

ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОГЕОХИМИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОСЕЙСКОГО МАССИВА (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКИЙ ПРОГИБ)

© 2019 г. В. И. Сначёв, А. В. Сначёв

Реферат. В статье приводится описание геологического строения Осейского гранитоидного массива, расположенного в северной части Восточно-Уральского прогиба. В его строении принимают участие как магматические породы, представленные плагиогранитами и гранодиоритами, так и метасоматические и реоморфические разновидности, варьирующие по составу от плагиогранитов до тоналитов и диоритов. Вмещающими породами с востока являются интенсивно амфиболитизированные эффузивы саргазинской толщи ($O_{1-2}sr$), которые в зоне контакта плагиогранитизированы и превращены в амфиболиты и амфибол-кварц-полевошпатовые, биотит-кварц-полевошпатовые сланцы; с запада — плагиограниты и гранодиориты Пластовского массива.

Породы рассматриваемой интрузии состоят из голубого кварца (30–40%), плагиоклаза (около 55–60%) с редким шахматным альбитом, мусковита, серицита. В переходных зонах присутствует эпидот, биотит, роговая обманка, актинолит. По химическим анализам они отличаются от других гранитоидов высоким содержанием кремнезема (74.7–78.7%), низким содержанием калия (до 1.3%) и суммы щелочей (до 5.2%).

По химическому составу рассматриваемые гранитоиды соответствуют нормальнощелочным гранодиоритам и плагиогранитам с преимущественно натриевым типом щелочности. По содержанию Rb и Sr породы Осейского массива являются производными орогенной андезитовой магмы, четко укладываются в поле гранит-мigmatитовой формации и попадают в область, расположенную рядом с полем континентальных трондьемитов, кварцевых диоритов, а также континентальных гранофилов и риолитов Исландии. Содержания и распределение РЗЭ в гранитоидах соответствуют трондьемитам континентальных окраин.

Установлено, что кристаллизация гранитоидов Осейского массива происходила при температуре 760–790°C. Наличие расплавных включений в кварце свидетельствует об их первично-магматической природе. Давление воды в расплаве составляло 3480–3630 бар, что соответствует глубинам 12.0–12.5 км (абиссальная зона). Высокое содержание воды (5.7–6.8 мас. %), хлора (0.23–0.30 мас. %) и солей (6.6–7.3 мас. %) в расплавных включениях в кварце гранитоидов, обеспечивающих экстракцию и перенос многих металлов, позволяют отнести их к рудоносным гранитам завершающих плутонических серий.

Ключевые слова: Осейский массив, плагиограниты, тоналиты, расплавные включения, петрогеохимия, давление, температура

GEOLOGY, PETROGEOCHEMISTRY AND PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF THE OSEISK MASSIVE (EASTERN URAL TROUGH)

© 2019 V. I. Snachev, A. V. Snachev

Abstract. The article describes the geological structure of the Oseisk granitoid massif located in the northern part of the East Ural trough. Its structure involves both igneous rocks represented by plagiogranites and granodiorites, as well as metasomatic and rheomorphic varieties varying in composition from

Для цитирования: Сначёв В.И., Сначёв А.В. Геология, петрогеохимия и физико-химические условия образования Осейского массива (Восточно-Уральский прогиб) // Геологический вестник. 2020. № 2. С. 85–93. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-7>.

For citation: Snachev V.I., Snachev A.V. Geology, petrogeochemistry and physicochemical conditions for the formation of the Oseisk massive (Eastern Ural trough) // Geologicheskii vestnik. 2020. No. 2. P. 85–93. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-7>.

plagiogranites to tonalites and diorites. The host rocks from the east are intensely amphibolized Sargaza strata effusive rocks ($O_{1-2}sr$), which are plagiogranitized in the contact zone and turned into amphibolites and amphibole-quartz-feldspar, biotite-quartz-feldspar schists; from the west — plagiogranites and granodiorites of the Plastovsk massif.

The rocks of the considered intrusion consist of blue quartz (30–40%), plagioclase (about 55–60%) with rare checkerboard albite, muscovite, and sericite. In the transitional types there is an epidote, biotite, hornblende, and actinolite. According to chemical analyzes, they differ from other granitoids in high acidity (74.7–78.7%), low potassium content (up to 1.3%) and the amount of alkalis (up to 5.2%).

In terms of chemical composition, the granitoids under consideration correspond to normal alkaline granodiorites and plagiogranites with a predominantly sodium type of alkalinity. According to the Rb and Sr content, the rocks of the Oseisk massif are derivatives of orogenic andesite magma, clearly fit into the field of granite-migmatite formation and fall into the area near the field of continental trondhjemites, quartz diorites, as well as continental granophyres and rhyolites of Iceland. The contents and distribution of REE in granitoids correspond to trondhjemites of continental margins.

It was established that the crystallization of the granitoids of the Oseisk massif occurred at a temperature of 760–790°C. The presence of melt inclusions in quartz indicates their primary magmatic nature. The water pressure in the melt was 3480–3630 bar, which corresponds to depths of 12.0–12.5 km (abyssal zone). The high content of water (5.7–6.8 wt. %), chlorine (0.23–0.30 wt. %) and salts (6.6–7.3 wt. %) in the melt inclusions of granitoids in quartz, which ensure the extraction and transfer of many metals, allow us to classify them as ore bearing granites of the final plutonic series.

