерация ультракислых гранитоидов Ночного массива происходила в результате мантийно-корового взаимодействия. На первом этапе выплавление кислых продуктов происходило в результате фракционированного отделения от высоко-Nb базальтов. В процессе подъема этих выплавок в земную кору они были основным энергетическим источником тепла для плавления материала земной коры, где и сформировался глубинный магматический источник.

На втором этапе мантийные выплавки смешивались с коровыми расплавами, образовавшимися в результате плавления метаграувакк. Такие гибридные расплавы испытывали в глубинном магматическом очаге фракционирование альбита и ортоклаза, как это происходит во всех случаях известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов [20].

Такой сложный сценарий генерации ультракислых субвулканических гранитоидов Ночного массива привел к формированию разнообразных типов оруденения: субвулканического золото-серебряного, сопровождаемого аргиллизитами, и редкометалльного с редкоземельным в фельдшпатолитах существенно альбитового состава.

Список литературы

1. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
2. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // *Min. Geol. То-кю.* – 1977. – V. 27. – P. 293-305.
3. Маракушев А.А. Петрогенезис. – М.: Недра, 1988. – 293 с.
4. Ishihara S. Metallogenic mineralization vs the granite series in the Mesozoic-Cenozoic Circum-Pacific plutons belts // *The Ishihara Symposium: Granites and Associated Metallogenesis.* – Geoscience Australia, 2001. – P. 12-15.
5. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – P. 197-214.
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. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin.* – 1989. – V. 101. – P. 635-643.
8. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // *Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science,* 1998. – V. 89. – P. 113-119.
9. Foley S.F., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones // *Nature.* – 2002. – V. 417. – P. 837-840.
10. Mechanisms of Archean crust formation inferred from high-precision HFSE systematics in TTGs / J.E. Hoffmann, C. Münker, T. Næraa, M.T. Rosing, D. Herwartz, D. Garbe-Schönberg, H. Svahnberg // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 2011. – V. 75. – P. 4157-4178.
11. Bagby W.C., Cameron K.L. Cameron M. Contrasting evolution of calc-alkalic volcanic and plutonic rocks of western Chihuahua, Mexico // *J. of Geophysical Research. Solid Earth.* – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10402-10410.
12. Cameron M., Bagby W.C., Cameron K.L. Petrogenesis of Voluminous mid-Tertiary ignimbrites of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico // *Contributions to Mineralogy and Petrology.* – 1980. – V. 74. – № 3. – P. 271-284.
13. Moll E.J. Geochemistry and petrology of Mid-Tertiary ash flow tuffs from the Sierra el Virulento Area, eastern Chihuahua, Mexico // *J. of Geophysical Research. Solid Earth.* – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10321-10334.
14. Pleistocene high-silica rhyolites of the Coso Volcanic Field, Inyo County, California / C.R. Bacon, R. Macdonald, R.L. Smith, P.A. Baedeker // *J. of Geophysical Research. Solid Earth.* – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10223-10241.
15. Hildreth W. Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism // *J. of Geophysical Research. Solid Earth.* – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10153-10192.
16. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration / J.W. Hedenquist, E. Izawa, A. Arribas, N.C. White // *Resource Geology Special Publication Number 1.* – Tokyo, 1996.
17. Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // *Lithos.* – 1999. – V. 46. – Is. 3. – P. 605-626.
18. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks // *Trondjemites, Dacites and Related Rocks.* – Amsterdam, 1979. – P. 13-121.
19. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range // *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks.* – Chichester, 1982. – P. 25-95.

20. Li Y., Zhang H. et al. Petrogenesis of the Huili Paleoproterozoic leucogranite in the Jiaobei Terrane of the North China Craton: A highly fractionated albite granite forced by K-feldspar fractionation // *Chemical Geology*. – 2017. – V. 450. – P. 165-182.

