ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГРАНИТОИДОВ ПЛАСТОВСКОГО МАССИВА (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКИЙ ПРОГИБ)

GEOLOGY, PETROGEOCHEMISTRY AND CRYSTALLIZATION CONDITIONS OF PLASTOVSKY GRANITOIDS MASSIVE (EASTERN URAL TROUGH)

В. И. Сначёв**Vladimir I. Snachev**

Институт геологии Уфимского
федерального
исследовательского центра РАН,
г. Уфа, Российская Федерация

Institute of Geology
of the Ufa Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russian Federation

М. В. Рыкус**Mikhail V. Rykus**

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

В статье приводится описание геологического строения Пластовского гранитоидного массива, расположенного в северной части Восточно-Уральского прогиба. Сложен он гранитоидами, образование которых происходило в два этапа: в первый из них сформировались гранодиориты, кварцевые диориты и биотитовые граниты, а во второй – плагиограниты. Массив залегает среди метаморфических пород еремкинской, осейской толщ и вулканогенных пород силурийско-нижнекаменноугольного возраста.

По химическому составу рассматриваемые гранитоиды соответствуют нормальнощелочным гранодиоритам и плагиогранитам с преимущественно натриевым типом щелочности. По содержанию Rb и Sr они являются производными орогенной андезитовой магмы, четко укладываются в поле тоналит-гранодиоритовой формации и попадают в область континентальных трондьемитов и кварцевых диоритов. Распределение редкоземельных элементов в гранодиоритах и мусковит-биотитовых гранитах пластовского комплекса соответствуют трондьемитам континентальных окраин, а в плагиогранитах – внутренним частям континентов.

Установлено, что кристаллизация гранитоидов Пластовского массива происходила при температуре 850–1030 °С. Наличие расплавных включений в кварце свидетельствует об их первично-магматической природе. Давление воды в расплаве составляло 1460–3380 бар, что соответствует глубинам 5–11 км (абиссальная зона). Высокое содержание воды (1,0–3,1 % масс.), хлора (0,09–0,16 % масс.) и солей (6,2–10,2 % масс.) в расплавных включениях в кварце гранитоидов, обеспечивающих экстракцию и перенос многих металлов, позволяют отнести их к рудоносным гранитам завершающих плутонических серий.

The article describes the geological structure of the Plastovsky granitoid massif located in the northern part of the East Ural trough. It is composed of granitoids, the formation of which took place in two stages: in the first of them granodiorites, quartz diorites and biotite granites were formed, and in the second — plagiogranites. The massif lies among the metamorphic rocks of the yeremkinsky, oseysky strata and volcanic rocks of the silurian-lower carboniferous age.

Chemical composition of the granitoids corresponds to normal alkaline granodiorites and plagiogranites with a predominantly sodium type of alkalinity. According to the content of Rb and Sr, they are derivatives

Ключевые слова

пластовский массив;
плагиограниты; гранодиориты;
расплавные включения;
петрогеохимия; давление;
температура

Key words

plastovsky massif; plagiogranites;
granodiorites; melt inclusions;
petrogeochemistry; pressure;
temperature

of orogenic andesite magma, clearly fit into the field of tonalite-granodiorite formation and fall into the field of continental trondjemites and quartz diorites. The distribution of rare earth elements in granodiorites and muscovite-biotite granites of the plastovsky complex corresponds to the trondjemites of the continental margins, and in plagiogranites — to the interior of the continents.

It was established that the crystallization of the Plastovsky granitoid massif occurred at a temperature of 850–1030 °C. The presence of melt inclusions in quartz indicates their primary magmatic nature. The water pressure in the melt was 1460–3380 bar, which corresponds to depths of 5–11 km (abyssal zone). High content of water (1.0–3.1 wt. %), chlorine (0.09–0.16 wt. %) and salts (6.2–10.2 wt. %) in melt inclusions in quartz granitoids, providing the extraction and transfer of many metals, they make it possible to attribute them to ore-bearing granites of the final plutonic series.

Пластовский массив относится к одноименному тоналит-плагиогранитовому комплексу и расположен в северной части Восточно-Уральского прогиба [1, 2]. Представлен он породами двух фаз: первая — гранодиориты, реже кварцевые диориты и биотитовые граниты. Основу интрузии составляют породы второй фазы — тоналиты гнейсовидные и массивные, плагиограниты мезо- и лейкократовые, нередко гнейсовидные; дайки плагиогранитов, лампрофиров.

