

проведенных исследований золоторудных жил Мурашкиной горы [Артемьев и др., 2013]. Составы золота, характеризующиеся высоким содержанием Ag, и электрума из россыпей р. Атыян близки таковым для золота из россыпи Комья-Курай, также относящейся к Атыянской группе россыпей, где центральные части зерен золота наиболее обогащены Ag, при этом в центральных областях некоторых зерен золото переходит в электрум [Попова и др., 2016]. В зернах золота из всех россыпей выделяется красная кайма повышенной пробыности. Эти особенности строения, а именно выноса примесей из приповерхностных частей зерен, являются результатом изменения золота в зоне гипергенеза [Петровская, 1973].

Самородное золото изученных россыпей Миасской россыпной зоны отличается по химическому и гранулометрическому составам, форме и степени окатанности. Закономерное изменение морфологических особенностей зерен самородного золота позволяет сделать вывод о прямой связи преобладающего объема россыпного золота с коренными источниками, расположенными в верховьях водотоков, и о подчиненной роли промежуточных коллекторов при формировании россыпных объектов в ложковых, аллювиально-делювиальных и аллювиальных россыпях Миасской долины.

## Литература

*Артемьев Д.А., Блинов И.А., Анкушев М.Н.* Самородное золото месторождения листовитового типа Мурашкина Гора (Южный Урал) // Мат. III Междунар. научно-практ. конф. мол. учен. и спец. памяти акад. А.П. Карпинского. СПб: ВСЕГЕИ, 2013. С. 183–187.

*Зайков В.В., Котляров В.А., Зайкова Е.В., Блинов И.А.* Микровключения рудных минералов в золоте Миасской россыпной зоны (Южный Урал) как показатель коренных источников // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 6. С. 670–674.

*Козин А.К., Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С.* Особенности минерального состава шлихов из россыпей золота, связанных с массивом альпинотипных гипербазитов на Южном Урале // Металлогения древних и современных океанов-2020. Критические металлы в рудообразующих системах. Миасс: Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, 2020. С. 140–143.

*Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А.* Месторождения золота Урала. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2001. 622 с.

*Петровская Н.В.* Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с.

*Попова В.И., Никандрова Н.К., Сарафанов Л.В., Попов В.А.* Россыпь золота Комья-Курай Атыянской группы в Миасской долине и перспективы дополнительной отработки россыпей золота на Южном Урале // Минералогия. 2016. № 3. С. 71–78.

*Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 2000. 146 с.

*Шуб В.С., Баранников А.Г., Шуб И.З., Якушев В.М.* Золото Урала. Россыпные месторождения (к 250-летию золотой промышленности Урала). Екатеринбург: УИФ Наука, 1993. 133 с.

***В.В. Михайлов, С.Ю. Степанов, Р.С. Паламарчук, Н.С. Чебыкин***  
*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*  
*mvvsevolodovich@yandex.ru*

## **Золото-серебряное оруденение в гранодиоритах Тургорского массива, Южный Урал**

(научный руководитель – член-корр. РАН В.Н. Пучков)

Золотые россыпи долины р. Миасс на Южном Урале разрабатываются уже на протяжении 200 лет [Дементьев, Зазуляк, 1997]. Несмотря на высокую продуктивность россыпей Южного

Урала (за всю историю отработки на которых было добыто около 125 т золота [Дементьев, Зазуляк, 1997]), вопрос о коренных источниках благородных металлов остается открытым. Изучение микровключений рудных минералов в россыпном золоте позволило установить связь россыпей Миасской зоны с определенными рудными месторождениями разных формационных типов: золотородингитовым, колчеданным, золотосульфидным, золотоарсенопирит-кварцевым [Зайков и др., 2017]. В гранодиоритах Тургоякского массива вблизи г. Миасс по данным геологического картирования установлено два рудопроявления, относящиеся к золото-сульфидно-кварцевой формации – Тютевское и Флюоритовая жила [Государственная..., 2010], однако околожильные метасоматические образования, а также рудные минералы из кварцевых жил изучены недостаточно.