Key words: Oseisk massif, plagiogranites, tonalites, melt inclusions, petrogeochemistry, pressure, temperature

Геологическое строение массива. Осейский массив расположен в северной части Восточно-Уральского прогиба, в восточном экзоконтакте Пластовской интрузии (рис. 1). В плане он имеет узко-линейную форму, вытянут в северо-восточном направлении на 20–21 км при ширине от 10 м до 1.5–2.0 км. Согласно геологосъемочным работам, проведенным в 2008–2012 гг. сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъемка» (лист N-41-ХIII, Пласт, М 1:200000) совместно с авторами данной статьи, западный контакт массива срезан гранитоидами пластовского комплекса [Сначёв и др., 1989]. Вмещающими породами с востока являются интенсивно амфиболитизированные эффузивы саргазинской толщи ($O_{1-2}sr$), которые в зоне контакта плагиогранитизированы и превращены в амфиболиты и амфибол-кварц-полевошпатовые, биотит-кварц-полевошпатовые сланцы [Савельев и др., 2006]. Контакт интрузии здесь согласный со сланцеватостью аповулканитов, нередко послойно-инъекционный и условно проведен по преобладающему развитию пород кварц-полевошпатового состава. Падение его на восток и юго-восток под углом 60–75°.

Массив не однороден по своему составу. В западной части он сложен лейкократовыми гнейсовидными породами кварц-полевошпатового состава, среди которых наблюдаются выплавки нормальных мелкозернистых плагиогранитов и плагиогранит-порфириров. Гнейсо-плагиограниты представляют собой белого, зеленоватого цвета породы с мелкозернистой структурой и гнейсовидной текстурой,

обусловленной ориентированным расположением линзовидных скоплений зерен кварца. Под микроскопом устанавливаются бласто-гранитные и гранобластовые структуры. В восточной части облик гранитоидов меняется от лейкократового до меланократового за счет присутствия в составе значительного количества эпидота, биотита, реликтового амфибола. Среди преобладающих пород здесь присутствует большое количество согласно располагающихся «останцов» и ксенолитов аповулканитов саргазинской толщи и кристаллических сланцев еремкинской толщи, содержащих прослой углеродистых образований потенциально перспективных на золото [Сначёв и др., 2007; Рыкус и др., 2009], а во вмещающих эффузивах — частые послойные инъекции кварц-полевошпатового (плагиогранитного) материала. Все это дает основание предполагать единый источник и единовременность формирования осейских гнейсо-плагиогранитов в процессе мощного фронта плагиогранитизации, предшествующей формированию гранитоидных массивов пластовского комплекса (D_3-C_1).

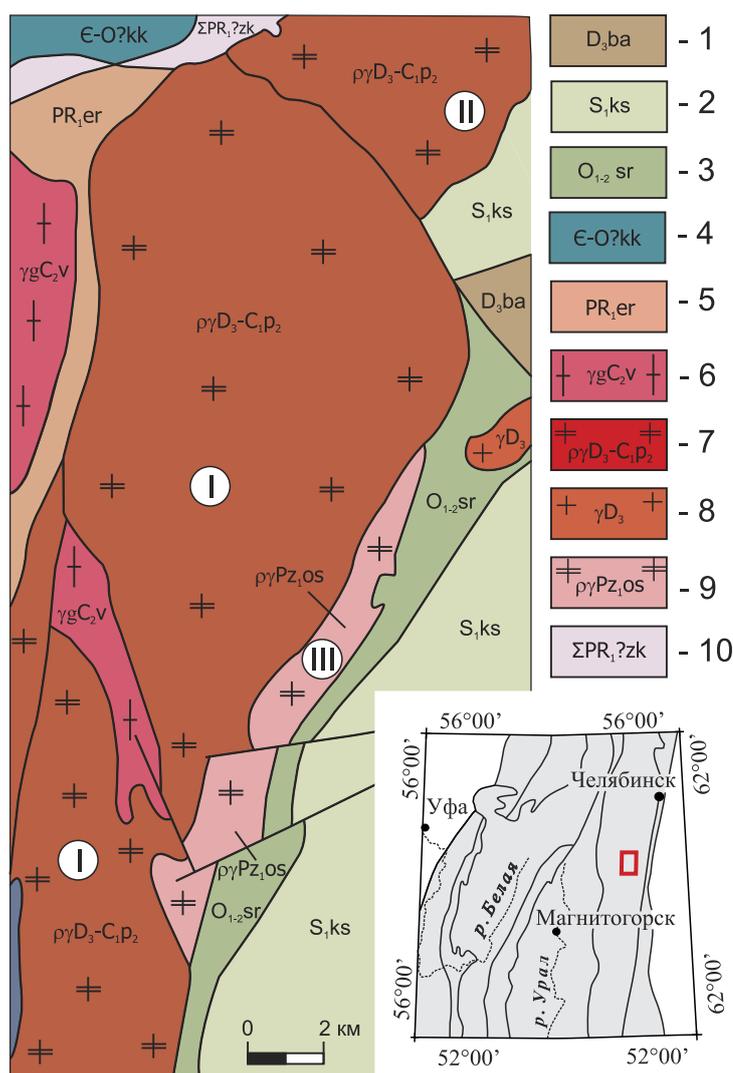
В Осейском массиве преобладают плагиогранитоиды [Сначёв и др., 1989]. В его строении принимают участие как магматические породы, представленные плагиогранитами и гранодиоритами, так и метасоматические и реоморфические разновидности, варьирующие по составу от плагиогранитов до тоналитов и диоритов. По количественным соотношениям образований этих фациальных групп в массиве выделяются мигматитовые,