Массив в плане имеет удлиненную форму и вытянут в субмеридиональном направлении

на 26 км при ширине от 7 до 10 км (рисунок 1). Вертикальная мощность варьируется от 2 до 8 км. С запада он прорывает гнейсы и кристаллические сланцы еремкинской толщи (V_{1-2gr}), содержащей довольно мощные прослои углеродистых отложений с повышенными содержаниями золота [3], а с востока — биотит-полевошпатовые, амфибол-полевошпатовые гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты осейской толщи (Pz_{1os}) и вулканогенные породы силурийско-нижнекаменноугольного возраста.

Условные обозначения: 1 — песчаники, туфопесчаники, глинисто-углеродистые сланцы; 2 — карбонатная толща; 3 — красноцветные порфириды андезитового, дацитового, реже базальтового состава, их туфы, песчаники; 4 — углеродисто-кремнистые, глинисто-кремнистые сланцы, известняки; 5 — туфы андезито-базальтового состава, прослои базальтов, туфопесчаников; 6 — субщелочные базальты, пикрито-базальты, их туфы; 7 — спилиты, диабазы, пироксеновые порфириды, реже туфы; 8 — туфы основного и среднего состава, прослои пироксеновых порфиритов основного состава; 9 — туфы андезито-базальтового, андезитового и дацитового состава; андезит-базальтовые, андезитовые и дацитовые порфириды; 10 — базальты, андезито-базальты, редко туфы, туфиты; 11 — биотит-полевошпатовые, амфибол-полевошпатовые гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, глинисто-кремнистые сланцы; 12 — граниты, гранито-гнейсы; 13 — плагиограниты; 14–15 — гранодиориты; 16 — малокалевые граниты; 17 — габбро-диориты (а), габбро, габбро-диабазы (б); 18 — серпентиниты; 19 — гранитоидные массивы (I — Варламовский массив, II — Коелгинский, III — Пластовский, IV — Зеленодольский, V — Летягинский, VI — Медиаковский, VII — Краснооктябрьский, VIII — Портнягинский, IX — Кособродский, X — Центральный, XI — Каменский, XII — Новоукраинский, XIII — Чернореченский, XIV — Увельский); 20 — скважины

Рисунок 1. Геологическая карта северной части Восточно-Уральского прогиба [1]

Согласно геолого-съемочным работам, проведенным в 2008–2012 гг. сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъемка» (лист N-41-XIII, Пласт, М 1:200 000) совместно с авторами данной статьи, преобладающими породами Пластовского массива являются плагиограниты второй фазы — серые, светло-серые породы, имеющие мелко-, среднезернистую структуру; массивную, порфировидную или гнейсовидную текстуру. В их составе: плагиоклаз (60–65 %), кварц (25–30 %), калиевый полевой шпат (2–3 %), биотит±роговая обманка (3–10 %).

Плагиоклаз (альбит-олигоклаз № 10–18) слагает идиоморфные таблитчато-призматические полисинтетически сдвойникованные зерна размерами от 1,0–1,5 до 3,0–4,0 мм, интенсивно серицитизированные. Калиевый полевой шпат (ортоклаз, реже решетчатый микроклин) образует широкотаблитчатые зерна размерами до 3,0 мм, как правило, пелитизированные. Кварц в породе ксеноморфный, как правило, раскристаллизованный, часто отмечаются гранобластовые агрегаты мелких зерен в контурах первичных кристаллов.

Биотит представлен одиночными чешуйками (размерами 1,0–1,5 мм), либо сгустковыми скоплениями, иногда замещается крупночешуйчатым мусковитом. Редко в шлифах встречается роговая обманка. В порфировидных плагиогранитах преобладают вкрапленники таблитчатых зональных зерен плагиоклаза размерами 2,5–3,0 мм, центральные части которых частично замещаются эпидотом, карбонатом, серицитом. Микроструктура пород гипидиоморфнозернистая, порфировидная. Среди акцессорных минералов следует отметить циркон, апатит, флюорит, сфен, эпидот, гранат, рутил, магнетит, ильменит.

Жильная фация комплекса весьма разнообразна и включает мелкозернистые плагиограниты, диоритовые порфиры, плагиогранит-порфиры, граниты, гранит-аплиты, гранодиорит-порфиры и лампрофиры (керсантиты). Они образуют дайки мощностью от 0,5 до 10 м преимущественно северо-западного и северо-восточного простирания, реже субмеридионального и субширотного.

