

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ ПОГРАНИЧНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА

© 2019 г. А. В. Сначёв<sup>а,\*</sup>, В. И. Сначёв<sup>а,\*\*</sup>, С. Е. Знаменский<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup> Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН  
Россия, 450077 Уфа, ул. Карла Маркса, 16

e-mail: \* savant@rambler.ru, \*\* savant@inbox.ru, \*\*\* Znamensky\_Sergey@mail.ru

Поступила в редакцию 14.06.2018 г.

После доработки 05.09.2018 г.

Принята к публикации 06.09.2018 г.

Кратко рассмотрено геологическое строение пограничной зоны Южного и Среднего Урала (Кунашакская площадь), а также состав и условия формирования развитых здесь гранитоидных комплексов, возраст которых варьирует от девона до триаса. Термобарометрические исследования кварца среднезернистых биотитовых гранитов показали, что в возрастном ряду — полетаевский ( $D_3$ ), шалкарский ( $P_1$ ), султаевский ( $P_1$ ) и югоконевский ( $P_1-T_2$ ) комплексы — давление воды при образовании расплавных включений составляло соответственно 2.2–2.7, 2.5–3.0, 3.9–4.4 и 3.6–4.5 кбар, а температура кристаллизации пород — 800–840, 900–940, 840–900 и 940–980°C. Это указывает на последовательное увеличение глубины кристаллизации гранитных массивов в данном ряду от гипабиссально-приповерхностной до гипабиссально-абиссальной фации. При этом в расплавно-флюидных включениях отмечается уменьшение объема флюида — 14.2–16.8, 8.1–14.3, 6.2–7.9 и 4.3–6.8 об.%, концентрации в расплавах воды — 3.7–4.8, 2.1–3.9, 1.8–2.3 и 1.3–1.9 мас.%, а также хлора — 0.04–0.08, 0.03–0.07, 0.03–0.06 и 0.02–0.05 мас.%

Показано, что гранитоиды султаевского и югоконевского комплексов являются весьма перспективными на тантал, ниобий, вольфрам, молибден и бериллий. Наибольший интерес на редкометалльное оруденение представляют в них лейкократовые аплитовидные и грейзенезированные граниты завершающих фаз становления интрузий. Установлен уровень эрозионного среза различных структурно-формационных зон Кунашакской площади относительно друг друга.

**Ключевые слова:** расплавные включения, граниты, температура, давление, рудоносность, Южный Урал, Средний Урал, Кунашакская площадь, комплекс, массив

DOI: 10.31857/S0016-752564111133-1145

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время изучение расплавных включений в породообразующих минералах гранитоидов приобретает все большее значение (Наумов и др., 2004; 2010). Связано это с той информацией, которую можно получить при помощи микротермометрических исследований. В том числе: определение  $P-T$  условий кристаллизации кислых интрузий, реконструкция фациальных особенностей их формирования и ориентировочной глубины эрозионного среза, оценка величины вертикальных перемещений соседних блоков относительно друг друга в пределах крупных участков складчатых сооружений. Кроме того, полученные данные по расплавленным включениям рассматриваются исследователями как индикатор глубины образования гидротермальных месторождений, связанных со станов-

лением гранитоидных массивов (Прокофьев, Пэк, 2015). Большую помощь при этом оказывает изучение во включениях концентраций хлора, воды и растворенных в ней солей, обеспечивающих экстракцию и перенос рудообразующих компонентов. Особый интерес данные исследования приобретают в пограничной зоне Южного и Среднего Урала (Кунашакская площадь), где отмечено максимальное разнообразие проявления интрузивного магматизма, изучение которого позволит приблизиться к правильному пониманию истории развития этого важного в металлогеническом отношении региона.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения физико-химических условий становления гранитоидных комплексов Кунашакской площади нами в ИГЕМе РАН (Мо-

сква, аналитик В.Ю. Прокофьев) выполнены исследования расплавных включений в кварце. В нем были обнаружены мелкие (1–27 мкм) включения силикатного расплава, содержащие анизотропные кристаллы силикатов (кварц, полевые шпаты), газовые пузырьки (0.8–6.7 об.%) и водный раствор в интерстициях кристаллических фаз. Подобная работа ранее проведена для гранитов Кочкарского антиклинория, расположенного южнее Кунашакской площади (Сначёв, Муркин, 1989), и крупного Ахунковского массива (северная часть Магнитогорской мегазоны Южного Урала) (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 температурной ступени 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 на момент образования включений оценивалась по методике В.Б. Наумова (1979). Для каждой пробы исследовались три группы включений с одинаковыми фазовыми соотношениями с целью получения представительной информации.

Давление “кристаллизации кварца” оценивалось по изохоре, которая определяется температурой гомогенизации и величиной солёности водно-солевого флюида в многофазовом расплавном включении. Величина давления рассчитана для температурного интервала между температурой гомогенизации водного флюида и температурой  $650^\circ\text{C}$  (температурой появления силикатного расплава) согласно методике В.Б. Наумова (1979).

Концентрация воды в расплаве рассчитывалась на основе данных о соотношениях объемов водной фазы в расплавном включении и плотности водной фазы, а также общего объема включения. Объем вакуоли измерялся оптически, по трем осям (с использованием столика Федорова), и рассчитывался по формуле объема эллип-

соида вращения. При этом вводилась поправка на увеличение объема вакуоли за счет растворения кварца стенок включения, рекомендованная Ф.Г. Рейфом и Е.Д. Бажеевым (1982) и равная 70 об.%.