Рис. 1. Геологическая карта северной части Восточно-Уральского прогиба

Условные обозначения: 1 — базальт-андезитовая толща: трахибазальты, базальты, андезибазальты; 2 — кособродская толща: туфы андезибазальтов, андезитов, дацитов и риодацитов; 3 — саргазинская толща: базальты, андезибазальты, их туфы; 4 — кукушкинская толща: аркозовые метапесчаники, метакогломераты, металевролиты; 5 — еремкинская толща: амфиболовые плагиосланцы и амфиболиты с прослоями графитистых кварцитов и мраморов; 6 — варшавский комплекс: граниты, монцолейкограниты; 7 — пластовский комплекс: вторая фаза — плагиограниты мезо- и лейкократовые, нередко гнейсовидные; 8 — малокалиевые граниты; 9 — осейский комплекс: биотит-полевошпатовые, амфибол-полевошпатовые гнейсы, плагиограниты, гранодиориты; 10 — западно-кочкарский комплекс метаморфизованных ультрамафитов и габбро. Римскими цифрами в кружках показаны массивы: I — Пластовский, II — Коелгинский, III — Осейский.

Fig. 1. Geological map of the northern part of the East Ural trough

Legend: 1 — Basalt-andesite unit: trachybasalts, basalts, andesibasalts; 2 — Kosobrodsk unit: tuffs of andesite basalts, andesites, dacites and rhyodacites; 3 — Sargaza unit: basalts, andesibasalts, their tuffs; 4 — Kukushkinski unit: arkose metasandstones, metaconglomerates, metalevrites; 5 — Yeremkino unit: amphibole plagioslates and amphibolites with interlayers of graphite quartzites and marbles; 6 — Warsaw complex: granites, monzoleucogranites; 7 — Plast complex: the second phase — plagiogranites are meso- and leucocratic, often gneiss-shaped; 8 — low potassium granites; 9 — Oseisk complex: biotite-feldspar, amphibole-feldspar gneisses, plagiogranites, granodiorites; 10 — West Kochkarsk complex of metamorphosed ultramafic and gabbro. Roman numerals in circles show massifs: I — Plast, II — Koelga, III — Oseisk.



гибридно-реоморфические и собственно магматические фациальные зоны.

Морфология Осейского массива и широкое развитие в нем гнейсовидных пород определяется становлением его в обстановке поперечного сжатия и продольного изгиба, сопряженными разломами кристаллического основания, имеющими северо-западное и северо-восточное простирание. Многократное подновление разломов определяет широкое развитие явлений катаклаза, перекристаллизации, низкотемпературных преобразований — сосюритизации и серицитизации плагиоклаза, развития шахматного альбита по калишпату, хлоритизации биотита и амфибола, местами — аргиллизации.

В мигматитовой зоне преобладают плагиогранито-гнейсы, чередующиеся с горизонтами гнейсов и кристаллических сланцев. В реоморфической зоне плагиогранито-гнейсы и рестины присутствуют

в виде реликтов в полосчатых и гомогенных плагиогранитах. Сланцы меланосомы мигматитовых зон характеризуются линзовидно-полосчатой текстурой, гломобластовой, лепидогранобластовой, немато-гранобластовой структурой. В них различаются мелкозернистая основная масса и более крупнозернистые линзовидные обособления амфибола, биотита и полевых шпатов размером до 5–6 мм.

Плагиогранитизированные разновидности сланцев, приближающиеся по составу к тоналитам и плагиогранитам, имеют в целом более крупнозернистое строение и в связи с этим обычно называются тоналито-гнейсами и плагиогранито-гнейсами. Они обладают гнейсовидной, линзовидно-полосчатой текстурой и неравномернозернистой гранобластовой, порфиробластовой и аллотриоморфнозернистой структурами. Участки с гранобластовой

структурой сложены соизмеримыми по величине мелкими изометричными зернами кварца и плагиоклаза, чередующимися с субпараллельно ориентированными листочками биотита и включающими его. Эти участки представляют собой реликты сланцевого субстрата, претерпевшего перекристаллизацию с укрупнением зерен. Аллотриоморфнозернистая структура проявляется в виде пятен, линз, полос. Эти участки характеризуются более крупнозернистым строением (от 0.5 до 2.0 мм), неправильной формой зерен кварца и плагиоклаза, нередко с сильно изрезанными краями, незначительным количеством резорбированных листочков биотита. Увеличение количества таких пятен приводит к постепенным переходам от гнейсовидных гранитоидов к массивным. Зерна кварца и плагиоклаза нередко образуют гломеробластовые скопления. С увеличением в плагиогранито-гнейсах доли участков с аллотриоморфнозернистой структурой, последняя приобретает элементы идиобластовой и гипидиоморфнозернистой. В целом тоналито-гнейсы и плагиогранито-гнейсы обладают отчетливыми структурными признаками метасоматического происхождения.

При прогрессивной плагиогранитизации меланократовых сланцев происходила перекристаллизация их с укрупнением зерен, резорбция темноцветных минералов, в первую очередь роговой обманки и эпидота, с уменьшением их количеств и компенсированным увеличением доли кварца и плагиоклаза. Селективное плавление наиболее лейкократовых участков и последующая кристаллизация расплава также приводила к появлению в этих гранитизированных породах пятен с аллотриоморфнозернистой структурой и элементами гипидиоморфнозернистой структуры.

