

УДК 551.251+553.061.2

А.В. Сначёв¹, В.И. Сначёв², М.А. Романовская³

ГЕОЛОГИЯ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ТУРГОЯКСКОГО ГРАНИТНОГО МАССИВА И УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕГО ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

ФГБУН Институт геологии Уфимского научного центра РАН,
450077, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences;
Institution of Russian Academy of Sciences Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IRAS IG USC RAS),
450077, Ufa, Karl Marx st., 16/2

Lomonosov Moscow State University, 119991, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Приведено описание Тургоякского массива гранитоидов ($\gamma\delta C_{1-2ts}$) каменноугольного возраста, а также уреньгинской (RF_{2ur}) и уйташской (RF_{3us}) свит рифейских отложений. В поздневендское время последние испытали региональный метаморфизм в условиях куммингтонит-амфиболитовой фации при температуре $550\div 595^\circ C$ и давлении $250\div 400$ МПа, а затем на локальных участках — диафторез ($T=520\div 530^\circ C$ и $P=130\div 170$ МПа). В период становления Тургоякского массива ($T=770\div 810^\circ C$ и $P=210\div 250$ МПа) вмещающие породы подверглись контактовому метаморфизму, что привело к выносу золота из черных сланцев зоны амфибол-роговиковой фации и его переотложению в пределах зоны альбит-эпидот-роговиковой фации.

Ключевые слова: Тургоякский массив, уреньгинская свита, биотит-гранатовый термобарометр, рудоносность, углеродистые сланцы, золото, редкие металлы.

The article describes the geological structure of the Turgoyak granitoid massif ($\gamma\delta C_{1-2ts}$), Urenga (RF_{2ur}) and Uytash (RF_{3us}) suites. In the Late Vendian time the rocks first experienced regional metamorphism under the conditions of the cummingtonite-amphibolite facies at a temperature of $550\div 595^\circ C$ and a pressure of $250\div 400$ МПа, and then in local areas — diafoteresis ($T=520\div 530^\circ C$ and $P=130\div 170$ МПа). During the formation of the Turgoyak massif ($T=770\div 810^\circ C$ and $P=210\div 250$ МПа), the rocks of the Urenga and Uytash suites were subjected to contact metamorphism. This metamorphic processes made the black shale gold to remove from the black shale zone of the amphibole-hornfels facies and caused its redeposition within the albite-epidote-hornfly zone.

Key words: Turgoyak massif, Urenga suite, metamorphism, biotite-garnet thermobarometer, ore-bearing, carbon schists, gold, rare metals.

Введение. Проблема метаморфизма рифейско-вендских отложений Башкирского мегантиклинория Южного Урала неоднократно обсуждалась рядом исследователей [Алексеев и др., 2009; Ковалев и др., 2018]. В результате было установлено, что слагающие его породы испытали преобразования на уровне катагенеза. И лишь в пределах восточного фланга, наиболее приближенного к Главному уральскому разлому, они метаморфизованы при заметно более высоких значениях температуры и давления. Однако отнесение к той или иной фации основывалось только на петрографическом и литологическом описании пород, а количественные параметры не определялись.

Исключение составляет Белорецкий зональный метаморфический купол, где на основе изучения минеральных парагенезисов рассчитаны

P-T условия формирования пород и обосновано поздневендское время проявления метаморфизма [Алексеев и др., 2009]. В северо-восточной части Башкирского мегантиклинория такие исследования до сих пор не проводились. Нами предпринята попытка восполнить этот пробел. Кроме того, в последнее время в Белорецком метаморфическом куполе в среднерифейских черных сланцах выявлена серия золоторудных проявлений с высоким содержанием палладия и вольфрама [Рыкус и др., 2009; Сначёв, Сначёв, 2014]. Все они приурочены к высокотемпературной области зеленосланцевой фации, в которую золото было привнесено из амфиболитовой фации. Подобная закономерность размещения золоторудной минерализации, расположенной среди углеродистых отложений, установлена на Южном Урале в Ларинском мета-

¹ Институт геологии Уфимского научного центра РАН, вед. науч. с., заведующий лабораторией, канд. геол.-минер. н.; e-mail: SAVant@rambler.ru

² Институт геологии Уфимского научного центра РАН, гл. науч. с., докт. геол.-минер. н.; e-mail: SAVant@inbox.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, канд. геол.-минер. н., доцент; e-mail: maria_roman@mail.ru

гранитной формации [Ферштатер и др., 2000] и сложен преимущественно гранодиоритами, реже кварцевыми диоритами I фазы и гранитами II фазы внедрения. Массив хорошо обнажается по берегам оз. Тургояк. В плане он имеет округлую форму, в разрезе представляет собой шток диаметром 8 км с вертикальной мощностью ~7–10 км, погружающийся под углом 70° на запад. Площадь массива составляет около 50 км². С вмещающими породами массив имеет интрузивные контакты, что выражается в их ороговиковании и превращении в мелкозернистые амфиболовые роговики.

Амфибол-биотитовые гранодиориты I фазы представляют собой преимущественно гнейсовидные, часто порфировидные породы, состоящие из плагиоклаза (оторочка — андезин, ядро — олигоклаз) (60%), калиевого полевого шпата (микроклин-пертита) (16%), кварца (15%), зелено-коричневого биотита (7%), амфибола (роговой обманки) и акцессорных минералов (сфен, апатит, эпидот, гранат, циркон, пирит, магнетит). В шлифах наблюдается отчетливая калишпатизация.

Граниты II фазы сложены биотитовыми, реже амфибол-биотитовыми разностями, для которых тоже характерна порфировидная структура. Их состав (%): олигоклаз (40), микроклин или ортоклаз (25), кварц (35), биотит (5–10), роговая обманка (1–3), акцессорные — сфен, эпидот, апатит, гранат, пирит. Среди жильных пород отмечены гранодиориты, гранодиорит-порфиры, граниты, гранит-порфиры, аплиты.