Характерными породами основного и среднего состава, относимыми к жильным метасоматически измененным образованиям, являются так называемые «табашки». Среди них различают биотитовые, биотит-амфиболовые, амфиболовые и хлоритовые разновид-

ности. Кроме темноцветных минералов в них присутствуют кварц, плагиоклаз, скаполит, карбонаты и сульфиды. В центральной части Пластовского массива «табашки» слагают субширотные крутопадающие дайкообразные тела, сопровождающие золотоносные кварцевые жилы.

Комплекс относится к гранодиорит-плагиогранитовой формации [4]. С ним связано золото-сульфидно-кварцевое и урановое оруденение. Установленный современным U-Pb SHRIMP-II методом возраст плагиогранитов Пластовского массива, по данным Г.Б. Ферштатера [2], составляет 361 ± 6 млн лет. Для мусковит-биотитовых плагиогранитов датировки, полученные тем же методом геологами-съемщиками ОАО «Челябинскгеосъемка» в 2012 году, близки 360 млн лет, а для цирконов из гранодиоритов Коелгинского массива — 374,2 млн лет. Исходя из полученных данных, возраст Пластовского комплекса принимается позднедевонско-раннекаменноугольным.

По минеральному составу и содержанию кремнезема в породах массивов Пластовского комплекса выделяются следующие серии пород: тоналиты ($\text{SiO}_2 = 62,2\text{--}67,4\%$) и плагиограниты ($\text{SiO}_2 = 70,2\text{--}73,0\%$). Преобладание оксида натрия над оксидом калия почти постоянное, но незначительное (таблица 1). По соотношению щелочей породы ближе к малокалиевым гранитам, чем к плагиогранитам, с ростом кремнекислотности содержания CaO, MgO, FeO закономерно снижаются. Сравнительно высокое содержание калия в гомогенных плагиогранитах обусловлено, по-видимому, широко проявленными в них процессами микроклинизации и мусковитизации. В лейкократовых плагиогранито-гнейсах содержание кремнезема достигает 76,0 %, а оксида калия резко понижается до 0,8 %.

По химическому составу рассматриваемые гранитоиды соответствуют нормальнощелочным гранодиоритам и плагиогранитам с преимущественно натриевым типом щелочности. С ростом кремнекислотности содержания TiO_2 и MgO снижаются, увеличивается глиноземистость. В геохимическом спектре пород отмечаются вышесларковые содержания ($n \times 10^{-3} \%$): Ni (2–15), Co (0,5–2), Cr (15–90), V (7–15), Cu (3–50), Zn (7–30), Pb (3–10), Ag (0,01–0,05), Mo (до 0,4), Ba (90–300), W в плагиогранитах (0,5–1), Sn в гранитах и плагиогранитах (0,5–1), Be (0,15–0,2), Li в плагиогранитах (до 5–10).

Таблица 1. Химический состав (% масс.) гранитоидов Пластовского массива

№ п/п	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Σ
1	1532	70,20	0,28	15,90	1,29	0,71	0,05	0,92	4,31	3,64	2,04	0,19	0,94	100,47
2	672	70,56	0,32	15,05	0,94	1,34	0,03	2,32	1,43	6,11	1,84	0,10	0,82	100,86
3	1575	70,92	0,22	15,68	0,31	1,13	0,05	0,60	2,88	3,80	2,83	0,10	1,14	99,66
4	1576	72,50	0,20	13,84	0,27	1,27	0,07	0,84	2,59	4,00	4,10	0,08	0,82	100,58
5	670	72,90	0,23	16,78	0,72	0,70	0,03	1,32	0,71	1,17	3,90	0,05	2,30	100,81
6	668	73,06	0,17	15,24	0,83	0,63	0,01	0,09	2,29	5,15	2,36	0,06	1,04	100,82
7	253-1	72,20	0,07	13,65	0,37	0,68	0,01	0,16	1,14	3,82	4,00	0,03	2,96	99,09
8	3017	71,82	0,18	14,23	1,17	0,39	0,05	1,16	1,83	4,19	2,78	0,07	2,01	99,88
9	3017-1	75,98	0,20	12,20	1,52	0,62	0,02	0,78	2,20	4,40	0,82	0,03	1,11	99,88
10	4030-1	73,02	0,16	14,90	0,72	0,56	0,01	0,94	1,10	4,67	3,09	0,07	0,57	99,81
11	901-1	71,96	0,16	15,36	0,53	0,86	0,01	0,60	2,59	3,75	3,19	0,09	0,62	99,72
12	901-2	73,00	0,15	13,24	0,74	0,63	0,01	0,60	2,59	3,64	2,99	0,05	2,12	99,76

Примечания: 1–10 — плагиограниты Пластовского массива; 11–12 — мусковит-биотитовые граниты Пластовского массива.