В Осейском массиве преобладающей по площади является реоморфическая зона. Породы этой зоны представлены в основном слабо гнейсовидны-

ми такситовыми, часто полосчатыми среднезернистыми тоналитами и плагиогранитами, обладающими гипидиоморфнозернистой и аллотриоморфнозернистой структурой. Нередко в результате широко проявленных процессов постмагматических метаморфических преобразований эти первичные структуры преобразуются в бластогранитную и гранобластовую.

По геологическим данным нижняя возрастная граница пород Осейского массива определяется инъекционно-метасоматическими взаимоотношениями с саргазинской толщей, верхняя — интрузивными взаимоотношениями с гранитоидами пластовского комплекса. Массив испытал значительные деформации, что привело к образованию вторичных сланцеватых текстур, которые практически отсутствуют в девонско-нижнекаменноугольных гранитоидах. На основании геологических данных возраст пород считается нижнепалеозойским.

Петрографические и петрогеохимические особенности пород. Породы рассматриваемой интрузии состоят из голубого кварца (30–40%), плагиоклаза (около 55–60%) с редким шахматным альбитом, мусковита, серицита. В переходных разностях присутствует эпидот, биотит, роговая обманка, актинолит. По химическим анализам (табл. 1) они отличаются от других гранитоидов высокими содержаниями кремнезема (74.7–78.7%), низкими — калия (до 1.3%) и суммы щелочей (до 5.2%).

Осейские гейсо-плагиограниты характеризуются близкими к кларкам содержаниями меди, цинка, циркония, галлия, молибдена, свинца и пониженными по отношению к кларкам содержаниями никеля, хрома, кобальта, ванадия, титана, марганца, бериллия. Отмечается максимальная дифференцированность в распределении меди.

По содержанию Rb (150–200 г/т) и Sr (175–400 г/т) (табл. 2) породы Осейского массива являются производными орогенной андезитовой магмы

Таблица 1

Химический состав гранитоидов Осейского массива

Table 1

The chemical composition of the granitoids of the Oseisk massif

№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ппп	Сумма
У-4506	77.34	0.13	11.54	1.12	0.92	0.03	0.59	2.14	5.00	0.25	1.26	100.12
У-8189	77.36	0.22	12.19	0.78	1.10	0.03	0.30	2.44	4.67	0.06	1.00	99.95
У-8854	76.35	0.22	11.71	1.62	0.92	0.04	0.31	2.23	4.36	0.64	1.06	99.26
У-8856	78.74	0.15	10.80	0.90	1.28	0.03	0.31	2.64	3.83	0.73	0.50	99.71
У-8860	74.73	0.27	12.27	1.82	1.63	0.04	0.48	3.34	4.09	0.19	0.56	99.22
У-1094	77.35	0.16	11.61	1.67	0.50	0.01	0.57	2.62	3.50	1.33	1.04	100.16

[Ферштатер и др., 1994], четко укладываются в поле гранит-мигматитовой формации и существенно отличаются от гранитоидов габбро-гранитной и тоналит-гранодиоритовой формаций [Сначёв и др., 2009] (рис. 2). На вариационной диаграмме Rb-Sr

[Колман, Донато, 1983] плагиограниты попадают в область, расположенную рядом с полями континентальных трондjemитов, кварцевых диоритов и континентальных гранофиоров и риолитов Исландии (рис. 3).

Таблица 2

Содержания Rb и Sr (г/т) в гранитоидах Осейского массива

Table 2

The contents of Rb and Sr (g/t) in the granitoids of the Oseisk massif

№№ анализа	Элемент		№№ анализа	Элемент	
	Rb	Sr		Rb	Sr
1	196	174	11	180	230
2	182	176	12	186	237
3	168	181	13	164	250
4	175	184	14	163	265
5	170	194	15	157	244
6	165	196	16	153	260
7	160	200	17	170	271
8	154	209	18	170	288
9	151	213	19	181	380
10	171	230	20	166	403

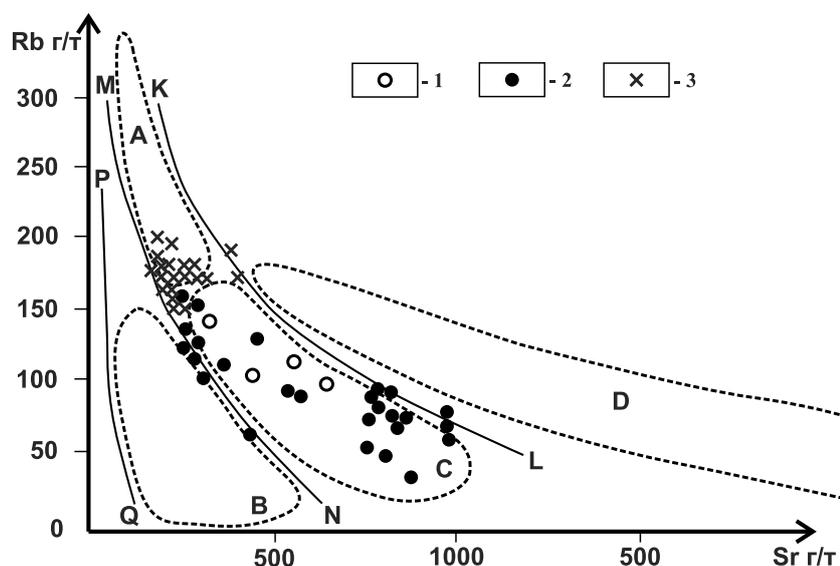


Рис. 2. Диаграмма Rb-Sr для гранитоидов Осейского, Коелгинского, Пластовского массивов и других интрузивных серий Южного Урала [Ферштатер, 1987]