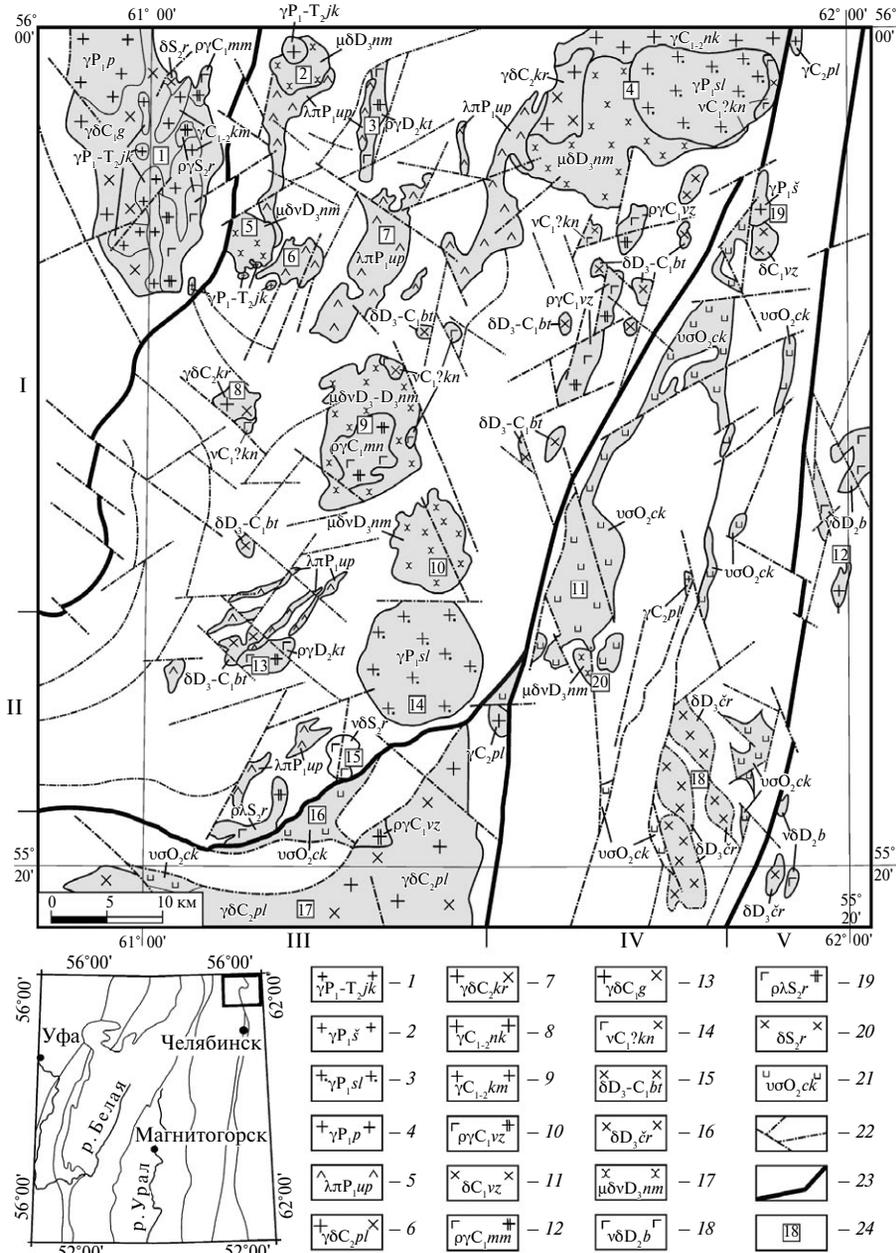
Концентрация хлора в расплаве оценивалась из величины солёности водного флюида, предполагая состав флюида  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ . Объем флюида оценивался по объему газовой фазы, величине температуры ее гомогенизации и солёности водной фазы флюида (Леммлейн, Клевцов, 1956). Это сделано из-за сложной формы фазы водного флюида, заключенной между силикатными минералами, и входит в методику В.Б. Наумова. Пузырек обычно круглый или овальный, и его объем оценить проще (также с использованием столика Федорова).

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Рассматриваемый район (Кунашакская площадь) находится в крайней северной части Южного Урала (рис. 1). В структурном отношении в его пределы входят восточная часть Арамилско-Сухтелинской зоны, Восточно-Уральская мегазона, Челябинский грабен и западная область Зауральского поднятия. Геологическое строение площади довольно сложное и на отдельных участках неоднозначное, что обусловлено интенсивной дислоцированностью, неравномерным метаморфизмом пород, их слабой обнаженностью и наличием редких остатков фауны.

Современные представления на историю развития района сложились благодаря геологическим работам масштаба 1:200 000 (лист N-41-II, Кунашак), проведенным сотрудниками ОАО “Челябинскгеосъемка” Г.В. Кальсиным, Б.А. Пужаковым и др. (рис. 1). По данным перечисленных исследователей, он сложен вулканогенно-осадочными породами докембрия (Зауральское поднятие), ордовика-карбона (Арамилско-Сухтелинская зона, Восточно-Уральская мегазона), карбона-триаса (Челябинский грабен), прорванными многочисленными интрузивными образованиями различного возраста и состава, главными из которых являются гранитоиды. Среди последних наибольшим развитием пользуются рефтинский, надыровомостовский, полетаевский, султаевский, шалкарский и югоконевский комплексы.

*Рефтинский габбро-диорит-плаггиогранитовый комплекс ( $S_2r$ )* слагает южную часть Тюбукского (1, номер массива здесь и далее, а также на рис. 1) и Сарсангинский (15) массивы и является



**Рис. 1.** Схема интрузивного магматизма листа N-41-II (составлена на основе отчета Г.В. Кальсина, ОАО “Челябинскгеосъемка”).

Условные обозначения: 1–21 — интрузивные комплексы: 1 — южконёвский (гранит-лейкогранитный), 2 — шалкарский (гранитный), 3 — султаевский (умеренно щелочно-гранитовый), 4 — петуховский (монцодиорит-гранитовый), 5 — уруккульско-покровский (трахириолит-риолитовый), 6 — полетаевский (гранодиорит-гранитовый), 7 — курайский (гранодиорит-гранитовый), 8 — некрасовский (гранодиорит-гранитовый), 9 — каменный (гранодиорит-гранитовый), 10, 11 — вознесенский (габбро-диорит-плагиогранитовый), 12 — маминский (плагиогранитовый), 13 — газетинский (гранодиорит-гранитовый), 14 — канзафаровский (габбро-диоритовый), 15 — биргильдинско-томинский (диоритовый), 16 — черкасовский (диоритовый), 17 — надыровомостовский (монцогаббро-монцодиорит-граносиенитовый), 18 — баклановский комплекс (габбро-диорит-гранодиоритовый), 19, 20 — рефтинский (габбро-диорит-плагиогранитовый), 21 — чебаркульско-казбаевский (габбро-дунит-гарибуртитовый); 22 — разрывные нарушения, 23 — главные структуры и их номера: I — Шилово-Конёвская антиформа, II — Касаргино-Рефтинский синклиорий, III — Челябинское поднятие, IV — Айбыкульско-Копейская грабен-синклиналь, V — Красногвардейский антиклиорий; 24 — интрузивные массивы и их номера: 1 — Тюбукский, 2 — Татарско-Карабольский, 3 — Кульмяковский, 4 — Буринско-Карабольский, 5 — Куяшский, 6 — Теренкульский, 7 — Уруккульский, 8 — Шарыкульский, 9 — Калдинский, 10 — Надыровомостовский, 11 — Муслумовский, 12 — Ветроудыйский, 13 — Тептяргинский, 14 — Султаевский, 15 — Сарсангинский, 16 — Касаргинский, 17 — Челябинский, 18 — Черкасовская группа массивов, 19 — Кубагушевский, 20 — Сураковский.

трехфазным: первая фаза — габбро, габбродолериты; вторая — диориты, кварцевые диориты; третья — плагиограниты, реже тоналиты, плагиогранит-порфиры. Породы первой и второй фаз отмечены в зональном Сарсангинском массиве с развитием во внешних частях габброидов, в центральной — диоритоидов. Плагиограниты широко развиты в составе Тюбукского массива.

*Надыровомостовский монцогаббро-монцодиорит-граносиенитовый* ( $D_3nt$ ) комплекс представлен габброидами, диоритами, гранодиоритами и граносиенитами, участвующими в строении Татарско-Карабольского (2), Буринско-Карабольского (4), Куяшского (5), Калдинского (9), Надыровомостовского (10) массивов. Комплекс трехфазный: первая фаза — монцогаббро, габбро; вторая — монцодиориты, диориты, кварцевые диориты; третья — граносиениты, гранодиориты.