Анализы принадлежат ОАО «Челябинскгеосъемка» и авторам.

Имеющиеся геохимические данные [1] свидетельствуют об общем снижении содержания большинства литофильных элементов в породах Пластовского и Коелгинского массивов по отношению к общим гранитным кларкам и об их близости к стандартным гранитоидам, обогащенным кальцием. Наблюдаемые локальные повышения Li, Rb, Be, Th, U могут быть обусловлены воздействием на них постмагматических флюидов, сопровождавших формирование жильных гранитов и пегматитов.

По содержанию Rb (48–160 г/т) и Sr (218–980 г/т) породы комплекса являются

производными орогенной андезитовой магмы [4], четко укладываются в поле тоналит-гранодиоритовой формации и существенно отличаются от гранитоидов габбро-гранитной формации [5] (рисунок 2). На вариационной диаграмме Rb–Sr [7] плагиограниты Пластовского массива попадают в область континентальных трондьемитов и кварцевых диоритов (рисунок 3).

Графики нормированного распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) (рисунок 4) в рассматриваемых породах характеризуются линейным типом с постепенным снижением содержания от La (K_N — 15–200) к Lu (K_N —

Условные обозначения: Поля пород — производные различных исходных магм: P₀Q — 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: A — гранит-мigmatитовой, B — габбро-гранитной, C — тоналит-гранодиоритовой, D — монзонит-гранитной

Рисунок 2. Диаграмма Rb–Sr для пород Пластовского массива и других интрузивных серий Южного Урала [6]

Поля: I — гранофиры Красного моря; II — континентальные гранофиры и риолиты Исландии; III — континентальные трондjemиты и кварцевые диориты; IV — океанические плагиограниты

Рисунок 3. Вариационная диаграмма Rb–Sr [7]

1–6) и отсутствием Eu-аномалии (таблица 2). Примечательно, что гранодиориты Коелгинского и мусковит-биотитовые граниты Пластовского массивов содержат РЗЭ меньше (занимают нижнюю часть серого поля на рисунке 4), чем плагиограниты Пластовского массива (верхняя его часть). Подобный тип

распределения редких земель имеют трондjemиты континентальных окраин (в нашем случае для гранодиоритов и мусковит-биотитовых гранитов) или внутренних частей континентов (для плагиогранитов).

Для изучения физико-химических условий становления плагиогранитов Пластовского

Условные обозначения: 1 — внутренние части континентов; 2 — континентальные окраины; 3 — островные дуги; 4 — офиолиты. Серое поле — гранитоиды пластовского комплекса (верхняя часть — плагиограниты Пластовского массива, нижняя — мусковит-биотитовые граниты Пластовского массива и гранодиориты Коелгинского массива)

Рисунок 4. Распределение редкоземельных элементов, нормализованное по хондритам, в трондjemитах различных геодинамических обстановок [8]

Таблица 2. Содержание редкоземельных элементов (г/т) в гранитоидах Пластовского массива

