

ЗОЛОТО-БРАННЕРИТОВЫЕ САМОРОДКИ В РОССЫПИ ОЗЕРНИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (Бурятия)

А.Г. Миронов, Н.С. Карманов, А.А. Миронов, Е.В. Ходырева

Геологический институт СО РАН, 670043, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, ба, Россия

Обнаружены и изучены крупные золото-браннеритовые агрегаты (самородки весом до 50 г), встреченные в россыпях Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). Браннерит слагает крупные кристаллы и агрегаты кристаллов с составом, близким к стехиометричному UTi_2O_6 . Весьма характерно отсутствие редких земель, низкие содержания или отсутствие тория. Постоянно фиксируется примесь железа (2.0—3.7 мас. % FeO), кальция (до 2.7 мас. % CaO) и кремнезема (до 2.14 мас. %). В браннерите отмечаются также мелкие (<1 мкм) включения минералов теллура с золотом и серебром, теллура с висмутом и висмута. Золото локализуется как по трещинам, секущим браннерит, так и образует с ним структуры совместного выпадения из растворов. Золото обнаружено также в виде тонких выделений (1—3 мкм) в мусковите. Сопутствующими минералами являются гематит, барит, рутил, содержащий в своем составе железо (0.36—3.61 мас. % FeO) и вольфрам (до 7.5 мас. % WO_3), доломит, сидерит, мусковит. В гидроксидах Fe, Ti, U установлены повышенные содержания Te и Bi. Выявлена необычная связь рутила с золотом, которая наблюдается в различных образцах на уровне не только крупных агрегатов, но и микровключений золота размером менее 1 мкм в зернах рутила. Показано, что по составу и минеральному парагенезису данная золото-браннеритовая ассоциация близка к рудам эльконского типа (Центральный Алдан), связанным с мезозойским магматизмом.

Самородное золото, урановая минерализация, браннерит.

GOLD-BRANNERITE NUGGETS IN PLACERS OF THE OZERNOE ORE CLUSTER (Buryatia)

A.G. Mironov, N.S. Karmanov, A.A. Mironov, and E.V. Khodyreva

Large gold-brannerite aggregates (nuggets up to 50 g in mass) were found in placers of the Ozernoe ore cluster, western Transbaikalia. Brannerite occurs as large crystals and crystal aggregates and has the near-stoichiometric composition UTi_2O_6 . It lacks REE, contains little, if any, Th, and has admixtures of FeO (2.0–3.7 wt.%), CaO (up to 2.7 wt.%), and SiO_2 (up to 2.14 wt.%). It also bears fine (<1 μm) inclusions of Au-Ag- and Bi-containing tellurium minerals and bismuth minerals. Gold occurs both in the cracks of brannerite and as aggregates with it that formed on their joint precipitation from solutions. Gold was also found as fine (1–3 μm) segregations in muscovite. Accessory minerals are hematite, barite, rutile (containing 0.36–3.61 wt.% FeO and up to 7.5 wt.% WO_3), dolomite, siderite, and muscovite. High contents of Te and Bi were detected in Fe, Ti, and U hydroxides. A specific relationship between gold and rutile has been revealed both in large aggregates and in gold microinclusions (<1 μm) in rutile grains. In composition and paragenesis the studied gold-brannerite association is similar to ores of the El'kon type (Central Aldan) related to the Mesozoic magmatism.