Из перечисленных массивов наиболее изучены Калдинский и Надыровомостовский. В их краевых частях развиты габброиды (габбро, монцогаббро, редко габбродиориты), образующие фрагменты дугообразной формы и блоки различной величины. К внутренней зоне интрузий они последовательно сменяются монцонитоидами и диоритоидами, а затем ближе к центральной части располагаются удлиненные и дугообразные тела гранодиоритов и граносиенитов.

В состав *полетаевского гранодиорит-гранитового комплекса* ( $C_{pl}$ ) входят гранодиориты массивные и гнейсовидные, а также граниты биотитовые порфировидные. Они образуют самостоятельные крупные образования в северном окончании Челябинского плутона (17) на юге площади и небольшие тела в пределах Муслюмовского (11) и Буринско-Карабольского (4) массивов. Челябинский плутон представлен преимущественно гранодиоритами, среди которых отмечаются небольшие тела гранитов. Контакты интрузивных пород повсеместно тектонические.

*Шалкарский гранитный комплекс* ( $P_1\delta$ ) представлен гранитами мусковитовыми и двуслюдяными, которые образуют небольшие Ветроудинский (12) и Кубагусевский (19) массивы. В составе первого из них преобладают граниты лейкократовые мелко-среднезернистые.

В *султаевском гранитном комплексе* ( $P_1sl$ ) преобладают граниты биотитовые и двуслюдяные мезократовые и лейкократовые нормально-, реже умереннощелочные; граниты порфировидные рапакивиоподобные, редко граносиениты, гранодиориты и дайки гранитов. Они образуют Сул-

таевский (14) и часть Буринско-Карабольского (4) массива. Петропитом комплекса является первый из них. Массив сложен гранитами двух видов — крупнозернистыми порфировидными и средне-, мелкозернистыми лейкократовыми. Определяющие акцессорные минералы — титанит, апатит, циркон, торит, алланит, колумбит. В породах комплекса выявлено несколько мелких проявлений с Ta-Nb минерализацией.

*Югоконевский гранит-лейкогранитовый комплекс* ( $P_1-T_2jk$ ) почти нацело сложен гранитами и лейкогранитами биотитовыми мелко- и среднезернистыми лейкократовыми. Они слагают Татарско-Карабольский массив (2), малые тела в южной экзоконтактной зоне Куяшского массива (5) и участвуют в строении Тюбукского массива (1).

В Татарско-Карабольском массиве гранитоиды залегают в его центральной части, образуя изометричное тело среди граносиенитов надыровомостовского комплекса. В Тюбукском массиве они образуют ряд тел среди плагиогранитов рефтинского комплекса.

В центральной и северо-западной частях Татарско-Карабольского массива и юго-восточной части Тюбукского массива установлено развитие зон грейзенизации и кварцевых штокверков. По данным геолого-съёмочных работ, проведенных сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъемка» в 2008–2010 гг., здесь в породах завершающих фаз становления интрузий отмечаются мусковит-кварцевые грейзены и в различной степени грейзенизированные граниты, пересеченные кварцевыми жилами с молибденитом, а также геохимические аномалии U, Mo, W, Li, Nb. За пределами рассматриваемой Кунашакской площади в гранитоидах юго-коневского комплекса установлено W-Mo-Be оруденение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

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

Результаты термометрических исследований приведены в табл. 1. Начало плавления

Таблица 1. Результаты изучения расплавленных включений в кварце гранитоидов Кунашакской площади

№ п.п	Массив (порода)	n	Параметры									
			T гомогенизации флюида, °С	T плавления льда, °С	C солей, мас. % (NaCl)	V флюида, об. %	P, бар	d флюида, г/см <sup>3</sup>	C(H <sub>2</sub> O), мас. %	C(Cl), мас. %	T начала плавления, °С	T гомогенизации расплава, °С
1	Тюбукский (гранодиорит)	15	-	-	-	-	Не опр.	-	Не опр.	750	990	
2	Буринско-Карабольский (гранодиорит)	4	384 Ж	-1.5	2.6	8.3	1900	0.55	1.8	0.03	690	940
		3	379 Ж	-1.8	3.1	9.8	1860	0.58	2.3	0.04	670	910
		2	373 Ж	-1.9	3.2	11.1	1930	0.60	2.7	0.05	670	900
3	Калдинский (гранодиорит)	13	-	-	-	Не опр.	-	Не опр.	690	940		
4	Калдинский (сиенит)	5	-	-	-	Не опр.	-	Не опр.	700	990		
5	Сураковский (гранодиорит)	7	310 Ж	-0.5	0.9	14.9	3590	0.71	4.4	0.02	680	850
		12	304 Ж	-0.7	1.2	15.4	3700	0.71	4.6	0.03	670	830
		8	297 Ж	-0.8	1.4	15.7	3920	0.72	4.7	0.04	670	820
6	Челябинский (гранит)	4	350 Ж	-1.0	1.7	14.2	2200	0.62	3.7	0.04	660	840
		7	334 Ж	-1.4	2.4	16.1	2590	0.66	4.5	0.07	650	810
		5	329 Ж	-1.5	2.6	16.8	2730	0.68	4.8	0.08	650	800
7	Ветроудский (лейкократовый гранит)	4	341 Ж	-1.8	3.1	14.3	2600	0.66	3.9	0.07	670	860
		2	311 Ж	-1.2	2.1	13.5	2760	0.65	3.6	0.05	670	840
		3	306 Ж	-0.9	1.6	11.1	2980	0.67	3.0	0.03	670	810
8	Ветроудский (огнейсованный гранит)	2	357 Ж	-2.2	3.7	11.5	2460	0.63	2.9	0.07	690	940
		5	344 Ж	-1.8	3.1	9.7	2620	0.65	2.5	0.05	680	910
		3	331 Ж	-1.3	2.2	8.1	2930	0.67	2.1	0.03	680	900
9	Султаевский (гранит)	5	325 Ж	-2.3	3.9	7.9	3940	0.76	2.3	0.06	680	900
		9	315 Ж	-2.0	3.4	7.0	4130	0.79	2.0	0.05	660	870
		4	310 Ж	-1.9	3.2	6.2	4440	0.81	1.8	0.03	660	850
10	Татарско-Карабольский (гранит)	7	310 Ж	-2.5	4.2	6.8	3550	0.73	1.9	0.05	680	980
		9	299 Ж	-2.2	3.7	5.5	3890	0.75	1.6	0.04	680	950
		6	282 Ж	-1.9	3.2	4.3	4460	0.78	1.3	0.02	680	940

Примечания. 1–10 — комплексы: 1 — рефтинский, 2–5 — надыворовостовский, 6 — полетаевский, 7, 8 — шалкарский, 9 — султаевский, 10 — ютоконовский. n — число изученных включений в группах с одинаковыми фазовыми соотношениями. Ж — жидкая фаза включений в кварце. Исследования расплавленных включений проведены В.Ю. Прокофьевым (ИГЕМ, Москва). Методика в кратком виде описана в тексте статьи, а подробно — в работе В.Б. Наумова (1979).