Целью работы является изучение коренной золотоносности гидротермально-метасоматических образований, развитых по гранодиоритам Тургоякского массива. Материал для исследования отобран при изучении шести старых выработок, пройденных по кварцевым жилам в гранодиоритах. Отобраны образцы вмещающих гранодиоритов с различной степенью метасоматического преобразования, кварцевых жил с сульфидной минерализацией, а также обрамляющие их околорудные метасоматиты. Химический состав проб был проанализирован на 62 элемента с применением масспектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в центральной аналитической лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ» (ELAN-6100 DRC, аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов). Содержания Au и ЭПГ во вмещающих породах, околорудных метасоматитах и кварцевых жилах определены пробирно-атомно-эмиссионным методом (ЗАО «РАЦ МИА»). Химический состав породообразующих минералов проанализирован на СЭМ JSM-6390LV (JEOL) с ЭДС (аналитик Н.С. Чебыкин) и заверен на электронно-зондовом микроанализаторе Camebax SX100 (аналитик И.А. Готтман) в Институте геологии и геохимии УрО РАН.

Тургоякский массив находится в северо-восточной части Башкирского мегантиклинория на границе с Главным Уральским разломом. Массив относится к тургоякско-сыростанскому комплексу монцодиорит-гранитной формации и сложен преимущественно гранодиоритами, реже кварцевыми диоритами I фазы и гранитами II фазы внедрения [Ферштатер, 2013]. Породы массива выходят на дневную поверхность по берегам оз. Тургояк. В плане он имеет округлую форму, в разрезе представляет собой шток диаметром 8 км с вертикальной мощностью около 7–10 км [Государственная..., 2010]. Вмещающими породами для золото-серебряного оруденения являются амфибол-биотитовые гранодиориты I фазы внедрения. Они представляют собой порфириовидные породы, преимущественно состоящие из плагиоклаза (до 58 %, ядро – олигоклаз An 20–25, оторочка – олигоклаз An 12–15), кварца (20 %), калиевого полевого шпата (ортоклаза) (12 %), а также зелено-коричневого биотита (7 %) и роговой обманки (3 %); среди аксессуарных минералов диагностированы циркон, монацит, фтор-апатит, титанит, магнетит. В слабоизмененных гранодиоритах появляется новообразованный мусковит, равномерно замещающий полевые шпаты, по темноцветным биотиту и роговой обманке образуются хлорит и карбонаты. При увеличении степени метасоматической переработки первичный олигоклаз замещается новообразованным альбитом и серицитом, темноцветные минералы замещаются хлоритом и карбонатами, реже новообразованным биотитом. В максимально преобразованных участках породы появляются прожилки, сложенные кварц-альбитовым, кварц-ортоклазовым или мономинеральным кварцевым агрегатами.

Из рудных минералов формирование этих метасоматитов сопровождается образованием идиоморфных кубических зерен пирита. Кварцевые жилы часто отделены от кварц-полевошпатовых метасоматитов тонкими прожилками, сложенными лепидогранобластовыми кварц-серицитовыми породами. Крупные зерна новообразованного полевого шпата часто окружены мелкозернистым кварцевым агрегатом. Сульфиды в кварцевых жилах распростра-