Native gold, uranium mineralization, brannerite

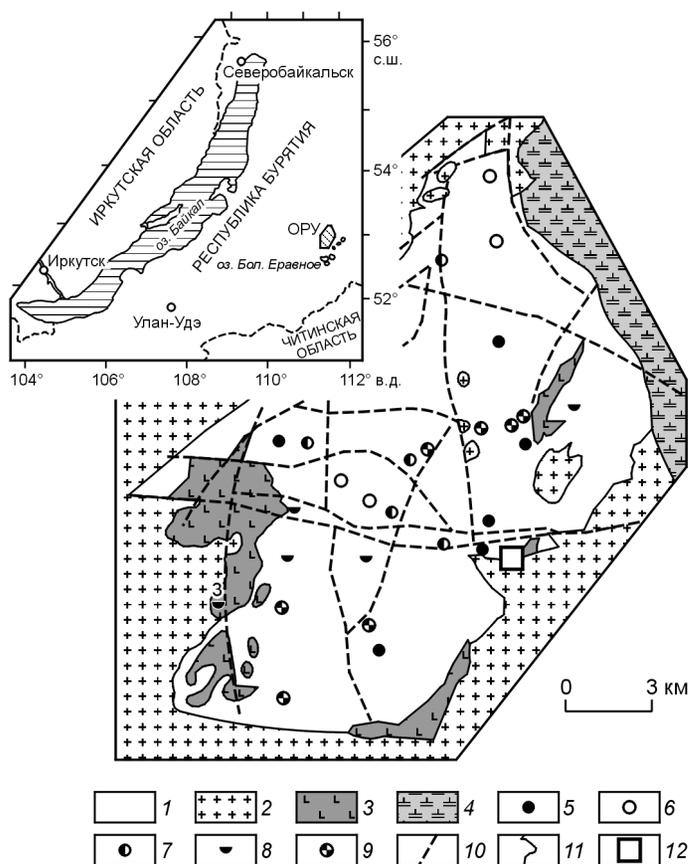
ВВЕДЕНИЕ

Редкая ассоциация самородного золота с браннеритом известна на таких месторождениях, как Витватерсранд (ЮАР), Блайнд-Ривер (Канада) и некоторых более мелких золото-урановых объектах [Pabst, Stinson, 1960; Steasy et al., 1974; England, 2001]. В России подобная ассоциация слагает уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район [Казанский, 2004]. Здесь в пределах Эльконского горста выделено два типа комплексных руд: золотосодержащее браннеритовое оруденение эльконского типа и браннерит-серебросодержащее оруденение федоровского типа [Бойцов, Пилипенко, 1998; Казанский, 2004]. Однако собственно золото-браннеритовые сростания крайне редки и установлены только в рудах Витватерсранда (ЮАР) и Ричардсона (Канада) в виде мелких кристаллов и зерен [Steasy et al., 1974; England, 2001]. Нам удалось обнаружить и изучить крупные золото-браннеритовые агрегаты, встреченные в россыпях Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье).

Озернинский рудный узел включает крупное колчеданно-полиметаллическое Озерное месторождение, более 30 мелких месторождений и рудопроявлений сульфидных и железистооксидных руд, а также сидерита, барита и боровой минерализации (рис. 1). Рудный узел полностью локализуется в провесе кровли (20 × 10 км²), сложенной островодужными нижнепалеозойскими вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами олдындинской свиты, интрузивными и субвулканическими телами пермского возраста. Считается, что с островодужным вулканогенно-осадочным комплексом связаны

Рис. 1. Схема геологического строения провеса кровли вулканогенно-осадочных пород, вмещающих Озернинский рудный узел (ОРУ).

1 — вулканогенно-осадочные породы (ϵ_1); 2 — лейкократовые граниты (PZ_3); 3 — диориты, гранодиориты (PZ_3); 4 — трахитовые порфиры и их туфы (Т); месторождения и рудопроявления: 5 — железо-марганцево-карбонатно-оксидные; 6 — колчеданно-полиметаллические; 7 — сульфидно-карбонатно-оксидные; 8 — железо-марганцевые сульфидные с бором и барием; 9 — жильные полиметаллические с баритом; 10 — главные разломы; 11 — геологические границы; 12 — контур площади, где встречены золото-браннеритовые самородки.



колчеданно-полиметаллическое и железо-оксидное оруденения, а гидротермально-метасоматическое и скарновое, возможно, имеют более молодой позднепалеозойский возраст.

Золотое оруденение в рудном узле было известно ранее в единственном Назаровском колчеданно-цинковом месторождении, где широко проявлены скарны и гидротермальные изменения вмещающих пород [Ковалев и др., 2003]. В настоящее время в рудном узле интенсивно изучается золотосодержащая способность различных пород и руд, и, вероятно, в скором времени этот металл станет одним из

главных в пределах рассматриваемого рудного поля. По крайней мере, уже сейчас ведется разведка и добыча золота из россыпей в главных водотоках узла, установлены несколько типов рудного золота в рудопроявлениях с содержаниями золота до десятков г/т. Что касается урана, то в пределах Озернинского рудного узла его проявления ранее не были установлены.