Условные обозначения: 1 — гранодиориты Коелгинского массива; 2 — плагиограниты Пластовского массива; 3 — гнейсо-плагиограниты Осейского массива. Поля пород — производные различных исходных магм: левее линии PQ — толеитовой океанической; NQPM — толеитовой континентальной островодужной; LNMK — орогенной андезитовой, толеитовой, толеитовой повышенной щелочности, латитовой; выше линии LK — латитовой, щелочно-базальтовой. Области распространения южноуральских гранитоидных формаций: А — гранит-мигматитовой, В — габбро-гранитной, С — тоналит-гранодиоритовой, D — монзонит-гранитной.

Fig. 2. Rb-Sr diagram for granitoids of the Oseisk, Koelga, Plast massifs and other intrusive series of the Southern Urals [Ferstater, 1987]

Legend: 1 — granodiorites of the Koelga massif; 2 — plagiogranites of the Plast massif; 3 — gneiss-plagiogranites of the Oseisk massif. Fields of rocks — derivatives of various source magmas: PQ — tholeiitic oceanic; NQPM — tholeiitic continental island-arc; LNMK — orogenic andesite, tholeiitic, tholeiitic increased alkalinity, latitic; above the LK line — latite, alkaline-basalt. Distribution areas of the South Ural granitoid formations: A — granite-migmatite, B — gabbro-granite, C — tonalite-granodiorite, D — monzonite-granite.

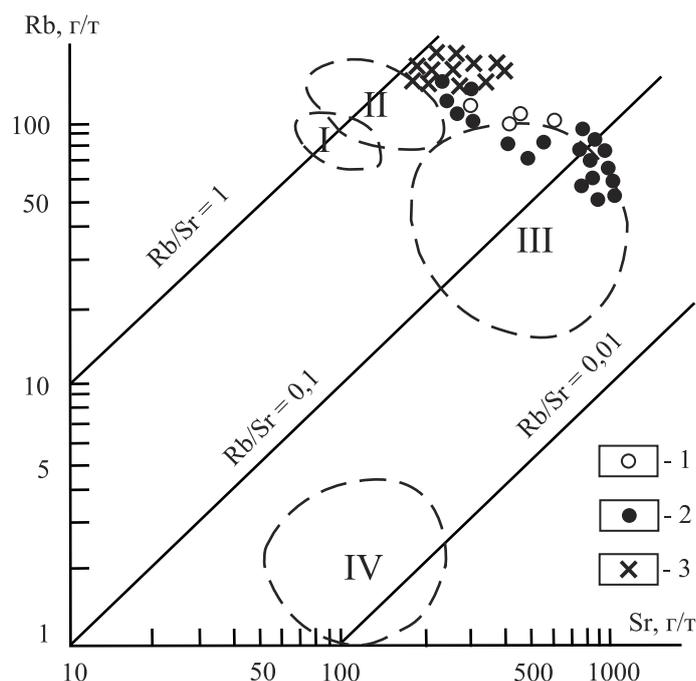


Рис. 3. Вариационная диаграмма Rb-Sr [Колман, Донато, 1983]

Условные обозначения: 1 — гранодиориты Коелгинского массива; 2 — плагииграниты Пластовского массива; 3 — гнейсо-плагииграниты Осейского массива. Поля: I — гранофиры Красного моря, II — континентальные гранофиры и риолиты Исландии, III — континентальные тронджемиты и кварцевые диориты, IV — океанические плагииграниты.

Fig. 3. The variation diagram of Rb-Sr [Colman, Donato, 1983]

Legend: 1 — granodiorites of the Koelga massif; 2 — plagiogranites of the Plast massif; 3 — gneiss-plagiogranites of the Oseisk massif. Fields: 1 — granophyres of the Red Sea, II — continental granophyres and rhyolites of Iceland, III — continental trondhjemites and quartz diorites, IV — oceanic plagiogranites.

Графики нормированного распределения РЗЭ (рис. 4) в рассматриваемых породах характеризуются линейным типом с постепенным снижением содержаний от La (K_N — 20–45) к Lu (K_N — 1–2) и отсутствием Eu-аномалии. Подобный тип распределения редких земель имеют тронджемиты континентальных окраин.

Методика исследования. Для изучения физико-химических условий становления плагиигранитов Осейского массива нами в ИГЕМ РАН (г. Москва, аналитик В.Ю. Прокофьев) выполнены исследования расплавных включений в кварце. В нем были обнаружены мелкие (3–13 мкм) включения силикатного расплава, содержащие анизотропные кристаллы силикатов (кварц, полевые шпаты), газовые пузырьки (2.3–5.4 об. %) и водный раствор в интерстициях. Подобная работа ранее проведена для гранитов Кочкарской площади, расположенной

западнее [Сначёв и др., 1989], и крупного Ахунковского массива [Демин, Сначёв, 1981].