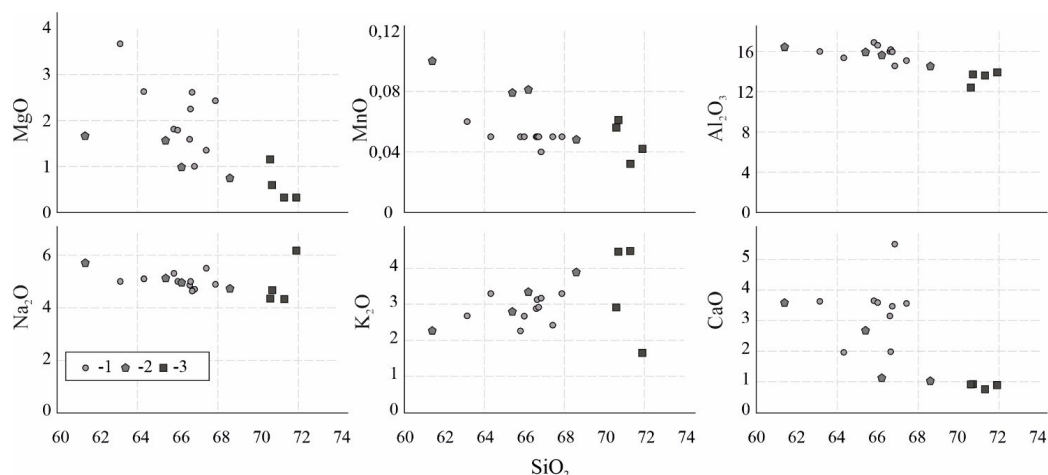


Рис. 1. Диаграммы зависимости петрогенных элементов от содержания  $\text{SiO}_2$  для гранодиоритов Тургойского массива:

1 – гранодиориты I фазы [Отчет..., 1982ф]; 2 – промежуточные разновидности метасоматически измененных гранодиоритов; 3 – околожильные метасоматиты.

нены неравномерно, встречаются как мономинеральные кварцевые участки, так и участки с массивным мелко-, среднезернистым пиритом или галенитом. Среди основных рудных минералов в кварцевых жилах диагностированы галенит, пирит, халькопирит, реже встречается самородный висмут. По периферии зерен галенита и по трещинам в нем развиваются англезит и церуссит. В виде субмикронных зерен в трещинах в галените диагностирован барит.

Для пород, вмещающих золоторудную минерализацию, отмечается ярко выраженное деление по содержанию  $\text{SiO}_2$ . Так, наиболее обогащены  $\text{SiO}_2$  (более 70 мас. %) околожильные метасоматиты. Для вмещающих гранодиоритов содержание  $\text{SiO}_2$  составляет 62–68 мас. % (рис. 1). Метасоматические процессы практически не оказывают влияние на распределение  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{MnO}$ . В ряду гранодиорит – серицитизированный гранодиорит – кварц-альбит-полевошпатовый метасоматит отмечено незначительное снижение содержаний этих оксидов. Метасоматическое преобразование гранодиоритов приводит к выносу  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ , в то же время происходит накопление  $\text{K}_2\text{O}$  (рис. 1).  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$  выносятся вследствие замещения биотита и роговой обманки, при этом основной объем Ca выносятся при альбитизации и серицитизации плагиоклазов. Накопление K происходит за счет замещения олигоклаза и слюд калиевым полевым шпатом и мусковитом.

По данным анализа распределения элементов-примесей в исходных породах и метасоматитах установлено, что характерной особенностью процесса преобразования является уменьшение количества крупноионных литофильных элементов таких, как Ba и Sr, с возрастанием степени метасоматического изменения пород (табл.). Увеличение содержания Rb может быть связано с общей щелочной направленностью метасоматоза. Для околожильных кварц-серицитовых метасоматитов отмечены высокие концентрации Rb относительно кварц-альбит-полевошпатовых, что связано с изоморфным вхождением элемента в состав слюд. Среди рудных элементов установлено увеличение концентраций Pb в околорудных метасоматитах относительно гранодиоритового субстрата. Содержания платиноидов, Ag и Au во вмещающих породах и околорудных метасоматитах находятся на уровне близком к кларковым значениям. В кварцевых жилах содержания Ag и Au возрастают на несколько порядков. Содержание Au в кварцевых жилах с сульфидной минерализацией достигает 30 г/т. По

## Содержания редких и рудных элементов в породах Тургойского массива, г/т

	Va	Rb	Sr	Pb	Cu	Zn	Ag	Pd	Ir	Pt	Au
**	1306	60.31	1133	12.23	10.35	88.86	–	–	–	–	–
ТРЗ-20	1230	78	1030	16.10	31.10	56.30	0.03	0.021	0.003	0.014	0.02
ТРЗ-9	612	103	447	18.40	24.10	59.50	0.036	0.012	0.003	0.008	0.01
ТРЗ-34	312	37.1	386	12.70	10.00	19.30	0.043	0.011	<0.002	0.004	0.02
ТРЗ-30	475	121	310	35.90	8.59	26.00	0.096	0.007	<0.002	0.003	0.02
ТРЗ-44	–	–	–	–	–	–	–	<0.002	<0.002	<0.002	31.20
ТРЗ-40	–	–	–	–	–	–	–	<0.002	<0.002	<0.002	22.00