При отработке золотосодержащей россыпи в нижнем течении руч. Каменный (притока руч. Лев. Сурхэбта) артелью «Курба» были подняты самородки сложного состава с радиоактивностью от 30 до 600 мкР/ч. Вес самородков колебался от 1—2 до 50 г. Внешне это золотисто-бурые агрегаты, более 50 % поверхности которых сложены ярко-желтым самородным золотом, остальная часть представлена темно-бурым до черного слаботрешиноватым минералом (рис. 2). На срезе самородков видно, что количество золота в них значительно меньше (10—15 об. %) и располагается оно как по периферии, так и по трещинам в буром минерале или (реже) в виде включений в нем. Гамма-спектрометрический анализ самородков позволил установить, что природа радиоактивности в основном урановая, с вариациями в содержаниях U от 14 до 22.6 мас. %, Th — 1.0—6.0 мас. %.

Исследование состава и характера взаимоотношения минералов проводилось на электронном сканирующем микроскопе LEO1430VP (LEO Electron Microscopy Ltd.) с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 (Oxford Instruments Analytical Ltd.) при ускоряющем напряжении 20 кВ, электронном токе 0.2—0.3 нА, размере зонда около 0.1 мкм. Живое время набора спектров составляло 50 с. Для того

чтобы снизить влияние микрорельефа образца на точность анализа, большая часть анализов минералов выполнялась на небольших участках шлифа в режиме раstra. Все изображения на электронном микроскопе получены с детектором обратнорассеянных электронов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Детальное изучение образцов полированных препаратов из самородков с использованием оптического и электронного микроскопов показало, что урановая минерализация сложена исключительно браннеритом с мел-

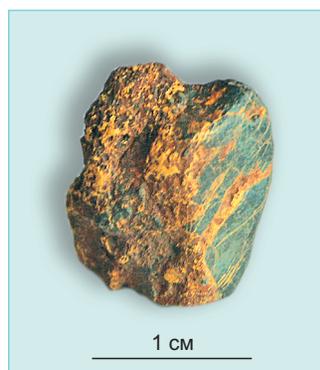


Рис. 2. Общий вид золото-браннеритового самородка.

кими (субмикронными) включениями уранинита. Кроме того, в браннерите постоянно отмечаются микро-включения, микропрожилки и просечки золота. Судя по наиболее крупным самородкам, **браннерит** слагает крупные кристаллы и агрегаты кристаллов. Цвет браннерита черный, буровато-черный, иногда на выветрелой поверхности с оливковым оттенком (см. рис. 2). В браннерите (табл. 1) постоянно фиксируется примесь железа (2.0—3.7 мас. % FeO), кальция (до 2.7 мас. % CaO) и кремнезема (до 2.14 мас. %), соотношение атомных количеств урана и титана равно 0.47. Весьма характерно отсутствие редких земель, низкие содержания или отсутствие тория. В браннерите отмечаются также мелкие (<1 мкм) включения минералов теллура с золотом и серебром, теллура с висмутом и висмута. В краевых частях зерен браннерита появляются гидратированные разновидности с меньшим количеством урана, отвечающие, по-видимому, ортобраннериту с формулой $UTi_4O_{12}(OH)$.

Рудная ассоциация, в которой преобладает браннерит, сложена также золотом, гематитом, рутилом, кварцем, доломитом, сидеритом, баритом, мусковитом, гидроксидами Fe, Ti, U.

Золото — второй по распространенности минерал в самородках, слагающий от 5 до 30—40 % их объема. Наиболее широко оно развито на поверхности самородков, тогда как в поперечном сечении видно, что слагает прожилки и включения в браннерите, а также выполняет микротрещины в нем (см. рис. 2). Такой характер распределения золота в самородках связан, по-видимому, не с гипергенным обогащением золотом их краевых частей, а с «закатыванием» хрупкого браннерита в оболочку из золота, первоначально находившегося в нем в виде обильных прожилков, включений и просечек. Об этом свидетельствует одинаковый состав золота как в оторочке, так и прожилках и включениях, хотя некоторые вариации в составе золота отдельных самородков есть (табл. 2). В целом проба золота относительно высокая (850—940 ‰), из примесей отмечается одно серебро. Взаимоотношения золота с браннеритом показывают, что оно локализуется как по трещинам, секущим браннерит, так и образует с ним структуры совместного выпадения из растворов (рис. 3, а). Золото обнаружено также в виде тонких выделений (1—3 мкм) в мусковите и в рутиле (рис. 3, д, 4, а, б, д). Иногда в основной массе относительно однородного золота наблюдается высокопробное золото (>990 ‰) в виде тонких прожилков (Ац₁, см. рис. 4, з).