Гомогенизация расплавных включений осуществлялась методом закалки в муфеле конструкции В.Б. Наумова [1969] с точностью определения температуры $\pm 10^\circ\text{C}$ [Коваль, Прокофьев, 1998]. Метод предполагает долгие (1–3 часа) выдержки препаратов с включениями при стабильной температуре, закалку включений на воздухе и наблюдение при комнатной температуре фазовых превращений внутри включения при ступенчатом нагреве. Величина «ступеньки» (т.е. увеличения температуры между опытами) при приближении к фазовым переходам уменьшалась, что позволило с достаточной степенью точности определить не только температуру гомогенизации, но и начало плавления силикатных фаз. Микротермометрические исследования водного флюида проводились на микротермокамере THMSG-600 фирмы «Linkam». Флюидное давление и концентрация воды в расплаве оценивалась по методике В.Б. Наумова [1979]. Для каждой пробы исследовались три группы включений с одинаковыми фазовыми соотношениями с целью получения представительной информации.

Силикатный анализ гранитоидов выполнен по стандартной методике в Институте геологии УФИЦ РАН (г. Уфа, аналитик С.А. Ягудина), нейтронно-активационный на малые элемен-

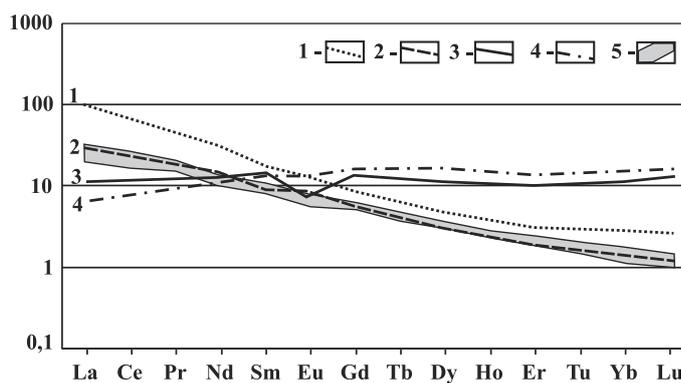


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов, нормализованное к хондриту, в тронджемитах различных геодинамических обстановок [Арт, 1983]

Условные обозначения: 1 — внутренние части континентов; 2 — континентальные окраины; 3 — островные дуги; 4 — офиолиты; 5 — гранитоиды Осейского массива.

Fig. 4. The distribution of rare earths normalized to chondrites in trondhjemites of various geodynamic settings [Art, 1983]

Legend: 1 — inner parts of the continents; 2 — continental margins; 3 — island arcs; 4 — ophiolites; 5 — granitoids of the Oseisk massif.

ты — в АСИЦ ВИМС (г. Москва, аналитик Д.Ю. Сапожников).

Обсуждение результатов исследований. Для реконструкции условий формирования гранитоидов использовались три основных параметра: температура гомогенизации включений, давление и концентрация воды в расплаве. Температура кристаллизации кварца определялась по моменту гомогенизации расплавных включений, а давление — по давлению воды в системе «расплав–включение». Кроме того, важную информацию несут дополнительные параметры — концентрация солей и хлора во флюиде, объем и плотность флюида и др.

Результаты термометрических исследований приведены в табл. 3. Начало плавления силикатных фаз фиксируется при температурах 650–660 °С, а полная гомогенизация наиболее мелких включений — 760–790 °С. Гомогенизация флюида с переходом в жидкость происходила при 291–350 °С. Плавление льда наступало при температурах –4.6...–4.1 °С, что соответствует концентрации 6.6–7.3 мас. % раствора NaCl [Vodnar, Vityk, 1994]. Большинство расплавных включений вскрывалось при нагреве, что свидетельствует о высоком внутривакуольном давлении летучих компонентов. Давление воды, рассчитанное для температур начала плавления, составляет 3480–3630 бар, что соответствует глуби-

нам 12.0–12.5 км (абиссальная зона). Концентрация воды в расплаве оценивается в 5.7–6.8 мас. %, а хлора, рассчитанная в предположении, что солевые компоненты флюида представлены только хлоридом натрия, составляет 0.23–0.30 мас. %. Наличие расплавных включений свидетельствует о первично-магматической природе плагиогранитов рассматриваемой интрузии.

Заключение. Весьма важные характеристики расплава — флюидонасыщенность и состав флюида, особенно содержания в нём хлора и солей, обеспечивающих экстракцию и перенос многих металлов [Коваль, Прокофьев, 1998]. В цитируемой работе на большом фактическом материале по Монголо-Охотской зоне определено, что в рудоносных гранитоидах, в частности редкометалльных, довольно высоки концентрации хлора, воды и растворённых в ней солей. По последнему параметру (6.6–7.3 мас. %) гранитоиды Осейского массива очень близки к рудоносным гранитам, завершающим плутонические серии, широко развитым в пределах указанной выше территории.