References

1. Petrografichesky kodeks Rossii. Magmaticheskiye, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impaktnye obrazovaniya. – SPb: Izd-vo VSEGEI, 2009. – 200 s.
2. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // *Min. Geol. Tokyo*. – 1977. – V. 27. – P. 293-305.
3. Marakushev A.A. Petrogenezis. – M.: Nedra, 1988. – 293 s.
4. Ishihara S. Metallogenic mineralization vs the granite series in the Mesozoic-Cenozoic Circum-Pacific plutons belts // *The Ishihara Symposium: Granites and Associated Metallogenesis*. – Geoscience Australia, 2001. – P. 12-15.
5. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1989. – V. 53. – R. 197-214.
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. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin*. – 1989. – V. 101. – P. 635-643.
8. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // *Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science*, 1998. – V. 89. – P. 113-119.
9. Foley S.F., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones // *Nature*. – 2002. – V. 417. – P. 837-840.
10. Mechanisms of Archean crust formation inferred from high-precision HFSE systematics in TTGs / J.E. Hoffmann, C. Münker, T. Næraa, M.T. Rosing, D. Herwartz, D. Garbe-Schönberg, H. Svahnberg // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2011. – V. 75. – P. 4157-4178.
11. Bagby W.C., Cameron K.L. Cameron M. Contrasting evolution of calc-alkalic volcanic and plutonic rocks of western Chihuahua, Mexico // *J. of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10402-10410.
12. Cameron M., Bagby W.C., Cameron K.L. Petrogenesis of Voluminous mid-Tertiary ignimbrites of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1980. – V. 74. – № 3. – P. 271-284.
13. Moll E.J. Geochemistry and petrology of Mid-Tertiary ash flow tuffs from the Sierra el Virulento Area, eastern Chihuahua, Mexico // *J. of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10321-10334.
14. Pleistocene high-silica rhyolites of the Coso Volcanic Field, Inyo County, California / C.R. Bacon, R. Macdonald, R.L. Smith, P.A. Baedeker // *J. of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10223-10241.
15. Hildreth W. Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism // *J. of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – V. 86. – Is. B11. – P. 10153-10192.
16. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration / J.W. Hedenquist, E. Izawa, A. Arribas, N.C. White // *Resource Geology Special Publication Number 1*. – Tokyo, 1996.
17. Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // *Lithos*. – 1999. – V. 46. – Is. 3. – R. 605-626.

18. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks // Trondjemites, Dacites and Related Rocks. – Amsterdam, 1979. – P. 13-121.

19. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range // Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. – Chichester, 1982. – P. 25-95.

20. Li Y., Zhang H. et al. Petrogenesis of the Huili Paleoproterozoic leucogranite in the Jiaobei Terrane of the North China Craton: A highly fractionated albite granite forced by K-feldspar fractionation // Chemical Geology. – 2017. – V. 450. – P. 165-182.

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION OF ULTRA-ACID

GRANITOIDS OF THE NOCHNOY MASSIF (GORNYY ALTAI)

E.M. Tabakaeva, A.I. Gusev

The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk

E-mail: tabakaeva16@mail.ru, anzerg@mail.ru

The data on the composition of the ultra-acid granitoids of the Nochnoy massif and the associated ore mineralization are presented. Petrographic and geochemical features of granitoids are considered. Granitoids are classified, two-mica leucogranite porphyry and hastingsite alaskites are distinguished. Some parameters of petrogenesis are determined. The mantle-crust interaction in the generation of rock types and features of high fractionation of feldspars was identified. Tetrad effect fractionation of rare earth elements M- and W-types is detected. Presence of complex magmatic fluids with an abundance of volatile components: F, H₂O, CO₂ and S₂ or H₂S are revealed. The formation of subvolcanic gold-silver and hydrothermal rare metal and rare earth mineralization is associated with the formation of ultra-acid granitoids.

Keywords: two-mica leucogranites, hastingsite alaskites, petrogenesis, mantle-crust interaction, ore mineralization, Au, Ag, Zr, Nb, Ta.

Received December 19, 2018