Таблица 1.

Состав браннерита, мас. %

Образец	SiO ₂	TiO ₂	FeO	CaO	ThO ₂	UO ₂	WO ₃	PbO	Сумма
14-1	1.30	33.34	4.17	2.37	1.75	53.43	<0.80	1.10	97.45
14-1	1.83	34.09	4.19	3.05	<1.10	51.78	<0.80	1.72	96.66
14-1	0.67	33.93	3.98	2.36	1.45	56.23	<0.80	1.61	100.23
14-1	2.19	33.70	3.77	3.05	1.98	54.91	<0.80	1.41	101.01
14-1	2.20	33.17	4.39	2.44	1.11	52.79	<0.80	1.77	97.87
14-1	1.92	32.99	4.69	2.15	<1.10	54.30	<0.80	1.35	97.41
14-1	1.33	34.12	4.03	2.45	<1.10	54.14	<0.80	1.45	97.53
14-1-2	0.79	34.78	4.84	2.29	<1.10	54.73	<0.80	1.96	99.39
14-1-2	2.09	33.17	3.83	2.56	<1.10	54.92	<0.80	1.51	98.08
14-1-2	1.97	33.60	3.98	3.12	1.20	48.63	2.56	1.65	96.72
14-1-2	2.02	33.66	4.48	2.13	<1.10	53.91	<0.80	1.34	97.54
14-2	<0.40	36.11	2.21	<0.36	<1.10	59.13	<0.80	2.94	100.39
14-2	1.36	34.57	3.75	2.16	<1.10	55.06	<0.80	1.65	98.53
14-2	0.98	35.85	2.70	1.18	<1.10	57.69	<0.80	2.23	100.63
14-2	1.85	34.54	3.64	2.30	<1.10	55.68	<0.80	2.04	100.04
14-2	1.51	35.51	3.48	1.68	<1.10	56.59	<0.80	1.77	100.54
14-3	2.03	33.69	3.30	2.71	<1.10	52.91	<0.80	1.63	96.27
14-3	2.14	33.74	3.45	2.88	<1.10	52.26	<0.80	1.58	96.04
11-2	1.25	34.8	4.78	2.32	<1.10	55.54	<0.80	1.29	99.99
11-3	1.72	33.13	5.06	2.21	<1.10	55.29	<0.80	1.49	98.9
11-1	1.24	32.02	3.67	2.49	1.34	55.59	<0.80	1.77	98.12
11-1	<0.40	35.17	<0.45	<0.36	<1.10	58.35	<0.80	2.04	95.57
11-1	1.45	32.99	3.18	2.61	<1.10	53.88	<0.80	1.62	95.73
11-1	1.47	33.08	2.91	2.38	<1.10	54.02	<0.80	1.46	95.32

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 анализы выполнены в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) на электронном сканирующем микроскопе LEO1430VP с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 (аналитики Н.С. Карманов, Е.В. Ходырева).

В отдельных образцах выявлено, что в локализации золота важную роль играют **оксиды железа**, слагающие до 5—10 % объема отдельных самородков (см. рис. 3, б, з, е). Судя по формам выделения кристаллов (пластинчатые), окраске и отражательной способности под микроскопом, они представлены гематитом, причем иногда их кристаллы образуют взаимные прорастания с золотом (см. рис. 3, б). При анализе на электронном сканирующем микроскопе удалось подтвердить преимущественно гематитовый состав железистых минералов, хотя присутствуют и гидроксиды Fe по трещинам и в краевых частях образцов. Участками гематит содержит TiO_2 (до 3 мас. %), в одном случае отмечена примесь вольфрама.

Барит встречается во всех образцах в виде кристаллов (см. рис. 3, в, 4, в) или каемок по границе зерен браннерита и золота. Состав барита стехиометричный, содержание $SrO \leq 1$ мас. %.

Другим важным сопутствующим минералом является **рутил** (см. рис. 3, в, 4, б, д), содержащий в своем составе железо (0.36—3.61 мас. % FeO) и вольфрам (до 7.5 мас. % WO_3) (табл. 3). Очень необычной представляется связь рутила с золотом, которая наблюдается в различных образцах и не только на уровне крупных агрегатов, но и в виде микровключений золота размером менее 1 мкм (см. рис. 3, в, 4, д) в зернах рутила.