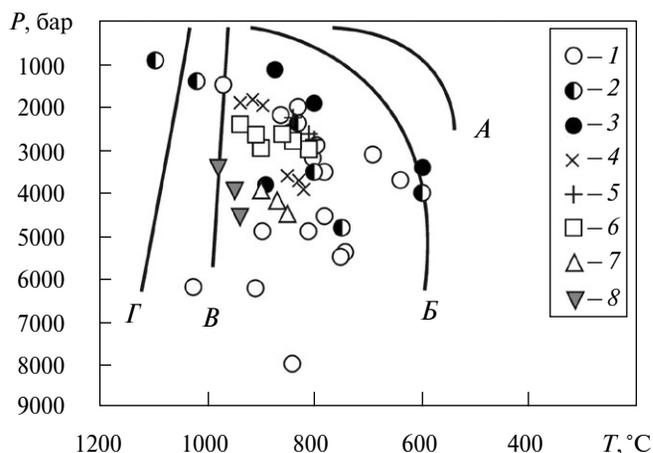
силикатных фаз фиксируется при 650–750°C. Гомогенизация газовой-жидкой части включений происходила при температурах 282–384°C с переходом в жидкость. Плавление льда наступало при температурах -2.5...-0.5°C, что соответствует солёности 0.9–4.2 мас.% раствора NaCl (Bodnar, Vityk, 1994). Полная гомогенизация включений происходила при 800–990°C, причем до гомогенизации удается довести только единичные, наиболее мелкие включения. Большинство расплавных включений вскрывалось при нагреве, что свидетельствует о высоком внутривакуольном давлении летучих компонентов. Давление воды, рассчитанное для температур начала плавления, составляет 1860–4460 бар. Концентрация воды в расплаве оценивается в 1.3–4.3 мас.%, а хлора, рассчитанная в предположении, что солевые компоненты флюида представлены только хлоридом натрия, составляет 0.02–0.08 мас.%. Наличие расплавных включений свидетельствует о первично-магматической природе гранитоидов всех рассматриваемых комплексов.

Согласно работе П.В. Ковалева, В.Ю. Прокофьева (1998), давление воды в расплавных включениях **гранитов** связано прямопропорциональной зависимостью с давлением системы в момент кристаллизации расплава. Тогда в возрастном ряду полетаевский ( $D_3$ ), шалкарский ( $P_1$ ), султаевский ( $P_1$ ) и югоконевский ( $P_1-T_2$ ) комплексы (в рефтинском и надыровомостовском гранитов нет) оно составляет соответственно 2.2–2.7, 2.5–3.0, 3.9–4.4 и 3.6–4.5 кбар (для корректного сравнения данных по комплексам использовались только породы одной фазы — среднезернистые биотитовые граниты). Следовательно, можно сделать вывод о последовательном увеличении глубины становления гранитных массивов в указанном выше ряду от полетаевского до югоконевского комплекса, от гипабиссально-приповерхностной до гипабиссально-абиссальной фаций. Это подтверждается и диаграммой в координатах  $P-T$  (рис. 2), на которую вместе с рассматриваемыми кислыми интрузиями для сравнения вынесены гранитоиды Монголо-Охотской зоны известных фаций глубинности (Коваль, Прокофьев, 1998). Из диаграммы следует, что точки, характеризующие граниты Кунашакской площади, укладываются в область гипабиссально-приповерхностной, гипабиссальной и гипабиссально-абиссальной фаций глубинности и расположены между линиями солидуса систем гранит- $H_2O$  и гранит- $CO_2$ .

Подобно давлению воды в расплавных включениях гранитов рассматриваемого ряда комплек-

сов последовательно увеличивается температура кристаллизации пород — соответственно 800–840, 900–940, 840–900, 940–980°C и уменьшаются объем флюида — 14.2–16.8, 8.1–14.3, 6.2–7.9, 4.3–6.8 об.%, концентрация воды — 3.7–4.8, 2.1–3.9, 1.8–2.3, 1.3–1.9 мас.%, а также хлора — 0.04–0.08, 0.03–0.07, 0.03–0.06, 0.02–0.05 мас.%.

Из четырех проб **гранодиоритов** только в двух (Буринско-Карабольский и Сураковский массивы) удалось определить все параметры, которые и приведены в табл. 1. Хорошо видно, что первая из них характеризуется более высокой температурой гомогенизации расплава (900–940°C), чем вторая (820–850°C) и, соответственно, меньшим давлением водного флюида в расплавных включениях (1.86–1.93 против 3.59–3.92 кбар, что приблизительно соответствует глубинам кристаллизации массивов соответственно 6.5 и 13 км). Учитывая факт, что обе пробы гранодиоритов одновозрастны и принадлежат одному верхнедевонскому (надыровомостовскому) комплексу, а также расположены в разных тектонических структурах (Касаргино-Рефтинской и Айбыкульско-Копейской, см. рис. 1), можно предположить, что эрозионный срез данных блоков относительно друг друга составил около 6,5 км за 370 млн лет.



**Рис. 2.** Вариации температуры кристаллизации и давления флюида для гранитоидов Монголо-Охотской зоны (Коваль, Прокофьев, 1998) и пограничной области Южного и Среднего Урала.

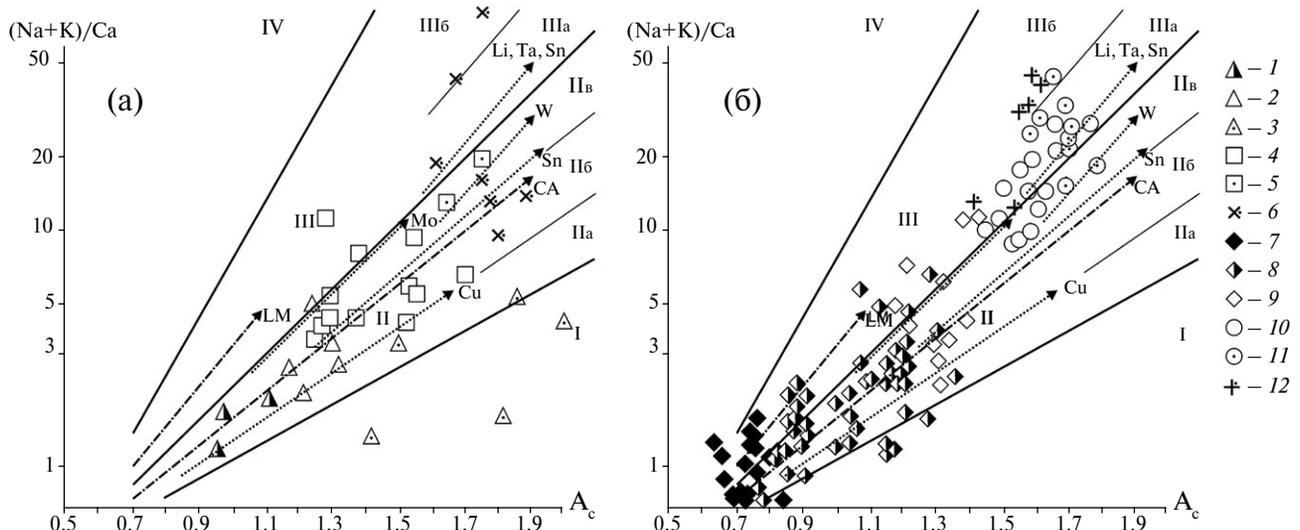
Условные обозначения: 1–3 — фации глубинности для гранитоидов Монголо-Охотской зоны: 1 — гипабиссальная, 2 — гипабиссально-приповерхностная, 3 — поверхностная; 4–8 — гранитоидные комплексы пограничной зоны Южного и Среднего Урала: 4 — надыровомостовский, 5 — полетаевский, 6 — шалкарский, 7 — султаевский, 8 — югоконевский. А–Г — линии солидуса систем: А — онгонит- $H_2O$ , В — гранит- $H_2O$ , Г — “сухого” ликвидуса мусковитового гранита.