Породы характеризуются повышенной щелочностью. Сумма Na₂O и K₂O в диоритах достигает 7,68%, в гранодиоритах варьирует от 8,1 до 8,70%, в гранитах до 9% (Na₂O преобладает над K₂O). В гранитоидах содержание Ni, Cr, V, Cu, Zn, Pb, Mo, Ba, Sr, Sn выше кларков. Отношение Rb/Sr составляет от 0,035 до 0,086 [Шагалов, 2000], а ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0,7048.

Возраст цирконов из гранодиоритов Сыро-станского массива, расположенного юго-западнее Тургоякской интрузии (рис. 1), определен по методу Кобера и составляет 334±5 и 334±4 млн лет, из прорывающих их гранитов — 327±4 млн лет [Монтеро и др., 1998].

Отложения *уреньгинской свиты* развиты в пределах северо-восточного фланга Башкирского мегантиклинория, где они картируются по склонам хр. М. Урал, гор Красноглинской и Варганова и юго-западнее оз. Тургояк на горе Пугачева (рис. 1). Отдельные фрагменты ее разреза, представленные кристаллическими сланцами с гранатом, ставролитом, графитом, хлоритоидом и мраморами, отмечены на северном берегу р. Куштумга. Нижняя граница свиты закрыта осыпью таганайских кварцитов (RF₂tg), верхняя — тектоническая, она проходит по зоне Главного уральского разлома. Вблизи оз. Тургояк и южнее горы Варганова она контактирует со слюдяными сланцами и пес-

чаниками вышележащей уйташской толщи, но контакты не обнажены. Мощность свиты по приблизительным оценкам составляет 2000 м.

Кристаллические сланцы уреньгинской свиты отличаются от других подобных пород Башкирского мегантиклинория более крупнозернистым сложением, небольшим содержанием полевых шпатов, обилием слюд (особенно мусковита) и петрохимическими особенностями. Зерна граната образуют крупные порфирообласты размером до 4–5 мм. Кристаллы, как правило, ситовидные, часто изъеденные, иногда замещенные хлоритом. Последний развивается также и по порфирообластам коричневого биотита при диафорезе. Ставролит встречается в виде более мелких, чем гранат, призматических кристаллов и имеет довольно густую коричневую окраску, что, вероятно, свидетельствует о его высокой железистости. Из слюд чаще всего преобладает мусковит. Подобно кварцу он образует линзы и полосы, часто смятые в складки. В составе кристаллических сланцев широко развиты графитистые отложения, состоящие преимущественно из слюды, рассеянных пластинок графита и реже кварца. Кварциты близки по составу к таганайским и также содержат мусковит. Из акцессорных минералов в сланцах и кварцитах встречаются циркон, реже магнетит, турмалин, рутил.

К характерным особенностям пород свиты относятся повышенная глиноземистость, низкое содержание кальция, высокое отношение K₂O/Na₂O, свидетельствующие об осадочной природе первичных пород. Метаморфизм пород свиты соответствует амфиболитовой фации. Среднерифейский возраст уреньгинской и нижележащей таганайской свит устанавливается по сопоставлению их с надежно датированными зигальгинской, зигзино-комаровской и авзянской свитами юрматиния Башкирского мегантиклинория [Пучков, 2010].

Уйташская свита на рассматриваемой площади имеет ограниченное распространение и развита лишь на северо-западном побережье оз. Тургояк. Она сложена слюдястыми кварцитовидными песчаниками, слюдяно-кварцевыми сланцами, филлитами с прослоями слоистых «рудных» песчаников с магнетитом, гематитом и цирконом. Породы свиты обнажены только в привершинной части высоты с абсолютной отметкой 666,0. Развалы пород, в том числе «рудных» песчаников, встречаются вдоль руч. Липовка (рис. 1). В разрезе снизу вверх наблюдается постепенная смена более грубозернистых разностей песчаников и кварцито-песчаников слюдястыми blastoalevritовыми сланцами и филлитами по глинистым сланцам. Нижняя ее граница несогласная и проводится по подошве конгломератов, верхняя — тектоническая. Мощность свиты не менее 300 м.

Кварциты свиты практически утратили псаммитовую структуру и приобрели типичную лепидо-

гранобластовую. Слоистые текстуры определяются по чередованию пород, но особенно проявлены в «рудных» песчаниках с ровной горизонтальной или косою слоистостью, выраженной чередованием темных рудных слоев и слюдисто-кварцевых. В шлифах хорошо видна приуроченность к рудным слоям не только гематита и магнетита, но и циркона. При изучении протолок установлена кластогенная природа циркона, апатита, турмалина, рутила и рудных зерен, имеющих хорошо окатанную форму. Циркон в протолочках метамиктный, желтовато-белый, непрозрачный. Возраст свиты обоснован ее положением в разрезе выше среднерифейских отложений и по сопоставлению с зильмердакской свитой западного склона Южного Урала по маркирующим прослоям «рудных» песчаников [Пучков, 2010].

Материалы и методы исследований. Основную задачу наших исследований составляло установление *P-T* условий кристаллизации гранитоидов Туроякского массива и фаций регионального метаморфизма пород уреньгинской свиты на основе изучения биотит-гранатового парагенезиса, широко представленного среди гранодиоритов, кристаллических сланцев и диафторитов и все-сторонне экспериментально изученного [Перчук, Рябчиков, 1976; Термо- и барометрия..., 1977]. Монофракции биотита и граната отбирали из трех проб с номерами 8821, 7524 и 7233 (табл. 1, 2), первая из которых представляет собой гранодиорит, вторая — биотит-гранат-мусковит-ставролит-кварцевый сланец, а третья — гранат-слюдяно-кварцевый (без ставролита) диафторированный сланец из коренного обнажения в борту р. Куштумга (рис. 1).