№ п/п	№ пробы	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	668	6,69	26,30	43,40	5,62	20,90	4,08	0,96	2,77	0,33	1,43	0,19	0,62	0,09	0,64	0,07
2	670	4,11	11,20	30,80	2,74	9,72	2,25	0,58	1,47	0,17	0,85	0,13	0,35	0,04	0,27	0,04
3	672	6,45	5,38	11,50	1,50	5,83	1,89	0,62	1,26	0,21	1,17	0,19	0,59	0,10	0,58	0,13
4	1532	6,76	45,90	88,70	8,86	30,80	5,24	1,19	2,78	0,37	1,37	0,24	0,60	0,09	0,43	0,07
5	1575	10,90	42,70	91,20	10,00	38,20	6,24	1,50	3,69	0,48	2,30	0,34	0,86	0,14	0,90	0,14
6	3069	5,79	34,70	54,30	7,39	24,20	5,19	0,99	2,86	0,44	1,77	0,23	0,50	0,10	0,61	0,09
7	3016-1		87,06	52,58	40,83	24,46	16,09	14,69	9,35	6,11	4,29	3,04	2,23	1,58	1,10	0,86
8	3017		76,18	45,16	35,83	22,62	15,77	11,85	10,29	7,41	5,50	4,43	3,39	2,67	1,89	1,66
9	3017-1		19,53	16,56	17,33	14,15	12,86	10,62	13,55	11,67	11,44	10,76	10,56	10,28	8,37	10,00
10	4030-1		51,76	35,59	29,17	19,23	13,73	14,20	11,94	9,44	8,06	6,84	5,92	5,28	4,14	4,00
11	902-1		81,47	48,06	35,92	22,15	14,18	11,73	11,45	9,26	7,94	6,71	5,79	5,28	4,10	4,00
12	901-1		24,18	17,42	15,08	10,80	8,23	5,80	5,26	3,70	2,97	2,28	1,85	1,44	1,06	0,94
13	901-2		81,47	20,54	17,83	11,69	8,82	7,16	6,26	5,19	4,50	4,18	3,52	3,06	2,51	2,49

Примечание: 1–10 — плагиограниты; 11–13 — мусковит-биотитовые граниты.

Анализы принадлежат ОАО «Челябинскгеосъемка» и авторам.

массива нами в ИГЕМе РАН (г. Москва, аналитик В.Ю. Прокофьев) выполнены исследования расплавных включений в кварце. В нем были обнаружены мелкие (7–19 мкм) включения силикатного расплава, содержащие анизотропные кристаллы силикатов (кварц, полевые шпаты), газовые пузырьки (0,8–6,7 % об.) и водный раствор в интерстициях. Подобная работа ранее проведена для гранитов Кочкарской площади, расположенной западнее [1], и крупных Ахуновского [9] и Суондуского [10, 11] массивов.

Гомогенизация расплавных включений осуществлялась методом закалки в муфеле конструкции В.Б. Наумова [12] с точностью определения температуры $\pm 10^\circ\text{C}$ [13]. Метод предполагает долгие (1–3 ч) 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 оценивались по методике В.Б. Наумова [14]. Для каждой пробы исследовались три группы включений с одинаковыми фазовыми соотношениями с целью получения представительной информации.

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, объём и плотность флюида и др.

Результаты термометрических исследований приведены в таблице 3. Начало плавления силикатных фаз фиксируется при температурах 660–730 $^\circ\text{C}$, а полная гомогенизация наиболее мелких включений — при 850–1030 $^\circ\text{C}$. Гомогенизация флюида с переходом в жидкость происходила при 302–443 $^\circ\text{C}$. Плавление льда наступало при температурах от –6,8 до –3,8 $^\circ\text{C}$, что соответствует концентрации 6,2–10,2 % масс. раствора NaCl [15]. Большинство расплавных включений вскрывалось при нагреве, что свидетельствует о высоком внутривакуольном давлении летучих компонентов. Давление воды, рассчитанное для температур начала плавления, составляет 1460–3380 бар, что соответствует глубинам 5–11 км (абиссальная зона). Концентрация воды в расплаве оценивается в 1,0–3,1 % масс., а хлора, рассчитанная в предположении, что солевые компоненты флюида представлены только хлоридом натрия, составляет 0,09–0,16 % масс. Наличие расплавных включений свидетельствует о первично-магматической природе гранитоидов рассматриваемого комплекса.

Весьма важные характеристики расплава — флюидонасыщенность и состав флюида, особенно содержания в нём хлора и солей, обеспечивающих экстракцию и перенос многих металлов [11]. В цитируемой работе на большом фактическом материале по Монголо-Охотской зоне определено, что в рудоносных гранитоидах, в частности редкометальных,

довольно высоки концентрации хлора, воды и растворённых в ней солей. По последнему параметру (6,2–10,2 % масс.) плагиограниты Пластовского массива приближаются к рудоносным гранитам завершающих плутонических серий, широко развитых в пределах указанной выше территории.