Подобные расчеты можно сделать и для нижепермских **гранитов** султаевского (Султаевский массив) и шалкарского (Ветроудийский массив) комплексов. Разница между флюидным давлением воды в расплавах включений первого из них (3.94–4.44 кбар, что соответствует глубине становления массива 14.5 км) относительно второго (2.46–2.98 кбар, т.е. 9,5 км) составляет порядка 1.5 кбара. Таким образом, образования Касаргино-Рефтинского блока относительно Красногвардейского за период в 280–290 млн лет испытали подъем и эрозию на глубину около 5 км.

Определенный интерес представляют и другие характеристики расплава — флюидонасыщенность и состав флюида, особенно содержания в нем 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 водных растворах расплавно-флюидных включений в кварце рудоносных гранитоидов, в частности редкометалльных, довольно высоки концентрации хлора и солей.

По последнему параметру граниты султаевского (5.5–6.8 мас.%) и югоконевского (3.2–4.2 мас.%) комплексов приближаются к лейкократовым редкометалльным гранитам завершающих плутонических серий, широко развитых в пределах указанной выше территории. Кроме того, в кварце проб югоконевского и султаевского комплексов В.Ю. Прокофьевым отмечалось множество вторичных углекислотно-водных включений, что позволило предположить связь с данными гранитоидами гидротермального оруденения. Как нами отмечалось выше, в лейкократовых и жильных гранитах данных комплексов известны небольшие месторождения и серия проявлений Ta, Nb, W, Mo, Be.

Редкометалльная металлогеническая специализация гранитов югоконевского и султаевского комплексов наглядно демонстрируется и классификационной диаграммой эталонных трендов рудогенных гранитоидных формаций, разработанной Л.С. Бородиным (2004). На этой диаграмме (рис. 3)  $Ac-(Na+K)/Ca$ , основанной на данных силикатного анализа (табл. 2), где  $Ac$  —



**Рис. 3.** Диаграмма  $(Na+K)/Ca$  —  $A_c$  для интрузивных комплексов Кунашакской площади с эталонными трендами рудогенных гранитоидных формаций (Бородин, 2004).

Условные обозначения: 1–6 (для рис. 3а), в том числе: 1–3 — **рефтинский** комплекс (габбро имеют параметр  $(Na+K)/Ca$  около 0.2 ед. и на рис. 3а не представлены): 1 — кварцевые диориты, 2 — тоналиты, 3 — плагиограниты; 4–5 — **полетаевский** комплекс: 4 — граниты, гранодиориты, 5 — жильные граниты; 6 — **шалкарский** комплекс, граниты; 7–12 (для рис. 3б), в том числе: 7–9 — **надыровомостовский** комплекс: 7 — габбро, монцогаббро, 8 — монцодиориты, сиениты, граносиениты, 9 — гранодиориты; 10–11 — **султаевский** комплекс: 10 — граниты, 11 — жильные граниты; 12 — **югоконевский** комплекс, граниты.

Классификационные поля: I — известковое, II — известково-щелочное (IIa — субизвестковистые, IIb — известково-щелочные, IIв — субизвестково-щелочные граниты); III — субщелочное (IIIa — субщелочные и щелочные граниты и лейкограниты, IIIб — щелочные апаитовые граниты); IV — щелочное.

Эталонные тренды (штрих-пунктирные линии): CA — главный известково-щелочной, LM — латитовый (монцонитовый). Эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций (пунктирные линии): Sn — оловянный, Cu — медно-порфировый, Mo-(Cu) — молибденовый, W-(Mo) — вольфрам-молибденовый; Li, Ta, Nb, Sn — литий-тантал-ниобий-оловянный.

Таблица 2. Результаты силикатного анализа интрузивных комплексов Кунашакской площади (мас. %)

№ п/п	Порода	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП	Сумма
1	кварц. диорит	58.50	0.70	17.45	2.95	3.55	0.09	3.69	5.35	3.40	2.36	0.27	1.08	99.39
2	кварц. диорит	58.50	0.50	16.80	2.34	4.74	0.29	5.80	5.96	3.53	0.54	0.06	0.60	99.70
3	кварц. диорит	61.90	0.60	15.93	3.20	2.41	0.09	4.30	4.42	3.64	1.63	0.13	1.76	100.01
4	плагιοгранит	69.06	0.41	12.26	2.22	2.84	0.06	2.40	5.76	4.08	0.07	0.06	1.74	100.96
5	плагιοгранит	71.90	0.18	12.67	2.44	2.06	0.02	2.00	3.16	5.29	0.42	0.01	0.50	100.65
6	плагιοгранит	75.40	0.23	13.14	0.43	1.56	0.01	0.20	4.90	4.09	0.36	-	0.48	100.80
7	плагιοгранит	75.58	0.09	12.71	0.25	1.42	-	1.10	1.87	5.28	0.05	0.02	0.42	98.79
8	плагιοгранит	76.99	0.09	12.47	0.70	0.64	0.02	0.67	1.99	4.83	0.21	0.01	0.58	99.20
9	тоналит	66.48	0.68	15.10	1.74	3.60	0.18	2.72	3.28	4.41	0.60	0.59	1.56	100.92
10	тоналит	65.02	0.47	16.12	2.20	2.05	0.08	2.35	4.14	4.28	2.40	0.22	0.84	96.62
11	тоналит	65.40	0.46	15.94	3.20	1.52	0.09	1.40	5.04	4.65	1.50	0.17	1.48	99.95
12	тоналит	66.14	0.46	16.00	2.54	1.57	0.06	1.89	3.07	3.95	2.49	0.13	1.54	99.84
13	тоналит	66.38	0.49	16.61	2.26	1.82	0.06	2.31	2.34	4.34	2.76	0.15	1.34	100.86
14	габбро	42.87	1.18	18.52	5.13	6.66	0.16	7.80	10.93	2.32	1.50	0.33	2.58	99.98
15	габбро	50.24	0.48	18.71	2.54	4.20	0.13	7.60	9.81	2.59	1.50	0.18	2.34	100.31
16	габбро	51.38	0.45	18.20	2.73	4.90	0.05	6.30	9.37	2.35	2.19	-	1.88	99.80
17	габбро	52.14	0.74	18.02	4.00	5.53	0.18	4.62	6.88	3.80	2.64	0.36	1.54	100.45
18	габбро	52.82	0.70	18.05	2.95	5.98	0.11	5.11	7.45	3.68	2.02	-	1.02	99.89
19	гранодиорит	66.28	0.34	15.00	2.67	2.30	0.05	1.74	3.03	3.60	3.40	-	1.28	99.69
20	гранодиорит	67.41	0.34	16.18	1.94	2.65	0.06	1.53	0.92	3.85	2.95	-	1.61	99.44
21	граносенит	64.16	0.41	16.56	2.10	2.58	0.10	2.41	4.14	3.77	2.82	0.15	0.90	100.10
22	граносенит	64.76	0.43	16.00	1.60	2.20	0.08	2.20	3.21	4.14	2.91	0.18	1.50	99.21
23	граносенит	64.86	0.47	17.01	3.14	1.87	0.08	1.85	1.62	4.00	3.00	-	2.14	100.04
24	граносенит	65.68	0.46	17.40	1.98	1.98	0.06	2.52	1.61	4.75	2.68	0.23	1.46	100.81
25	диорит	55.76	0.78	17.26	3.34	4.83	0.17	4.97	7.15	2.77	1.33	0.17	1.84	100.37
26	кварц. диорит	58.42	0.82	16.82	3.44	3.78	0.11	3.13	6.50	3.34	1.70	0.17	1.11	99.34
27	кварц. диорит	61.18	0.60	16.49	2.53	3.19	0.11	2.77	5.00	4.00	2.65	0.22	0.62	99.36
28	кварц. диорит	61.90	0.44	16.75	2.50	2.68	0.11	2.27	4.38	2.83	1.65	0.14	3.00	98.65
29	кварц. диорит	62.89	0.37	15.60	1.39	7.73	0.37	1.90	0.67	2.60	2.35	-	4.35	100.22