Таблица 1

Состав биотита и граната в гранодиоритах Туроякского массива, масс.%

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	X _{Mg} ^{Bi,Gr}
Bi-1	37,44	3,38	16,08	26,03	0,27	0	6,18	0,16	9,26	98,79	0,29
Gr-1	37,50	0	21,13	31,41	3,39	4,60	2,45	0	0	100,48	0,11
Bi-2	36,74	3,02	15,85	26,73	0,39	0	5,66	0	9,04	97,44	0,27
Gr-2	37,40	0	21,20	30,99	3,45	4,73	2,16	0	0	99,87	0,10
Bi-3	37,14	3,28	15,85	26,31	0,38	0	5,78	0	9,28	98,00	0,28
Gr-3	37,19	0	20,97	30,73	3,26	5,01	2,69	0	0	99,85	0,12
Bi-1 (K _{0,92} Na _{0,02}) _{0,94} (Mg _{0,71} Fe _{1,69} Mn _{0,02} Ti _{0,20} Al _{0,38}) ₃ (Si _{2,91} Al _{1,09}) ₄ O ₁₀ [O _{0,63} (OH) _{1,37}] ₂ Gr-1 (Ca _{0,39} Mg _{0,29} Fe _{2,10} Mn _{0,23}) _{3,01} Al _{1,99} Si ₃ O ₁₂ Bi-2 K _{0,91} (Mg _{0,66} Fe _{1,76} Mn _{0,03} Ti _{0,18} Al _{0,37}) ₃ (Si _{2,90} Al _{1,10}) ₄ O ₁₀ [O _{0,54} (OH) _{1,46}] ₂ Gr-2 (Ca _{0,41} Mg _{0,26} Fe _{2,08} Mn _{0,24}) _{2,99} Al _{2,01} Si ₃ O ₁₂ Bi-3 K _{0,93} (Mg _{0,68} Fe _{1,72} Mn _{0,03} Ti _{0,19} Al _{0,38}) ₃ (Si _{2,92} Al _{1,08}) ₄ O ₁₀ [O _{0,61} (OH) _{1,39}] ₂ Gr-3 (Ca _{0,42} Mg _{0,32} Fe _{2,06} Mn _{0,22}) _{3,02} Al _{1,99} Si _{2,99} O ₁₂											

Примечание. Минералы выделены из пробы 8821.

Таблица 2

Состав биотита и граната в породах уреньгинской свиты, масс.%

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	X _{Mg} ^{Bi,Gr}
Bi-4	37,03	1,37	19,00	21,40	0	8,78	0	0	8,82	96,40	0,42
Gr-4	36,67	0	20,80	32,75	4,75	1,79	2,49	0	0	99,25	0,08
Bi-5	36,17	1,38	18,84	24,32	0	9,24	0	0	8,12	98,07	0,40
Gr-5	37,16	0	21,05	34,48	3,92	2,00	2,10	0	0	100,71	0,08
Bi-6	36,79	1,50	19,05	22,06	0	8,97	0	0	8,88	97,24	0,42
Gr-6	36,94	0	20,96	33,80	4,81	2,32	1,34	0	0	100,17	0,10
Bi-7	38,39	1,45	18,36	19,75	0	8,45	0	0	7,68	94,07	0,43
Gr-7	37,43	0	21,10	35,31	0	1,62	5,48	0	0	100,94	0,07
Bi-8	37,71	1,46	19,69	21,59	0	8,31	0	0,22	8,74	97,71	0,41
Gr-8	36,87	0	21,13	33,39	0,20	1,41	6,26	0	0	99,27	0,07
Bi-4 K _{0,86} (Mg _{1,00} Fe _{1,37} Ti _{0,08} Al _{0,55}) ₃ (Si _{2,84} Al _{1,16}) ₄ O ₁₀ [O _{0,41} (OH) _{1,59}] ₂ Gr-4 (Ca _{0,22} Mg _{0,22} Fe _{2,24} Mn _{0,33}) ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂ Bi-5 K _{0,78} (Mg _{1,03} Fe _{1,52} Ti _{0,08} Al _{0,37}) ₃ (Si _{2,71} Al _{1,29}) ₄ O ₁₀ [O _{0,02} (OH) _{1,98}] ₂ Gr-5 (Ca _{0,18} Mg _{0,24} Fe _{2,32} Mn _{0,27}) ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂ Bi-6 K _{0,86} (Mg _{1,02} Fe _{1,40} Ti _{0,09} Al _{0,50}) ₃ (Si _{2,80} Al _{1,20}) ₄ O ₁₀ [O _{0,36} (OH) _{1,64}] ₂ Gr-6 (Ca _{0,12} Mg _{0,30} Fe _{2,28} Mn _{0,33}) ₃ Al ₂ Si _{2,99} O ₁₂ Bi-7 K _{0,76} (Mg _{0,98} Fe _{1,28} Ti _{0,08} Al _{0,66}) ₃ (Si _{2,98} Al _{1,02}) ₄ O ₁₀ [O _{0,56} (OH) _{1,44}] ₂ Gr-7 (Ca _{0,47} Mg _{0,19} Fe _{2,34} Mn _{0,00}) ₃ (Al _{1,98} Fe _{0,02}) ₂ (Si _{2,99} Al _{0,01}) ₃ O ₁₂ Bi-8 (K _{0,84} Na _{0,03}) _{0,87} (Mg _{0,94} Fe _{1,37} Ti _{0,08} Al _{0,62}) ₃ (Si _{2,86} Al _{1,14}) ₄ O ₁₀ [O _{0,53} (OH) _{1,47}] ₂ Gr-8 (Ca _{0,54} Mg _{0,17} Fe _{2,26} Mn _{0,01}) ₃ Al ₂ (Si _{2,99} Al _{0,01}) ₃ O ₁₂											

Примечание. Минералы Bi-4–Bi-6, Gr-4–Gr-6 выделены из пробы 7524; Bi-7, Bi-8, Gr-7, Gr-8 — из проб 7233.