В виде отдельных включений в образцах самородков установлен кварц, доломит, сидерит и мусковит. Из сульфидов присутствует только галенит в виде мелких выделений по трещинкам.

Весьма характерным является широкое развитие гидроксидов железа, а также гидроксидов титана, урана и свинца (см. рис. 3, д, 4, б, е). Последние развиты как по периферии зерен браннерита, так и по

Таблица 2. Состав золота в самородках, мас. %

№ пробы	Au	Ag	Сумма
См-1	96.6	4.2	100.8
	94.0	5.5	99.5
	94.0	4.6	98.6
	93.6	6.0	99.6
	93.0	5.0	98.0
См-4	94.0	5.4	99.4
	89.6	10.1	99.7
	88.0	9.5	97.5
См-4-1	89.0	11.5	100.5
	87.0	10.4	97.4
	89.0	9.7	98.7
	87.1	10.6	97.7
	86.0	11.4	97.4

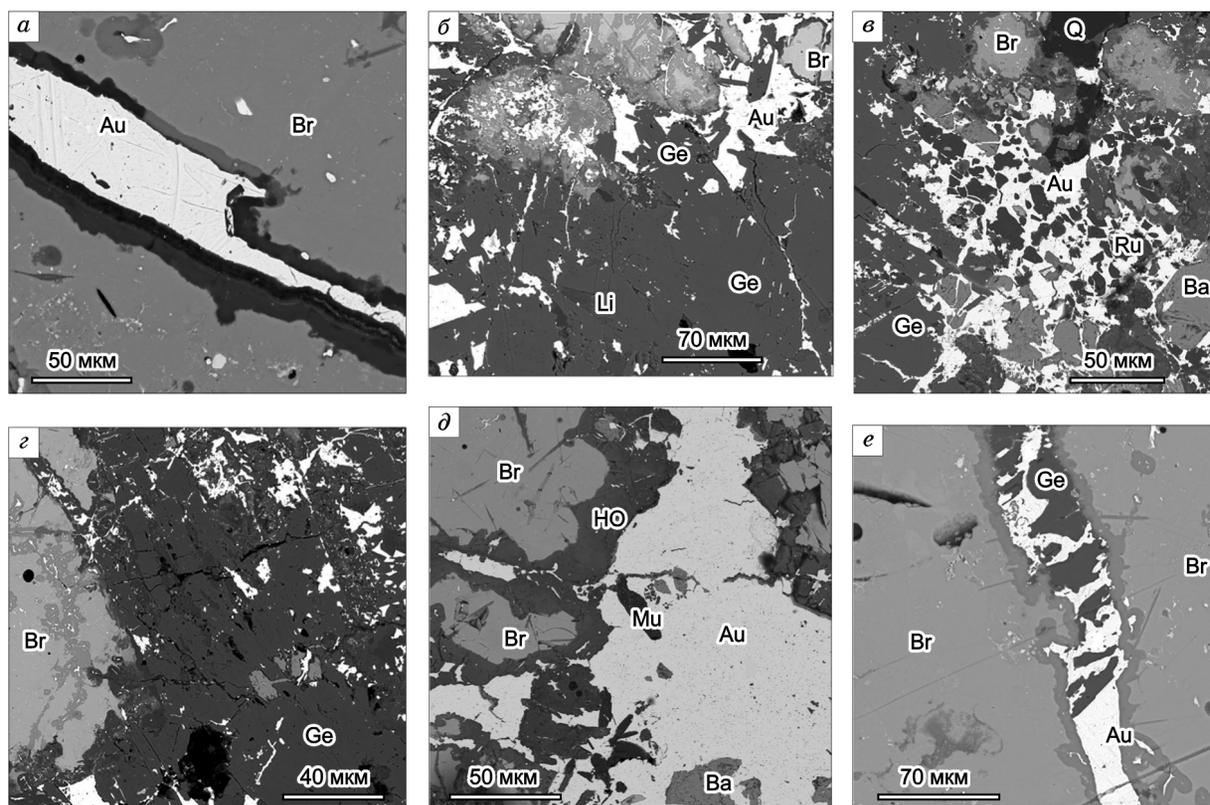


Рис. 3. Изображение в обратнорассеянных электронах распределения золота (Au) в браннерите (Br) и гематите (Ge).

Ba — барит; Ru — рутил; Mu — мусковит; Q — кварц; HO — гидроксиды Fe, Ti, U; Li — лимонит; Le — лейкоксен.