Таблица 2. Продолжение.

№ п/п	порода	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
30	кварц. диорит	63.28	0.36	13.24	3.43	2.30	0.07	1.53	3.64	3.40	2.28	-	6.28	99.81
31	монцодиорит	53.66	0.50	15.77	1.56	4.82	0.12	6.82	9.79	2.72	1.54	0.05	1.50	98.84
32	монцонит	54.20	0.53	17.38	3.09	4.39	0.13	4.79	7.18	3.60	1.60	-	2.06	100.00
33	монцонит	55.06	0.61	15.88	2.49	5.00	0.13	5.22	8.10	3.88	1.75	0.08	0.72	98.92
34	монцонит	56.92	0.52	16.55	2.85	4.26	0.06	3.93	5.09	3.43	3.49	-	2.11	99.21
35	сиенит	56.04	0.64	16.96	2.97	5.02	0.06	2.78	5.49	3.69	4.08	-	0.38	98.11
36	гранит	71.43	0.31	13.66	1.43	1.53	0.08	1.36	2.52	3.69	3.15	0.05	0.96	100.12
37	гранит	71.80	0.25	11.00	0.86	2.37	0.06	2.02	1.88	3.86	3.41	-	1.28	98.79
38	гранит	72.16	0.27	13.94	0.76	0.89	0.02	1.58	1.17	3.27	4.61	0.08	1.00	99.75
39	гранит	72.84	0.30	13.41	1.43	1.20	0.04	1.17	1.96	3.75	3.65	0.04	0.64	100.13
40	гранит	72.92	0.25	11.72	2.05	1.39	0.05	0.66	1.79	3.30	3.70	-	0.48	98.31
41	гранит жильный	69.32	0.40	14.46	0.85	1.68	0.04	2.06	1.39	3.36	4.69	0.14	1.26	99.65
42	гранит жильный	75.76	0.06	12.74	0.52	0.41	0.01	0.67	0.97	4.71	3.79	0.02	0.38	100.04
43	гранодиорит	65.64	0.58	14.94	1.70	1.83	0.05	2.65	2.66	3.26	3.73	0.19	1.96	100.13
44	гранодиорит	66.30	0.46	15.42	1.22	1.82	0.06	2.19	3.05	3.67	3.67	0.14	1.28	99.28
45	гранодиорит	66.94	0.44	14.50	1.70	1.40	0.06	2.29	2.47	3.03	3.85	0.14	2.86	99.67
46	гранодиорит	67.18	0.31	16.84	1.68	0.69	0.02	1.18	1.19	4.37	4.64	0.12	1.96	100.23
47	гранодиорит	67.74	0.38	14.93	1.21	1.37	0.05	2.00	2.36	3.75	4.25	0.13	1.08	99.25
48	гранодиорит	68.02	0.42	14.90	1.26	1.43	0.05	1.62	2.77	3.82	4.12	0.14	1.08	99.60
49	гранит	74.96	0.03	12.90	0.06	0.50	0.02	0.41	0.71	4.11	4.82	-	0.52	99.04
50	гранит	75.00	0.12	13.40	0.97	1.83	0.04	0.30	0.80	4.40	2.50	-	-	99.09
51	гранит	75.24	0.05	12.65	0.06	0.76	0.02	0.62	0.29	4.05	4.72	-	0.54	99.00
52	гранит	75.34	0.18	12.09	0.30	1.25	0.03	0.82	1.14	4.00	3.03	0.02	0.66	98.86
53	гранит	75.76	0.07	12.40	0.27	0.43	-	1.12	0.14	3.83	4.35	0.01	0.48	98.86
54	гранит	75.84	0.06	12.64	0.17	0.40	-	0.10	0.71	3.94	4.47	-	0.56	98.89
55	гранит	76.66	0.21	12.90	0.02	1.34	0.02	0.90	0.64	4.00	2.50	0.03	1.00	100.22
56	гранит	72.62	0.22	14.46	0.58	1.06	0.03	0.28	0.86	4.10	4.91	0.06	0.12	99.30
57	гранит жильный	75.23	0.09	13.78	1.43	0.94	0.02	0.52	0.28	4.00	4.45	-	0.16	100.89
58	гранит жильный	75.60	0.15	12.42	1.27	0.75	0.02	0.20	0.46	4.20	5.20	0.03	-	100.21
59	гранит жильный	75.79	0.09	12.51	0.51	0.57	-	0.13	0.57	3.87	5.06	-	0.30	99.40
60	гранит жильный	76.52	0.07	12.37	0.44	0.79	0.02	0.08	0.40	4.00	5.20	0.02	-	99.91

Таблица 2. Окончание.