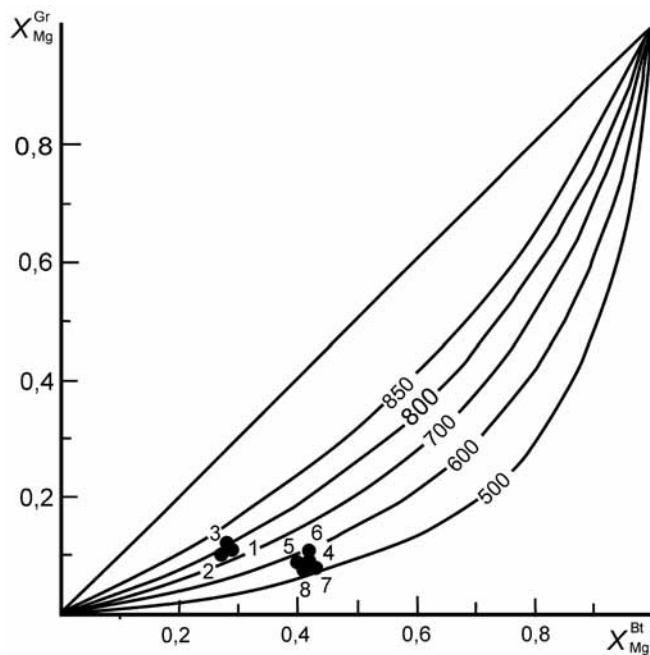


Рис. 2. Диаграмма фазового соответствия $X_{Mg}^{Gr} - X_{Mg}^{Bi}$ [Термо- и барометрия..., 1977] в гранитоидах Тургойского массива (точки 1–3) и породах уреньгинской свиты (точки 4–8)

Состав минералов проанализирован И.А. Блиновым (ИМин УрО РАН, г. Миасс) на растровом электронном микроскопе «Tescan Vega 3sbu» с энерго-дисперсионным спектрометром «Oxford Instruments X-act» (ускоряющее напряжение 20 кВ, эталоны для биотита — биотит, для граната — пироп, андрадит и гроссуляр) и приведены в табл. 1, 2. Их формулы рассчитаны по известной методике И.Д. Борнеман-Старынкевич [1964], а затем с помощью диаграммы фазового соответствия магнезиальности парагенезиса биотит — гранат [Перчук, Рябчиков, 1976] получены значения температуры и давления, при которых происходила кристаллизация Тургойского массива, а первичные осадки уреньгинской свиты были метаморфизованы.

Результаты исследований и их обсуждение.

Согласно данным табл. 1, гранат, отобранный из гранодиорита Тургойского массива, представлен альмандином и имеет очень незначительный разброс состава слагающих его элементов. Относительно граната пород уреньгинской свиты (табл. 2) он менее железистый и содержит FeO в пределах 30,73–31,41%, что на 2,0–3,9% меньше. Совсем другая картина наблюдается при исследовании биотита. Во-первых, его состав довольно сильно отличается, а, во-вторых, тургойский биотит более титанистый (на 1,65–1,88%) и железистый (на 1,7–6,3%), чем уреньгинский, но менее глиноземистый (на 2,5–3,6%) и калиевый (на 0,4–1,4%).

Анализ результатов микрозондового изучения состава биотита и граната пород уреньгинской свиты показал, что: 1) биотиты из проб 7524 и 7233 практически не отличаются; 2) гранат из пробы 7524 относительно такового из пробы 7233 содержит больше MnO (3,92–4,81% против 0,00–

0,20%) и MgO (1,79–2,33% против 1,41–1,62%), но меньше CaO (1,34–2,49% против 5,48–6,26%); 3) гранат кристаллических сланцев со ставролитом представлен альмандином с небольшой долей спессартинового компонента, а гранат диафторитов — альмандином с примесью андрадитовой составляющей.

Рассмотрим рис. 2, на котором приведена диаграмма фазового соответствия с координатами X_{Mg}^{Bi} и X_{Mg}^{Cr} , где $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe+Mn)$ (Mg, Fe и Mn — значения молярных долей компонентов в биотите и гранате). Вынесенные на нее восемь гранат-биотитовых пар образуют два поля, первое из которых расположено между изотермами 700 и 800 °C, а второе — 500 и 600 °C. По анализу пробы гранодиорита № 8821 (точки 1–3) температура кристаллизации Тургойского массива находится в пределах 770–810 °C. Температура образования метаморфических минералов уреньгинской свиты, согласно пробе № 7524 (точки 4–6), составляет 550–595 °C, а по пробе № 7233 (точки 7, 8) она несколько меньше — 520–530 °C. На другой диаграмме (рис. 3) [Термо- и барометрия..., 1977], предназначенной для определения давления по известным значениям T и $\ln K$ ($K = X_{Mg}^{Cr} : X_{Mg}^{Bi}$), точки 1–3 и 4–8 рассредоточены по довольно большой площади, где образуют две обособленные области. Давление в момент кристаллизации Тургойского массива (проба № 8821) составило 210–250 МПа, что соответствует глубине 7,3–8,7 км (абиссальная зона). Для кристаллических сланцев уреньгинской свиты (проба № 7524) оно находится в интервале 250–400 МПа, для диафторитов (проба № 7233) — 130–170 МПа. Примечательно, что все ее точки (4–8) попали в область развития андалузита, ограниченную полем устойчивости кордиерита. Реально в метаморфических породах уреньгинской свиты андалузит встречается, хотя и редко, но кианит, силлиманит и кордиерит в шлифах не отмечены.