Таблица 3. Результаты исследования расплавных включений в кварце плагиогранитов Пластовского массива

Параметры	Пл 1/3			Пл 2/1		
	1	2	3	1	2	3
n	2	3	2	3	4	4
T гомогенизации флюида, °C	430 Ж	443 Ж	438 Ж	340 Ж	328 Ж	302 Ж
T плавления льда, °C	-6,8	-6,2	-6,3	-5,4	-4,9	-3,8
C солей, % масс. экв. NaCl	10,2	9,5	9,6	8,4	7,7	6,2
V флюида, % об.	7,8	5,5	4,3	10,6	9,3	7,8
dP/dT, бар/°C	5,9	5,5	5,6	8,6	9,0	10,0
P, бар	1770	1460	1470	2750	2990	3580
d флюида, г/см ³	0,61	0,53	0,58	0,73	0,74	0,78
C (H ₂ O), % масс.	1,9	1,1	1,0	3,1	2,7	2,4
C(Cl), % масс.	0,12	0,07	0,06	0,16	0,13	0,09
T начала плавления, °C	730	710	700	660	660	660
T гомогенизации расплава, °C	1030	1010	980	890	880	850

Примечание: 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 [14]

Выводы

1. Массив представлен породами двух фаз: первая — гранодиориты, реже кварцевые диориты и биотитовые граниты; вторая — плагиограниты. Последние развиты гораздо шире, чем первые.

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

3. По содержанию Rb и Sr породы пластовского комплекса являются производными орогенной андезитовой магмы, четко укладываются в поле тоналит-гранодиоритовой формации и попадают в область континентальных трондьемитов и кварцевых диоритов.

4. Содержания и распределение редкоземельных элементов в гранодиоритах и муско-

вит-биотитовых гранитах соответствуют трондьемитам континентальных окраин, а в плагиогранитах — внутренним частям континентов.

5. Кристаллизация гранитоидов Пластовского массива происходила при температуре 850–1030 °C. Наличие расплавных включений в кварце свидетельствует о первично-магматической их природе. Давление воды в расплаве составляло 1460–3380 бар, что соответствует глубинам 5–11 км (абиссальная зона). Высокое содержание воды (1,0–3,1 % масс.), хлора (0,09–0,16 % масс.) и солей (6,2–10,2 % масс.) в расплавных включениях в кварце гранитоидов, обеспечивающих экстракцию и перенос многих металлов, позволяют отнести их к рудоносным гранитам завершающих плутонических серий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сначёв В.И., Демин Ю.И., Романовская М.А., Шулькин В.Е. Тепловой режим становления гранитоидных массивов. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 116 с.
2. Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магнетизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.

3. 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.

4. 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.

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

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

7. Колман Р.Г., Донато М.М. Еще раз об океанических плагиогранитах. М.: Мир, 1983. С. 118–130.

8. Баркер Ф., Эварт А., Арт Дж.Г. Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. М.: Мир, 1983. 488 с.

9. Демин Ю.И., Сначёв В.И. Тепловые поля Ахунского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения // Доклады Академии наук СССР. 1981. Т. 261. № 1. С. 152–156.

10. Сначёв А.В., Сначёв В.И., Рыкус М.В. Перспективы рудоносности углеродистых отложений западного обрамления Суундукского гранитного массива // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8. № 2. С. 11–20.

11. Серавкин И.Б., Сначёв В.И. Стратиформные полиметаллические месторождения восточной провинции Южного Урала // Геология рудных месторождений. 2012. № 3. С. 253–265.

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

13. 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.

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

15. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of Microthermometric Data for H₂O-NaCl Fluid Inclusions // In Book: De Vivo B., Frezzotti M.L. Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Application. Pontignino-Siena. 1994. P. 117–130.

REFERENCES

1. Snachev V.I., Demin Yu.I., Romanovskaya M.A., Shchulkin V.E. *Teplovoi rezhim stanovleniya granitoidnykh massivov* [The Thermal Regime of the Formation of Granitoid Massifs]. Ufa, BNTs UrO AN SSSR Publ., 1989. 116 p. [in Russian].

2. Fershtater G.B. *Paleozoiskii intruzivnyi magnetizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic Intrusive Magmatism of the Middle and South Urals]. Ekaterinburg, RIO UrO RAN Publ., 2013. 368 p. [in Russian].

3. Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Savelev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. Rudonosnost' dunitgartsburgitovoi i chernoslantsevoi formatsii pogranichnoi zony mezhdru Yuzhnym i Srednim Uralom [Ore Mineralization of Dunite-Harzburgite and Black Shale Formations in a Transitional Area between the South and Middle Urals]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2009, Vol. 7, No. 2, pp. 17–27. [in Russian].