№ п/п	порода	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
61	гранит	71.60	0.16	15.48	0.47	0.08	0.03	0.20	0.80	4.04	6.18	-	0.35	99.40
62	гранит	72.35	0.26	14.50	0.44	1.42	0.08	0.59	1.13	3.55	5.13	-	0.35	99.80
63	гранит	73.05	0.30	13.55	1.09	0.86	0.02	0.35	0.71	3.63	5.40	0.06	0.22	99.24
64	гранит	73.79	0.33	13.50	0.56	0.80	0.04	0.58	1.40	3.66	5.10	0.12	0.48	100.46
65	гранит	72.32	0.27	12.62	1.27	1.31	0.04	0.65	1.12	3.81	4.50	-	0.48	99.39
66	гранит	74.24	0.25	12.86	0.62	1.24	0.05	0.24	0.89	4.15	4.80	0.06	0.23	99.64
67	гранит	76.08	0.17	12.82	1.12	0.43	0.02	0.28	0.46	4.00	4.70	0.02	-	100.09
68	гранит	72.94	0.28	14.10	0.34	2.36	0.10	0.45	1.25	3.46	2.82	0.07	0.64	98.90
69	гранит	73.00	0.47	13.16	1.62	1.18	0.05	0.36	1.38	4.20	5.20	0.14	-	100.76
70	гранит	74.34	0.23	13.18	0.33	1.06	-	0.17	1.09	3.60	5.30	-	0.14	99.44
71	гранит	75.22	0.15	12.15	2.05	0.82	0.04	0.16	0.46	4.00	5.00	0.01	-	100.05
72	гранит-порфир	74.46	0.27	13.19	1.68	0.86	0.04	0.20	0.86	3.60	5.13	0.06	0.44	100.78
73	гранит-порфир	76.30	0.11	12.07	0.53	1.06	0.02	0.52	0.81	4.30	4.18	-	-	99.85
74	гранит	70.90	0.40	14.22	1.20	1.30	0.04	0.60	1.01	4.28	4.76	-	0.42	99.13
75	гранит	71.22	0.42	13.47	1.65	1.76	0.05	0.63	0.98	3.80	4.13	-	1.18	99.29
76	гранит	71.48	0.41	16.60	1.22	0.35	0.01	0.42	0.35	4.40	3.40	0.13	1.18	99.95
77	гранит	71.68	0.22	16.97	1.15	0.49	0.03	0.34	0.42	3.25	3.64	0.04	1.56	99.79
78	гранит	72.33	0.29	14.89	1.17	0.56	-	0.62	0.28	4.16	3.82	0.16	1.02	99.30

Применения. Комплексы: 1–13 — рефтинский, 14–35 — надыровомостовский, 36–48 — полтавский, 49–55 — шалкарский, 56–73 — султаевский, 74–78 — югоконовский. Проверк — содержание компонента ниже чувствительности метода.

универсальный параметр кислотности-основности, учитывающий не только содержание, но и химическую активность породообразующих элементов,  $(\text{Na}+\text{K})/\text{Ca}$  — параметр, характеризующий степень щелочности-известковистости; показаны типовые тренды редкометалльных, оловорудных и медных провинций мира по отношению к S- и I-гранитам. В том числе, Sn — тренд известково-щелочных гранитов и лейкогранитов; Li, Ta, Sn (Li-Ta-Nb-Sn) — тренд субщелочных плюмазитовых редкометалльных лейкогранитов; W (W-Mo) — тренд субизвестково-щелочных лейкогранитов; Cu — тренд низкощелочных субизвестковых мезогранитоидов медно-порфиновых провинций; Mo (Mo-Cu) — порфиновый тренд монзонитоидов и субизвестково-щелочных лейкогранитов молибден-порфиновых провинций. Как видно из диаграммы, W-Mo-тренд располагается в поле IIв и соответствует субизвестково-щелочным лейкогранитам S-типа, образование которых связывается с завершающими этапами длительной эволюции мантийно-корового магматизма в коллизионных обстановках внутриконтинентальных или окраинно-континентальных орогенных поясов.

Все анализы габбро, кварцевых диоритов, тоналитов и плагиогранитов рефтинского комплекса укладываются в главный известково-щелочной тренд и, за исключением нескольких проб плагиогранитов, располагаются в пределах известково-щелочного поля (рис. 3). Его перспективы связаны лишь с меднопорфировым оруденением. Похожую ситуацию видим и для пород надыровомостовского комплекса. С той лишь разницей, что большая часть габброидов (монцогаббро), некоторые монцодиориты и сиениты образуют поле, совпадающее с латитовым (монзонитовым) трендом (субщелочное поле III). Породы полетаевского и шалкарского комплексов не образуют на диаграмме отчетливых трендов, что указывает на неопределенность их металлогенической специализации. Совсем другая картина просматривается для образованной султаевского и югоконевского комплексов. Принадлежащие им граниты, а также лейкократовые и жильные их разновидности образуют компактную область, вытянутую вдоль границы раздела известково-щелочного и субщелочного полей (сектора IIв и IIIа), и тяготеют к Li-Ta-Nb-Sn и W-Mo металлогеническим трендам. Наибольший интерес на редкометалльное оруденение представляют лейкократовые аплитовидные и грейзенезированные граниты завершающих фаз становления этих комплексов, являющихся составными частями Султаевского,

Буринского, Татарско-Карабольского, Куяшского и Тюбукского гранитоидных массивов. Подтверждается это и результатами поисковых и оценочных работ в пределах Барангуловского габбро-гранитного массива, расположенного в зоне Уралтау (Башкирский антиклинорий), где в крупнокристаллических (пегматоидных) разновидностях поздних гранитов, аплитовидных дайковых телах, штоках флюоритсодержащих альбититов и грейзенезированных породах отмечены промышленные содержания Ta до 0.021% и Nb до 0.046% (Сначёв, 2017).

Кроме того, во вмещающих породах обрамления ряда гранитоидных массивов Кунашакской площади широко развиты углеродистые отложения, в которых установлена серия золоторудных проявлений. Ранее на примере Белорецкого метаморфического комплекса, в пределах которого развиты граниты Ахмеровского массива, нами показана приуроченность золото-сульфидной минерализации в его обрамлении к высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации. Последняя считается зоной осаждения золота, в то время как более высокотемпературные фации — зонами потенциального выноса (Сначёв, 2014). Это позволяет расширить перспективы пограничной зоны Южного и Среднего Урала на рудные полезные ископаемые.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, изучение расплавных включений в кварце гранитов пограничной зоны Южного и Среднего Урала позволило сделать ряд следующих выводов.

1. В возрастном ряду — полетаевский ( $D_3$ ), шалкарский ( $P_1$ ), султаевский ( $P_1$ ) и югоконевский ( $P_1-T_2$ ) комплексы — давление воды в расплавных включениях составляет соответственно 2.2–2.7, 2.5–3.0, 3.9–4.4 и 3.6–4.5 кбар, а температура кристаллизации пород — 800–840, 900–940, 840–900 и 940–980°C. Это указывает на последовательное увеличение глубины кристаллизации гранитных массивов в данном ряду от гипабиссально-приповерхностной до гипабиссально-абиссальной фации. При этом отмечается уменьшение объема флюида — 14.2–16.8, 8.1–14.3, 6.2–7.9 и 4.3–6.8 об.%, концентрации воды — 3.7–4.8, 2.1–3.9, 1.8–2.3 и 1.3–1.9 мас.%, а также хлора — 0.04–0.08, 0.03–0.07, 0.03–0.06 и 0.02–0.05 мас.%.

2. Образования Касаргино-Рефтинского блока относительно Айбыкульско-Копейского

и Красногвардейского испытали подъем и эрозию соответственно в 5–6 и 4.0–4.5 км.