Бликие выводы получены и при рассмотрении петрогенетической диаграммы (рис. 4), на которой обозначены фации регионального метаморфизма в зависимости от температуры и давления [Термо- и барометрия..., 1977], с той лишь разницей, что на ней кроме полей устойчивости перечисленных выше метаморфических минералов выделена область развития ставролита. По данным В.В. Федькина [1975], в породах с избытком Al_2O_3 , K_2O и SiO_2 , к числу которых несомненно относятся кристаллические сланцы и диафториты уреньгинской свиты, пограничные условия стабильности ставролита следующие: 450–650 °C и 200–1000 МПа. Согласно графикам на рис. 4 рассматриваемые породы метаморфизованы в условиях куммингтонитовых амфиболитов, но кристаллические сланцы пробы № 7524 (точки 4–6) содержат ставролит, а в диафторитах пробы № 7233 (точки 7, 8) его нет.

Перспективы рудоносности гранитоидов и углеродистых сланцев. Металлогеническую специализацию гранитоидов Тургойского массива можно оценить с помощью классификационной диаграммы $As-(K+Na)/Ca$, разработанной Л.С. Бородиным [2004], на которую вынесены эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций классических редкометалльных, оловорудных и медных провинций мира (рис. 5). Параметры As и $(K+Na)/Ca$ — расчетные и основаны на данных силикатного анализа (табл. 3), выполненного в Институте геологии УФИЦ РАН (г. Уфа, аналитик С.С. Ягудина). Первый из них, названный универсальным параметром кислотности–основности, учитывает не только содержание, но и химическую активность породообразующих элементов, а второй — характеризует степень щелочности–известковистости. Интересующий нас Мо-тренд протягивается вдоль границы раздела щелочного (III) и известково-щелочного (II) полей, но со стороны последнего. Согласно Л.С. Бородину [2004], он соответствует субизвестково-щелочным лейкогранитам S-типа, формирование которых происходило «в завершающие этапы длительной эволюции мантийно-корового магматизма в коллизионных обстановках внутриконтинентальных или окраинно-континентальных орогенных поясов».

Подавляющее большинство анализов пород Тургойского массива расположено между главным известково-щелочным (CA) и латитовым (LM) эталонными трендами в пределах полей IIв и IIIа, характерных для субизвестково-щелочных и субщелочных-щелочных гранитов соответственно. Все они, включая диориты, гранодиориты, граниты, жильные граниты и лейкограниты, последовательно сменяются в направлении от начала к окончанию Мо-металлогенического тренда. В связи с этим редкометалльная специализация гранитоидов Тургойского массива не вызывает сомнений. Наибольший интерес на молибденовое оруденение представляют породы, образовавшиеся на заключительном этапе его кристаллизации, в том числе лейкократовые и жильные граниты. Как отмечено в публикациях последних двух десятилетий [Ферштатер и др., 2000; Шагалов, 2000; Макагонов, Муфтахов, 2015], редкометалльная металлогеническая специализация гранитоидов монцодиорит-гранитной формации Южного Урала (Степнинского, Бирюковского, Сыростанского, Аргазинского и других массивов), к которой принадлежит и Тургойская интрузия, четко доказана. Подтверждается это и присутствием в породах некоторых из них (особенно в Сыростанском массиве) многочисленных проявлений и небольших месторождений Mo, W, Ta, Nb, PЗЭ.

Что касается рудоносности непосредственно гранитоидов Тургойского массива, то, по данным геологов ОАО «Челябинскгеосъемка», в его пределах известно одно молибден-флюоритовое прояв-

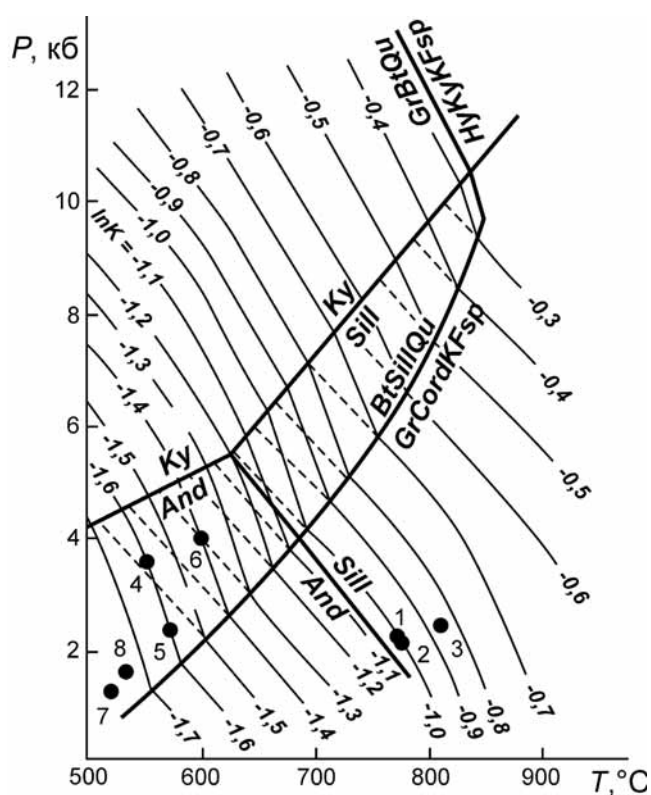


Рис. 3. Диаграмма P – T для определения давления по T и $\ln K$ [Термо- и барометрия..., 1977] в гранитоидах Тургойского массива (точки 1–3, табл. 1) и породах уреньгинской свиты (точки 4–8, табл. 2). Поля минералов: And — андалузит, Ky — кyanит, Sill — силлиманит, Bi — биотит, Gr — гранат, Cord — кордиерит, Kfs — калиевый полевой шпат, Qu — кварц, Hy — гиперстен