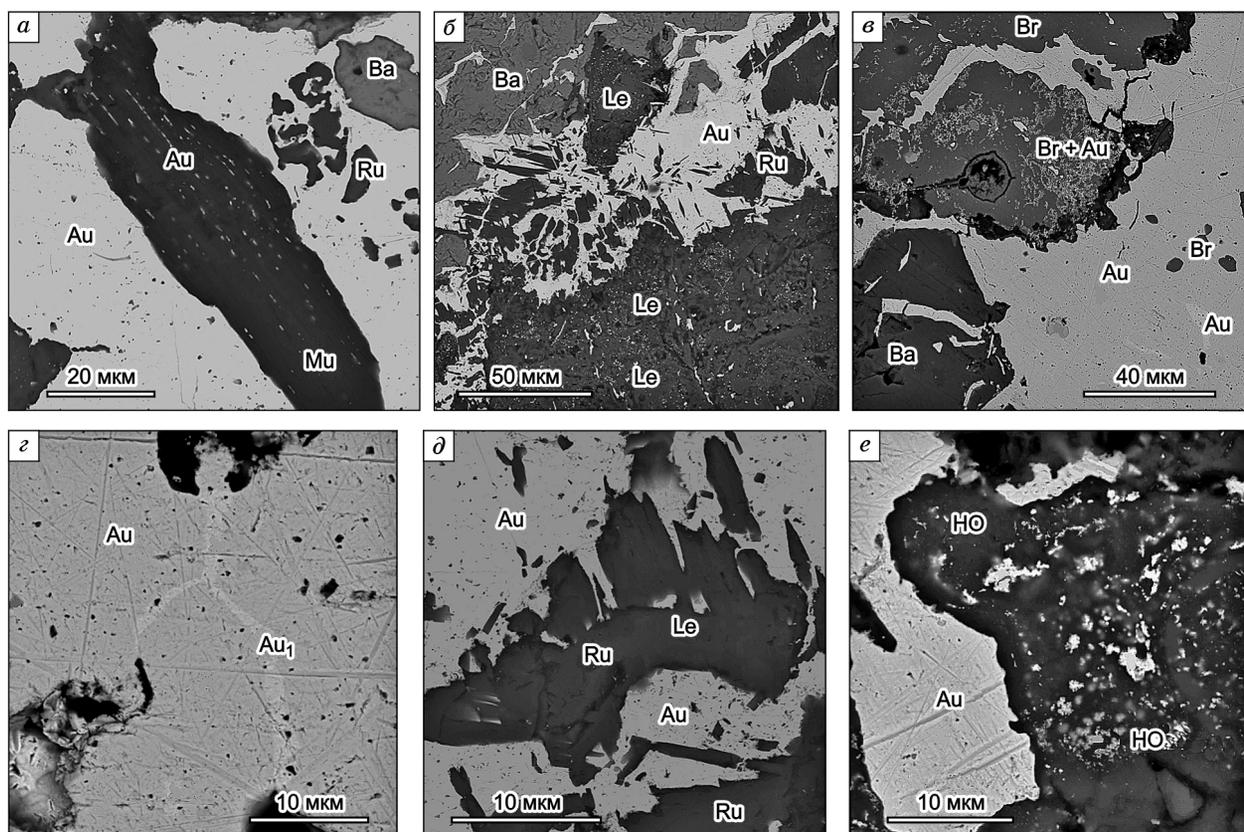


Рис. 4. Изображение в обратнорассеянных электронах ассоциации золота с мусковитом, рутилом и лейкоксеном.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

контакту браннерита с золотом, в особенности, если золото выполняет трещины в браннерите (см. рис. 3, а). Иногда в составе гидроксидов отмечается теллур (3—7.5 мас. % TeO_3) и реже в отдельных участках устанавливаются повышенные содержания висмута.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, эта находка ставит вопрос о новом золото-браннеритовом типе минерализации, который может быть обнаружен в Еравнинском районе и, возможно, на близлежащих территориях. В геологическом отношении самородки обнаружены при отработке россыпей в приконтактовой части гранитного массива, хотя и за его пределами, вверх по течению руч. Каменные золото-браннеритовые самородки также отмечались. Позднепалеозойские граниты представляют собой лейкократовые, слабопорфириовидные породы со средней радиоактивностью 12—15 мкР/ч. В вулканогенно-осадочных отложениях радиоактивность еще ниже (5—10 мкР/ч). К сожалению, в районе полигона, где обнаружены самородки, коренные породы и руды не обнажены и об их составе можно судить только по аллювиальным и делювиальным свалам.