3. Гранитоиды султаевского и югоконевского комплексов являются весьма перспективными на тантал, ниобий, вольфрам, молибден и бериллий, что подтверждается (1) слабым эрозионным срезом рассматриваемых интрузий, (2) редкометалльной геохимической специализацией пород, (3) результатами изучения флюидонасыщенности расплавных включений, (4) присутствием в массивах небольших месторождений и серии проявлений Ta, Nb, W, Mo, Be. Наибольший интерес на редкометалльное оруденение представляют лейкократовые аплитовидные и грейзенизированные граниты завершающих фаз становления этих комплексов.

### Благодарности

Авторы выражают особую благодарность профессору, докт. геол.-мин. наук Всеволоду Юрьевичу Прокофьеву за проведение исследований по изучению расплавных включений в кварце гранитоидов и интерпретации полученных данных, на основе которых была написана данная статья.

### Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания, темы № 0252-2017-0014 и № 0246-2019-0078.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бородин Л.С. (2004) Модельная система петрогеохимических и металлогенических трендов гранитоидов как основа прогноза месторождений Sn, Li, Ta, Nb, W, Mo, Cu. *Геология рудных месторождений* **46** (1), 3–26.
- Демин Ю.И., Сначёв В.И. (1981) Тепловые поля Ахунского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения. *ДАН СССР* **261** (1), 152–156.
- Коваль П.В., Прокофьев В.Ю. (1998) *T-P* условия кристаллизации гранитоидов Монголо-Охотской зоны по данным исследования расплавных и флюидных включений. *Петрология* **6** (5), 497–511.
- Леммлейн Г.Г., Клевцов П.В. (1956) Влияние концентрации на температуру гомогенизации систем, состоящих из водных растворов солей. *Записки ВМО* (3), 310–320.
- Наумов В.Б. (1969) Термометрическое исследование включений расплава во вкрапленниках кварца кварцевых порфиров. *Геохимия* (4), 494–498.
- Naumov V.B. (1969) Thermometric study of melt inclusions in quartz phenocrysts of quartz porphyries. *Geochem. Int.* (4), 494–498.
- Наумов В.Б. (1979) Определение концентрации и давления летучих компонентов в магматических расплавах. *Геохимия* (7), 997–1007.
- Naumov V.B. (1979) Determination of concentration and pressure of volatile components in igneous melts. *Geochem. Int.* (7), 997–1007.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А., Ярмолук В.В. (2004) Средние содержания петрогенных, летучих и редких элементов в магматических расплавах различных геодинамических обстановок. *Геохимия* (10), 1113–1124.
- Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A., Yarmolyuk V.V. (2004) Average concentrations of major, volatile, and trace elements in magmas of various geodynamic settings. *Geochem. Int.* **42** (10), 1113–1124.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А., Гирнис А.В., Ярмолук В.В. (2010) Средний состав магматических расплавов главных геодинамических обстановок по данным изучения расплавных включений в минералах и закалочных стекол пород. *Геохимия* (12), 1266–1288.
- Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A., Girnits A.V., Yarmolyuk V.V. (2010) Average compositions of igneous melts from main geodynamic settings according to the investigation of melt inclusions in minerals and quenched glasses of rocks. *Geochem. Int.* **48** (12), 1266–1288.
- Прокофьев В.Ю., Пэк А.А. (2015) Проблемы оценки глубины формирования гидротермальных месторождений по данным о давлении минералообразующих флюидов. *Геология рудных месторождений* **57** (1), 3–24.
- Рейф Ф.Г., Бажеев Е.Д. (1982) Магматический процесс и вольфрамовое оруденение. Новосибирск: Наука, 158 с.
- Сначёв В.И. (2017) Перспективы гранитоидов Барангуловского массива на тантал-ниобиевое оруденение, зона Уралтау. *Руды и металлы* (1), 33–39.
- Сначёв В.И., Муркин В.П. (1989) Новые данные по магматизму, метаморфизму и металлогении Кочкарской площади (Южный Урал). Препринт. Уфа: Принт, 23 с.
- Сначёв В.И., Сначёв А.В. (2014) Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Южный Урал). *Вестн. Воронежск. госуд. ун-та. Серия геологическая* (2), 79–87.
- Ферштатер Г.Б. (1987) Петрология главных интрузивных ассоциаций. М.: Наука, 232 с.
- Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: ИО УрО РАН, 368 с.
- Bodnar R.J., Vityk M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions. Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Edited by Benedetto De Vivo, Maria Luce Frezzotti. Pontignano-Siena, 117–130.

## PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS OF CRYSTALLIZATION AND ORE-BEARING OF GRANITOIDS OF THE BORDER ZONE OF THE SOUTHERN AND MIDDLE URALS

© 2019 A. V. Snachev<sup>a,\*</sup>, V. I. Snachev<sup>a,\*\*</sup>, S. E. Znamensky<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Institute of Geology UFRC RAS

Russia, 450077 Ufa, Karl Marx st., 16

e-mail: \*savant@rambler.ru, \*\*savant@inbox.ru, \*\*\*Znamensky\_Sergey@mail.ru

Received: 14.06.2018

Received version received: 05.09.2018

Accepted: 06.09.2018

The geological structure of the border zone of the Southern and Middle Urals (Kunashak area), as well as the composition and conditions for the formation of granitoid complexes developed here, whose age varies from Devonian to Triassic, is briefly considered. Thermobarometric studies of quartz of medium-grained biotite granites showed that in the age range — Poletaev (D<sub>3</sub>), Shalkar (P<sub>1</sub>), Sultayev (P<sub>1</sub>), and Yugokonev (P–T<sub>2</sub>) complexes — water pressure during the formation of melt inclusions was 2.2–2.7, 2.5–3.0, 3.9–4.4 and 3.6–4.5 kbar, and the crystallization temperature of rocks — 800–840, 900–940, 840–900 and 940–980°C. This indicates a consistent increase in the crystallization depth of the granite massifs in this series from the hypabyssal-subsurface to the hypabyssal-abyssal facies. At the same time, in the melt-fluid inclusions, a decrease in fluid volume is noted — 14.2–16.8, 8.1–14.3, 6.2–7.9 and 4.3–6.8 vol.%, Water concentrations — 3.7–4.8, 2.1–3.9, 1.8–2.3 and 1.3–1.9 wt.% as well as chlorine — 0.04–0.08, 0.03–0.07, 0.03–0.06 and 0.02–0.05 wt.%.

It is shown that the granitoids of the Sultayev and Yugokonev complexes are very promising for tantalum, niobium, tungsten, molybdenum and beryllium. Of the greatest interest in rare-metal mineralization are the leucocratic aplitic and greisen granites of the final phases of the formation of intrusions. The level of erosional slice of various structural and formation zones of the Kunashak area relative to each other has been established.

**Keywords:** melt inclusions, granites, temperature, pressure, ore-bearing, Southern Urals, Middle Urals, Kunashak area, complex, massif

**(For citation:** Snachev A.V., Snachev V.I., Znamensky S.E. Physico-Chemical Conditions of Crystallization and Ore-Bearing of Granitoids of the Border Zone of the Southern and Middle Urals. *Geokhimiya*. 2019;64(11):1133–1145. DOI: 10.31857/S0016-752564111133-1145)