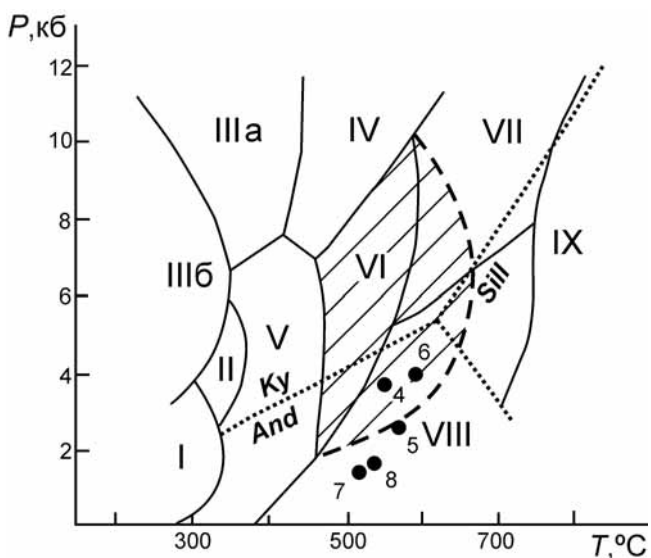


Рис. 4. Положение гранат-биотитовых пар (табл. 2) пород уреньгинской свиты на петрогенетической диаграмме [Термо- и барометрия..., 1977]. Сплошные линии — границы фаций, заштрихованное поле — поле устойчивости ставролита, точками показана тройная диаграмма And–Sill–Ky. Римскими цифрами обозначены фации: I — цеолитовая или пумпеллиит-пренитовая, II — пумпеллиит-актинолитовая, IIIa — глаукофан-лавсонитовая, IIIb — глаукофан-цоизитовая, IV — цоизит-кианит-кварцевых сланцев, V — зеленых сланцев, VI — эпидотовых амфиболитов, VII — альмандиновых амфиболитов, VIII — куммингтонитовых амфиболитов, IX — гранулитовая

Таблица 3

Химический состав гранитоидов Тургойского массива, масс. %

№ 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	Сумма
1	5545	63,14	0,55	15,98	1,72	2,49	0,06	3,67	3,63	5,00	2,68	0,37	0,78	100,07
2	5542	64,32	0,42	15,34	1,33	1,40	0,05	2,63	1,96	5,10	3,30	0,21	0,76	99,82
3	457a	65,81	0,99	16,87	1,07	1,33	0,05	1,81	3,65	5,31	2,26	0,17	0,98	100,30
4	491	66,00	0,50	16,60	1,97	1,53	0,05	1,79	3,59	5,00	2,67	0,20	0,70	100,60
5	9800-1	66,60	0,48	15,97	1,68	1,72	0,05	1,59	3,15	4,86	2,88	0,24	0,46	99,68
6	5541	66,64	0,40	16,17	2,18	1,28	0,05	2,25	1,98	5,00	3,13	0,23	1,06	100,37
7	5256	66,84	0,46	14,55	1,28	1,35	0,04	1,00	5,50	4,70	3,17	0,21	1,84	100,94
8	5268	66,72	0,46	15,95	0,98	1,99	0,05	2,61	3,47	4,64	2,92	0,21	0,72	100,72
9	464	67,42	0,52	15,08	1,52	1,35	0,05	1,35	3,56	5,54	2,42	0,25	0,80	100,02
10	5543	67,88	0,38	15,13	1,04	1,66	0,05	2,43	1,96	4,89	3,30	0,21	0,74	99,67
11	5540	69,22	0,29	13,64	1,58	1,15	0,04	1,93	1,68	4,89	3,75	0,16	0,76	99,09
12	5259	70,08	0,38	14,49	0,94	0,85	0,02	1,40	3,47	4,54	3,31	0,15	1,30	100,93
13	417	70,02	0,38	15,74	0,81	1,23	0,02	0,67	2,04	4,94	3,67	0,14	0,62	100,41
14	421	70,13	0,23	16,37	0,18	1,32	0,03	0,66	1,93	4,94	3,86	0,24	0,35	100,24
15	433	71,86	0,17	15,58	0,62	0,49	0,02	0,50	1,91	5,19	3,67	0,30	0,34	100,65
16	640	72,10	0,14	15,04	0,35	0,93	0,02	0,48	1,29	4,70	4,33	0,08	0,88	100,34
17	5550-2	72,88	0,09	14,35	0,16	1,28	0,02	0,03	1,12	4,89	3,75	0,03	0,50	99,10
18	5560-1	74,24	0,06	12,31	0,29	0,64	0,03	0,44	1,14	4,69	4,30	0,01	0,56	98,71

Примечания. 1 — диорит; 2–10 — гранодиориты; 11–15 — граниты с преобладанием плагиоклаза; 16–18 — жильные граниты и лейкограниты. Анализы выполнены авторами статьи и сотрудникам ОАО «Челябинскгеосъемка».