*Примечание.* \*\* – состав гранодиорита Тургойско-Сыростанского комплекса по [Ферштатер, 2013]; прочерк – содержание элемента не определялось; <0.002 – содержание элемента ниже предела обнаружения; ТРЗ-20 – биотит-роговообманковый гранодиорит; ТРЗ-9 – серицитизированный гранодиорит; ТРЗ-34 – кварц-альбит-полевошпатовый метасоматит; ТРЗ-30 – кварц-серицитовый метасоматит; ТРЗ-44. ТРЗ-40 – кварцевые жилы с сульфидной минерализацией.

литературным данным в кварцевых жилах Тютевского рудопоявления [Государственная..., 2010] содержание Ag достигает 4 кг/т, в среднем, составляя 800 г/т, содержание Au выдержано – около 6 г/т.

При изучении аншлифов и полированных шлифов, изготовленных из штучных проб кварцевых жил, обогащенных сульфидными минералами, установлено, что Au и Ag сконцентрированы в виде собственных минералов. В золоторудной ассоциации установлено пять минеральных видов: самородное золото  $Au_{0,91}Ag_{0,09}$ , электрум  $Au_{0,62}Ag_{0,38}$ , силванит  $Au_{1,77}Ag_{0,24}Te_{3,98}$ , гессит  $Ag_{1,54}Au_{0,47}Te_{0,97}$  и ютенбогардит  $Ag_{3,17}Au_{0,89}S_2$ .

Преобладающая часть минералов золота встречена в трещинах и в интерстициальном пространстве между зернами кварца (рис. 2а, б). Самородное золото часто встречается в сростании с гесситом, для минерала характерна примесь Ag до 8.94 мас. %, редко отмечается примесь Hg, не превышающая 0.1 мас. %. Размер наиболее крупных зерен самородного золота не превышает 250 мкм. Электрум также занимает интерстициальное пространство или приурочен к трещинам в кварце. Строение зерен электрума неоднородное, содержание Ag варьирует от 15.23 до 34.11 мас. %. В сростании с электрумом встречено единственное зерно редкого Au-Ag сульфида – ютенбогардита (рис. 2б). Реже минералы золоторудной ассоциации встречаются в сульфидах (рис. 2в, г). Субмикронные включения самородного золота встречены в псевдоморфозах лимонита по пириту (рис. 2в). Мелкие зерна теллуридов Au и Ag часто приурочены к англезит-церусситовой оболочке зерен галенита.

Составы золота из кварцевых жил Тургойского массива на треугольной диаграмме в координатах Au-Ag-Cu близки к золоту кварц-сульфидных жил Березовского месторождения (рис. 2д). Аналогичные составы золота с пробностью 870–930 ‰ описаны для Среднемиасской россыпи, располагающейся в непосредственной близости к Тургойскому массиву [Зайков и др., 2017].

Редкометалльная специализация субстрата [Ферштатер, 2013], а также высокие температуры образования Тургойского массива (800–900 °С) [Сначев и др., 2020] способствовали распространению двух типов метасоматитов: высокотемпературные кварц-альбит-полевошпатовые (рудопоявление Флюоритовая жила) [Сначев и др., 2020], концентрируют в себе редкометалльную минерализацию, тогда как более низкотемпературные кварц-серицитовые содержат мощные кварцевые жилы с высокими концентрациями Au и Ag. Таким образом, в гранодиоритах Тургойского массива возможно нахождение золото-серебряных объектов, связанных с кварцевыми жилами в кварц-серицитовых метасоматитах, и редкоче-