4. Fershtater G.B., Borodina N.S., Rapoport M.S., Osipova T.A., Smirnov V.N., Levin V.Ya. *Orogennyi grani-*

toidnyi magmatizm Urala [Orogenic Granitoid Magmatism of the Urals]. Sverdlovsk, IGG UrO RAN Publ., 1994. 250 p. [in Russian].

5. Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I., Savelev D.E., Bazhin E.A. Bol'shakovskii gabbrovyy massiv fragment Yuzhno-Ural'skoi zony rannekamennougol'nogo rifta [Bol'shakovskii Gabbro Massif as a Fragment of the Southern Urals zone of Early Carboniferous Rift]. *Doklady Akademii nauk — Doklady Akademii Nauk*, 2009, Vol. 429, No. 1, pp. 79–81. [in Russian].

6. Fershtater G.B. *Petrologiya glavnykh intruzivnykh assotsiatsii* [Petrology of the Main Intrusive Associations]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 232 p. [in Russian].

7. Kolman R.G., Donato M.M. *Eshche raz ob okeanicheskikh plagiogranitakh* [Once again about Oceanic Plagiogranites]. Moscow, Mir Publ., 1983. S. 118–130. [in Russian].

8. Barker F., Evart A., Art Dzh.G. *Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody* [Trondhjemites, Dacites and Related Rocks]. Moscow, Mir Publ., 1983. 488 p. [in Russian].

9. Demin Yu.I., Snachev V.I. Teplovyie polya Akhunovskogo granitnogo massiva i zakonornosti razmeshcheniya v nikh orudeneniya [Thermal Fields of the Akhunovsky Granite Massif and Patterns of Mineralization in Them]. *Doklady Akademii nauk SSSR — Soviet Physics. Doklady*, 1981, Vol. 261, No. 1, pp. 152–156. [in Russian].

10. Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V. Perspektivy rudonosnosti ugleodistykh otlozhenii zapadnogo obramleniya Suundukского granitnogo massiva [Prospects for Ore Mineralization of Carbonaceous Deposits in the Western Border of Suunduksky Granitic Massif]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2010, Vol. 8, No. 2, pp. 11–20. [in Russian].

11. Seravkin I.B., Snachev V.I. Stratiformnye polimetallicheskie mestorozhdeniya vostochnoi provintsii Yuzhnogo Urala [Stratiform Base-Metal Deposits in the Eastern Province of the Southern Urals, Russia]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii — Geology of Ore Deposits*, 2012, No. 3, pp. 253–265. [in Russian].

12. Naumov V.B. Termometricheskoe issledovanie vklucheni raspava vo vkraplennikakh kvartsa kvartsevykh porfirov [Thermometric Study of Melt Inclusions in Quartz Phenocrysts of Quartz Porphyry]. *Geokhimiya — Geochemistry International*, 1969, No. 4, pp. 494–498. [in Russian].

13. Koval P.V., Prokofev V.Yu. T-R usloviya kristallizatsii granitoidov Mongolo-Okhotskoi zony po dannym issledovaniya rasplavnykh i flyuidnykh vklucheni [TP P Crystallization Conditions of Granitoids of the Mongol-Okhotsk Zone According to the Study of Melt and Fluid Inclusions]. *Petrologiya — Petrology*, 1998, Vol. 6, No. 5, pp. 497–511. [in Russian].

14. Naumov V.B. Opredelenie kontsentratsii i davlениya letuchikh komponentov v magmaticheskikh rasplavakh [Determination of Concentration and Pressure of Volatile Components in Magmatic Melts]. *Geokhimiya — Geochemistry International*, 1979, No. 7, pp. 997–1007. [in Russian].

15. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of Microthermometric Data for H₂O-NaCl Fluid Inclusions. In Book: De Vivo B., Frezzotti M.L. *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Application*. Pontignino-Siena, 1994, pp. 117–130.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Сначёв Владимир Иванович, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Российская Федерация

Vladimir I. Snachev, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Geology, UFRS RAS, Ufa, Russian Federation

e-mail: SAVant@inbox.ru

Рыкус Михаил Васильевич, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Mikhail V. Rykus, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor of Geology and Exploration of Oil and Gas Field Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rykusmihail@mail.ru