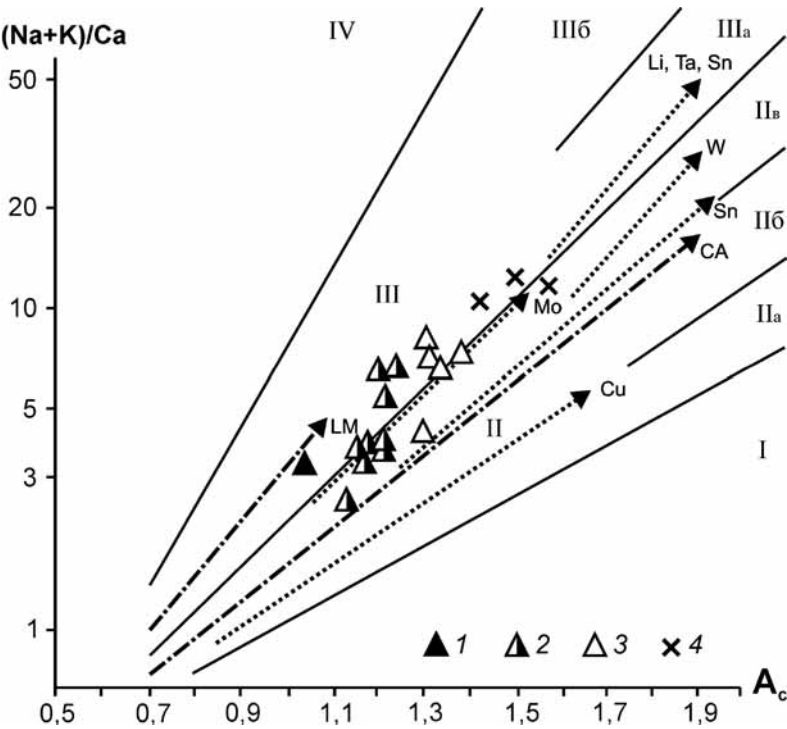


Рис. 5. Диаграмма (Na+K)/Ca — A_c [Бородин, 2004] для гранитоидов Тургойского массива с эталонными трендами рудогенных гранитоидных формаций: 1 — диориты, 2 — гранодиориты, 3 — граниты, 4 — жильные граниты и лейкограниты (табл. 3). Классификационные поля: I — известковое, II — известково-щелочное (IIa — субизвестковые, IIб — известково-щелочные, IIв — субизвестково-щелочные граниты); III — субщелочное (IIIa — субщелочные и щелочные граниты и лейкограниты, IIIб — щелочные агпайтовые граниты); IV — щелочное. Эталонные тренды: CA — главный известково-щелочной, LM — латитовый (монзонитовый). Эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций: Sn — оловянный, Cu — медно-порфировый, Mo—(Cu) — молибденовый, W—(Mo) — вольфрам-молибденовый; Li, Ta, Nb, Sn — литий-тантал-ниобий-оловянный

ление, названное Тургоякским, и два проявления золота (Тютевское и Флюоритовая жила) (рис. 1). Первое из них (Тургоякское) представляет собой 19 кварцевых жил протяженностью до нескольких десятков метров, расположенных в гранодиоритах. Содержание флюорита в жилах составляет в среднем ~5%. В грейзенизированных породах отмечены многочисленные чешуйки молибденита. Максимальное количество молибдена достигает здесь 0,1%. Тютевское проявление золота находится в самой западной части Тургоякского массива и включает в себя кварцевую жилу мощностью до 1,6 м и протяженностью около 600 м и вмещающие ее гранодиориты. Геологическое строение этого проявления довольно простое: в кварцевой жиле отмечена неравномерная вкрапленность галенита, пирита и реже халькопирита. Опробование показало наличие в ней до 6 г/т золота и до 4,5 кг/т серебра (в среднем 806 г/т). «Флюоритовая жила» (мощность до 0,5 м, длина 40–45 м) выполнена преимущественно кварцем и существенно меньше флюоритом. Содержание Au в среднем составляет 0,8 г/т, Ag — 9,6 г/т. В целом можно говорить о золото-редкометалльной специализации гранитоидов Тургоякского массива.

Кристаллические сланцы уреньгинской свиты и слюдяные сланцы, песчаники уйташской свиты не содержат значимых рудных объектов. Лишь в слюдяных кварцитах и амфибол-хлоритовых сланцах первой из них выявлено проявление магнетита и титаномагнетита метаморфогенного типа (протяженность рудных зон по простиранию 700–1000 м, мощность 16–120 м, среднее содержание Fe составляет 12,5%, TiO_2 — 2,2%) и несколько точек минерализации с вольфрамом, приуроченных к прослоям графитистых сланцев (рис. 1). Кроме того, в долине руч. Бобровка, впадающего в оз. Тургояк, известна Липовская россыпь золота протяженностью 2,4 км. Коренным ее источником могли быть углеродистые отложения уреньгинской толщи или золотоносные кварцевые жилы Сысертского массива.

Присутствие черных сланцев в разрезе уреньгинской свиты выгодно отличает ее от уйташских образований. Углеродистые отложения, как известно, представляют собой весьма благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов. При определенных условиях, особенно в областях проявления магматизма, зонального метаморфизма и тектонической активности, углеродистые породы могут концентрировать в себе крупные залежи золота, молибдена, вольфрама, ванадия, марганца, платины и других элементов [Коробейников, 1999; Вуд, Попов, 2006]. Доказано, что в результате проявления зонального регионального и контактового метаморфизма золото выносятся из зоны амфиболитовой (амфибол-роговиковой) фации и концентрируется в пределах зеленосланцевой и

эпидот-амфиболитовой (альбит-эпидот-роговиковой) фаций [Буряк, 1975; Ермолаев, Созинов, 1986; Сначёв, Сначёв, 2014]. При этом золоторудная минерализация имеет явную приуроченность к черносланцевым образованиям, испытавшим интенсивную тектоническую проработку, развившуюся в окварцевании, сульфидизации и дроблении пород.