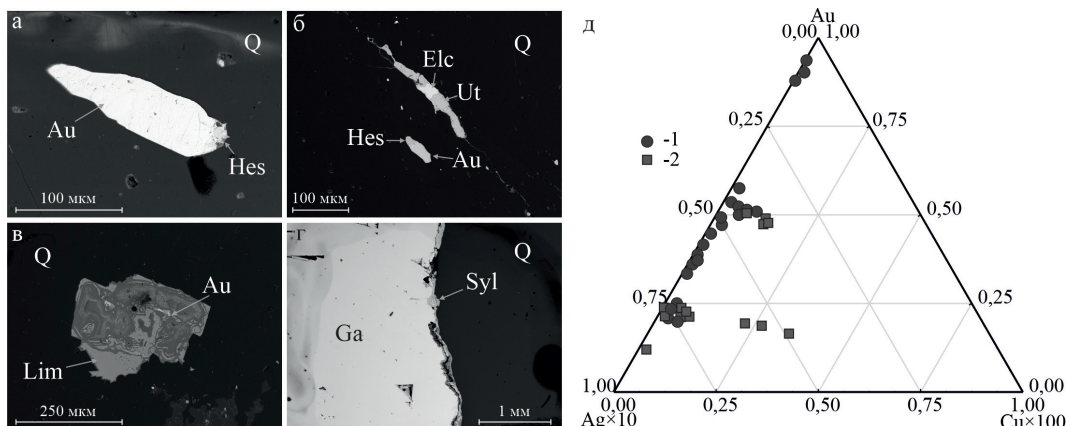


Рис. 2. Золоторудная ассоциация кварцевых жил в Тургойском массиве: а) самородное золото с гесситом в кварце; б) срастания минералов золота в кварце; в) субмикронное включение золота в псевдоморфозе лимонита по пириту; г) сильвайт в галените; д) составы золота Тургойского рудопроявления (1) и кварц-сульфидных жил Березовского месторождения (2) [Паламарчук и др., 2019].

Au – самородное золото, Elc – электрум, Ut – ютенбогаардит, Syl – сильвайт, Hes – гессит; Ga – галенит, Lim – лимонит, Q – кварц.

талльных объектов, сконцентрированных в высокотемпературных щелочных метасоматитах. Au-Ag минерализация кварцевых жил могла служить коренным источником золота для россыпей Миасской долины, а также небольшого Липовского россыпного месторождения золота, расположенного в долине руч. Бобровка.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН, № гос. рег. АААА-А18-118052590032-6.

## Литература

Отчет Восточно-Уральского геолого-съёмочного отряда о результатах группового геологического доизучения масштаба 1:50000 Миасской площади в Чебаркульском и Уйском районах и на территории г. Миасс Челябинской области и Учалинском районе Башкирской АССР за 1977–1982 гг. / Под ред. В.В. Бабкина. Челябинск: ТФ «Чел. ТФГИ», 1982ф. Т. I. 111 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XII (Златоуст). Объяснительная записка. Под редакцией Ю.Р. Беккера. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 366 с.

Дементьев В.С., Зазуляк И.А. Миасский золото промышленный район в XVIII–XIX вв. // История Миасского золота. Краеведческий сборник № 1. Миасс: Геотур, 1997. С. 14–20.

Зайков В.В., Котляров В.А., Зайкова Е.В., Блинов И.А. Микровключения рудных минералов в золоте миасской россыпной зоны (Южный Урал) как показатель коренных источников // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 6. С. 670–674.

Паламарчук Р.С., Степанов С.Ю., Варламов Д.А. Состав золота и характер его изменения в процессах образования россыпей Среднего и Северного Урала, связанных с различными источниками нескольких генетических типов // Новое в познании процессов рудообразования. IX Рос. молодеж. научно-практ. школа с междунар. участием. М.: ИГЕМ РАН, 2019. С. 293–296.

Сначев А.В., Сначев В.И., Романовская М.А. Геология, условия образования и рудоносность Тургойского гранитного массива и углеродистых отложений западного его обрамления (Южный Урал) // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. 2020. № 1. С. 12–20.

Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.