Таким образом, учитывая приведенный выше аналитический материал по петрогеохимии и физико-химическим условиям кристаллизации гранитоидов Осейской интрузии, можно сделать ряд следующих выводов:

Таблица 3

Результаты исследования расплавных включений в кварце гранитоидов Осейского массива

Table 3

The results of the study of melt inclusions in quartz of granitoids of the Oseisk massif

Параметры	Пл 3017		
	1	2	3
n	2	3	2
T гомогенизации флюида, °С	350 Ж	298 Ж	291 Ж
T плавления льда, °С	–4.1	–4.4	–4.6
C солей, мас. % экв. NaCl	6.6	7.0	7.3
V флюида, об. %	17.4	18.9	19.6
dP/dT, бар/°С	9.8	9.9	10.1
P, бар	3480	3490	3630
d флюида, г/см ³	0.78	0.79	0.81
C (H ₂ O), мас. %	5.7	6.4	6.8
C(Cl), мас. %	0.23	0.27	0.30
T начала плавления, °С	660	650	650
T гомогенизации расплава, °С	790	770	760

Примечания: n — количество изученных включений в каждой из трех групп с одинаковыми фазовыми соотношениями. Исследования расплавных включений проведены В.Ю. Прокофьевым (ИГЕМ, г. Москва). Методика в кратком виде описана в тексте статьи, а подробно — в работе В.Б. Наумова [1979].

Note: n is the number of inclusions studied in each of the three groups with the same phase relationships. Studies of melt inclusions conducted by V.Yu. Prokofiev (IGEM, Moscow). The methodology is briefly described in the text of the article, and in detail — in the work of V.B. Naumov [1979].

1. В Осейском массиве преобладают плагиогранитоиды. В его строении принимают участие как магматические породы, представленные плагиогранитами и гранодиоритами, так и метасоматические и реоморфические разновидности, варьирующие по составу от плагиогранитов до тоналитов и диоритов.

2. По химическому составу рассматриваемые гранитоиды соответствуют нормальнощелочным гранодиоритам и плагиогранитам с преимущественно натриевым типом щелочности.

3. По содержанию Rb и Sr породы Осейского массива являются производными орогенной андезитовой магмы, четко укладываются в поле гранит-мигматитовой формации и попадают в область, расположенную рядом с полем континентальных трондьемитов, кварцевых диоритов, а также континентальных гранофилов и риолитов Исландии.

4. Содержания и распределение РЗЭ в гранитоидах соответствуют трондьемитам континентальных окраин.

5. Кристаллизация гранитоидов Осейского массива происходила при температуре 760–790°C. Наличие расплавных включений в кварце свидетельствует об их первично-магматической природе. Давление воды в расплаве составляло 3480–3630 бар, что соответствует глубинам 12.0–12.5 км (абиссальная зона). Высокое содержание воды (5.7–6.8 мас. %), хлора (0.23–0.30 мас. %) и солей (6.6–7.3 мас. %) в расплавных включениях в кварце гранитоидов, обеспечивающих экстракцию и перенос многих металлов, позволяют отнести их к рудоносным гранитам завершающих плутонических серий.

Работа выполнена в рамках Государственного задания, тема № 0246-2019-0078.

Список литературы:

Арт Дж.Г. Некоторые элементы-примеси в трондьемитах — их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / Под ред. Ф. Баркера. — М.: Мир, 1983. — С. 99–105.

Демин Ю.И., Сначёв В.И. Тепловые поля Ахуновского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения // Докл. АН СССР. — 1981. — Т. 261, № 1. — С. 152–156.

Коваль П.В., Прокофьев В.Ю. Т-Р условия кристаллизации гранитоидов Монголо-Охотской зоны по данным исследования расплавных и флюидных включений // Петрология. — 1998. — Т. 6, № 5. — С. 497–511.

Колман Р.Г., Донато М.М. Еще раз об океанических плагиогранитах // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. — М.: Мир, 1983. — С. 118–130.

Наумов В.Б. Термометрическое исследование включений расплава во вкрапленниках кварца кварцевых порфиров // Геохимия. — 1969. — № 4. — С. 494–498.

Наумов В.Б. Определение концентрации и давления летучих компонентов в магматических расплавах // Геохимия. — 1979. — № 7. — С. 997–1007.

Рыкус М.В., Сначёв В.И., Кузнецов Н.С., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Сначёв А.В. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // Нефтегазовое дело. — 2009. — Т. 7, № 2. — С. 17–27.

Савельев Д.Е., Сначёв А.В., Пучков В.Н., Сначёв В.И. Петрогеохимические и геодинамические особенности формирования ордовикско-раннесилурийских базальтов восточного склона Южного Урала // Геологический сборник № 5 / ИГ УНЦ РАН. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. — С. 86–104.

Сначёв А.В., Пучков В.Н., Сначёв В.И., Савельев Д.Е., Бажин Е.А. Большаковский габбровый массив фрагмент Южно-Уральской зоны раннекаменноугольного рифта // Докл. РАН. — 2009. — Т. 429, № 1. — С. 79–81.

Сначёв В.И., Демин Ю.И., Романовская М.А., Шулькин В.Е. Тепловой режим становления гранитоидных массивов. — Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. — 120 с.

Сначёв В.И., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Мосейчук В.М., Сначёв А.В., Шиянова А.А., Рыкус М.В. Рудоносность углеродистых отложений северной половины Маярдакского и Ямантауского антиклинориев // Геологический сборник № 6 / ИГ УНЦ РАН. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2007. — С. 227–232.

Ферштатер Г.Б. Петрология главных интрузивных ассоциаций. — М.: Наука, 1987. — 232 с.

Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Рапопорт М.С., Осипова Т.А., Смирнов В.Н., Левин В.Я. Орогенный гранитоидный магматизм Урала. — Свердловск: ИГГ УрО РАН, 1994. — 250 с.

Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of Microthermometric Data for H₂O–NaCl Fluid Inclusions // Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications / B. De Vivo, M.L. Frezzotti (eds.). — Published by Virginia Tech, Blacksburg, VA, 1994. — P. 117–130.

References:

Art J.G. Nekotoryye elementy-primesi v trond'yemitakh — ikh znachenije dlya vyasneniya genezisa magmy i paleotektonicheskikh usloviy [Some impurity elements in trondjemite — their importance for elucidating the genesis of magma and paleotectonic conditions] // Trond'emity, dacity i svyazannye s nimi porody [Trondjemites, dacites and related rocks] / F. Barker (ed.). M.: Mir, 1983. P. 99–105. (In Russian).

Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of Microthermometric Data for H₂O–NaCl Fluid Inclusions // Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications / B. De Vivo, M.L. Frezzotti (eds.). — Published by Virginia Tech, Blacksburg, VA, 1994. — P. 117–130.

Coleman R.G., Donato M.M. Yeshche raz ob okeanicheskikh plagiogranitakh [Once again about oceanic plagiogranites] // Trond'emity, dacity i svyazannye s nimi porody [Trondjemity, dacites and related rocks]. M.: Mir, 1983. P. 118–130. (In Russian).

Demin Yu.I., Snachev V.I. Teplovye polya Ahunovskogo granitnogo massiva i zakonomernosti razmeshcheniya v nih orudneniya [Thermal fields of the Akhunovo massif and the regularities of mineralization distribution in them] // Doklady AN SSSR. 1981. V. 261, No. 1. P. 152–156.

Fershtater G.B. Petrologiya glavnykh intruzivnykh asotsiatsiy [Petrology of the main intrusive associations]. M.: Nauka, 1987. 232 p. (In Russian).

Fershtater G.B., Borodina N.S., Rapoport M.S., Osipova T.A., Smirnov V.N., Levin V.Ya. Orogennyi granitoidnyi magmatizm Urala [Ural orogenic granitoid magmatism]. Sverdlovsk: IGG UrO RAN, 1994. 250 p. (In Russian).

Koval P.V., Prokofiev V.Yu. The T–P conditions of crystallization of granitoids in the Mongol–Okhotsk zone: Evidence from studies of melt and fluid inclusions // Petrologiya. 1998. V. 6, No. 5. P. 497–511.

Naumov V.B. Termometricheskoe issledovanie vklyucheni rasplava vo vkraplennikah kvartsa kvartsevykh porfirov [Thermometric study of melt inclusions in quartz phenocrysts from quartz porphyries] // Geokhimiya. 1969. No. 4. P. 494–498.

Naumov V.B. Opredelenie koncentracii i davleniya letuchih komponentov v magmaticheskikh rasplavah [Determination of concentration and pressure of volatiles in magmatic melts based on inclusions in minerals] // Geokhimiya. 1979. No. 7. P. 997–1007.

Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Saveliev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. Rudonosnost' dunit-gartsburgitovoi i chernoslantsevoi formatsii pogranichnoi zony mezhdU Yuzh-

nym i Srednim Uralom [Ore bearing of the dunit-harzburgite and black shale formations of the border zone between the Southern and Middle Urals] // Neftegazovoe delo. 2009. V. 7, No. 2. P. 17–27. (In Russian).

Saveliev D.E., Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I. Petrogeokhimicheskie i geodinamicheskie osobennosti formirovaniya ordoviksko-rannesiluriyskikh bazal'tov vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Petrogeochemical and geodynamic features of the formation of the Ordovician–Early Silurian basalts of the eastern slope of the Southern Urals] // Geologicheskii sbornik № 5 / IG USC RAS. Ufa: DizainPoligrafServis, 2006. P. 86–104. (In Russian).

Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I., Savel'ev D.E., Bazhin E.A. Bol'shakovskii gabbro massif as a fragment of the Southern Urals zone of Early Carboniferous rift // Doklady Earth Sciences. 2009. V. 429, No. 8. P. 1267–1269.

Snachev V.I., Demin Yu.I., Romanovskaya M.A., Schulkin V.E. Teplovoi rezhim stanovleniya granitoidnykh massivov [The thermal regime of the formation of granitoid massifs] BSC UrO RAN USSR. Ufa, 1989. 120 p. (In Russian).

Snachev V.I., Puchkov V.N., Saveliev D.E., Moseychuk V.M., Snachev A.V., Shiyanova A.A., Rykus M.V. Rudonosnost' uglerodistykh otlozhenii severnoi poloviny Mayardakskogo i Yamantauskogo antiklinoriyev [Ore content of carbonaceous deposits in the northern half of the Mayardak and Yamantau anticlinoria] // Geologicheskii sbornik № 6 / IG USC RAS. Ufa: DizainPoligrafServis, 2007. P. 227–232. (In Russian).

Сведения об авторах:

Сначёв Владимир Иванович, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: SAVant@inbox.ru

Сначёв Александр Владимирович, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: SAVant@rambler.ru

About the authors:

Snachev Vladimir Ivanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institution of Russian Academy of Sciences Institute of Geology of the Ufimian Scientific Centre (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: SAVant@inbox.ru

Snachev Alexander Vladimirovich, Candidate of geological and mineralogical sciences, Institution of Russian Academy of Sciences Institute of Geology of the Ufimian Scientific Centre (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: SAVant@rambler.ru