В обрамлении гранитно-гнейсовых куполов и крупных гранитных массивов, имеющих четко выраженную металлогеническую специализацию, образуется зональность в размещении рудной минерализации. При удалении от контакта интрузивных тел происходит смена высокотемпературного (в нашем случае редкометалльного) оруденения, связанного со становлением гранитоидных массивов, переотложенным золотым и далее низкотемпературным золото-полиметаллическим оруденением, что показано нами, в частности, на примерах Ахуновского и Суундукского массивов [Демин, Сначёв, 1981; Сначёв и др., 2010].

В процессе проведения геолого-съёмочных работ в пределах листов N-41-VII и N-40-XII по периферии Тургоякского и Сыростанского гранитных массивов была откартирована граница между амфибол-роговиковой и альбит-эпидот-роговиковой фациями контактового метаморфизма (рис. 1). Ширина первой из них, являющейся потенциальной зоной выноса золота, колеблется от 0,4–1,0 км. Это позволило выделить в области развития альбит-эпидот-роговиковой фации два участка (Куштумгинский и Сакмарский), перспективные на поиски наложенного редкометалльного (W, Mo) и переотложенного золотого оруденения. Подтверждается этот вывод и наличием здесь в образованиях уреньгинской свиты серии крупных субмеридиональных разломов и разноориентированных зон дробления, окварцевания и сульфидизации, а также многочисленных прослоев углеродистых сланцев, обладающих хорошими сорбционными и восстановительными свойствами [Ермолаев, Созинов, 1986; Рыкус и др., 2009].

Закключение. Таким образом, учитывая приведенные выше геологические, петрогеохимические и физико-химические данные об уреньгинской, уйташской свитах и Тургоякскому гранитному массиву, можно предположить, что в северо-восточной части Башкирского мегантиклинория в среднем и позднем рифее в обстановке континентального рифтогенеза [Пучков, 2010] накапливались мелководные высокоглинозистые отложения (аргиллиты, алевролиты, песчаники), среди которых отмечены многочисленные прослои, обогащенные S_{org} и карбонатом (уреньгинская свита). На них с размывом и стратиграфическим несогласием отлагались преимущественно песчаники и заметно реже алевролиты и аргиллиты (уйташская свита). В поздневендское время породы испытали сначала региональный метаморфизм в условиях кумминг-

тонит-амфиболитовой фации при температуре 550–595 °С и давлении 250–400 МПа, а затем на локальных участках — диафторез ($T=520\div530$ °С и $P=130\div170$ МПа). По мнению С.Г. Ковалева с соавторами [2018], это связано с орогеническими движениями в складчатой области тиманид, обусловившими режим сжатия в пределах Южного Урала. В период становления Тургорякского массива ($T=770\div810$ °С и $P=210\div250$ МПа) (нижний–средний карбон) породы уреньгинской и уйташской свит подверглись контактовому метаморфизму. Его термоградиентное тепловое поле привело к выносу золота из черных сланцев зоны амфибол-роговиковой фации и переотложению в пределах альбит-эпидот-роговиковой фации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.А., Ковалев С.Г., Тимофеева Е.А. Белорецкий метаморфический комплекс. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 210 с.
- Борнеман-Старынкевич И.Д. Руководство по расчету формул минералов. М.: Наука, 1964. 224 с.
- Бородин Л.С. Модельная система петрогеохимических и металлогенических трендов гранитоидов как основа прогноза месторождений Sn, Li, Ta, Nb, W, Mo, Cu // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 1. С. 3–26.
- Буряк В.А. Метаморфогенно-гидротермальный тип золотого оруденения // Геология рудных месторождений. 1975. № 1. С. 37–46.
- Вуд Б.Л., Попов Н.П. Гигантское месторождение Сухой Лог // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, С. 315–341.
- 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.
- Ермолаев Н.П., Созинов Н.А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах. М.: Наука, 1986. 244 с.
- Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. Первые данные количественной оценки параметров вендского метаморфизма восточной части Башкирского мегантиклинория // Докл. РАН. 2018. Т. 483, № 3. С. 301–305.
- Коробейников А.Ф. Минералогия благородных металлов нетрадиционных золото-платиноидных руд в черносланцевых формациях // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке. М.: Геоинформмарк, 1999. С. 40–51.
- Макагонов Е.П., Муфтахов В.А. Редкоземельно-редкометалльная минерализация в поздних гранитоидах Сыростанского массива (Южный Урал) // Литосфера. 2015. № 2. С. 121–132.
- Монтеро П., Беа Ф., Ферштатер Г.Б. и др. Изотопное датирование Сыростанского гранитоидного массива: вклад в изучение истории развития зоны ГУГР // Тез. Конф. «Чтения А.Н. Заварицкого». Екатеринбург, ИГиГ УрО РАН, 1998. С. 106–107.
- Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. М.: Недра, 1976. 287 с.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Рыкус М.В., Сначёв В.И. и др. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7, № 2. С. 17–27.
- 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.
- Сначёв В.И., Сначёв А.В. Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Южный Урал) // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. Геология. 2014. № 2. С. 79–87.
- Термо- и барометрия метаморфических пород / Под ред. В.А. Глебовицкого. Л.: Наука, 1977. 207 с.
- Федькин В.В. Ставролит. М.: Наука, 1975. 250 с.
- Ферштатер Г.Б., Шагалов Е.С., Беа Ф., Монтеро П. Тургорякско-Сыростанская группа гранитоидных массивов зоны Главного Уральского глубинного разлома // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2000. С. 129–158.
- Шагалов Е.С. К петрографии и геохимии пород Тургорякского массива (Южный Урал) // Ежегодник-1999, ИГиГ УрО РАН. Екатеринбург. 2000. С. 129–156.

Поступила в редакцию 09.10.2019

Поступила с доработки 00.00.2020

Принята к публикации 00.00.2020