Интерес, который представляют эти находки золото-урановых самородков, связан с тем, что золото-браннеритовые ассоциации встречаются на крупнейших золоторудных и ураново-рудных месторождениях (Витватерсранд, Блайнд-Ривер и др.) [Минералы, 1967]. В России они слагают уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район [Казанский, 2004]. Здесь в пределах Эльконского горста выделено два типа комплексных руд: золотосодержащее браннеритовое оруденение эльконского типа и браннерит-сереброзолотое оруденение федоровского типа. Прогнозные ресурсы этого рудного района оцениваются в 600 000 т по урану и около 1000 т по золоту.

Руды Центрально-Алданского района сложены пирит-анкерит-адуляровыми метасоматитами и имеют мезозойский возраст. Считается, что браннеритовая, так же как и золоторудная минерализация, относительно низкотемпературная и формировалась при 230—200 °С [Казанский, 2004]. Концентрация урана, который представлен в основном браннеритом — 0.1—0.23 мас. %, золота — 1—2 г/т в эльконском типе и 3—5 г/т в федоровском типе.

Таблица 3.

Состав рутила, мас. %

Образец	TiO ₂	FeO	WO ₃	Сумма
14-1	96.66	1.70	<0.55	98.36
14-1	96.88	1.79	<0.55	98.66
14-1	99.31	<0.35	<0.55	99.31
14-1-2	98.77	<0.35	<0.55	98.77
14-1-2	98.32	0.61	<0.55	98.93
14-1-2	97.61	2.41	2.12	102.14
14-1-2	98.64	1.14	<0.55	99.77
14-1-2	96.36	1.58	2.28	100.22
14-1-2	95.47	2.13	2.12	99.72
14-1-2	99.12	0.87	<0.55	99.99
14-3	88.38	3.03	7.45	98.86
14-3	100.25	0.70	<0.55	100.95
14-3	88.47	3.61	7.43	99.51
14-3	91.83	2.64	5.38	99.86
14-3	96.19	2.89	<0.55	99.08
14-3	99.79	0.36	<0.55	100.15
14-3	97.98	0.37	0.73	99.08
14-3	89.01	2.65	4.97	96.62

Таких богатых находок самородного золота с браннеритом, как в россыпи руч. Каменный, насколько нам известно, нет ни в Центрально-Алданском районе, ни в других местах, где проявлены золото-браннеритовые ассоциации. Это может свидетельствовать о том, что самородки могут быть из пегматитов или из наиболее богатой части золото-урановых руд, аналогичных эльконским. В пользу второго варианта говорит тот факт, что как алданский браннерит, так и браннерит из россыпи руч. Каменный отличаются отсутствием редких земель и тория, тогда как для пегматитов характерен редкоземельно-ториевый браннерит. Кроме того, в пегматитах неизвестны самородки золота. В ассоциации с золотом и браннеритом в нашем случае выявлены кварц, карбонат и барит, что может свидетельствовать о низких температурах формирования всей ассоциации. Наличие рутила, казалось бы, противоречит этому факту, однако в природе известны ассоциации рутила с вторичными карбонатами в условиях окружения и изменения высокотитанистых минералов.

Все это говорит о перспективности рассматриваемой территории на золото-урановое оруденение эльконского или федоровского типов и о необходимости постановки поисковых работ как на основе аэрогаммаспектрометрии, так и наземных поисково-оценочных работ в пределах контактов гранитоидных массивов, зон тектонических нарушений и зон развития даек и дайковых поясов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 06-05-64993, 05-05-97208) и научной школы № НШ-2339.2006.5.

ЛИТЕРАТУРА

Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н. Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия) // Геология рудных месторождений, 1998, т. 40, № 4, с. 354—369.

Казанский В.И. Уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район (Россия) // Геология рудных месторождений, 2004, т. 46, № 3, с. 195—211.

Ковалев К.Р., Баулина М.В., Акимцев В.А., Аношин Г.Н. Стратиформные цинково-колчеданные руды и золоторудная минерализация на Назаровском месторождении // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (10), с. 963—978.

Минералы. Т. II. Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты, гидроокислы. М., Наука, 1967, вып. 3, 675 с.

England G.L. The origin of uraninite, bitumen and carbon seams in Witwatersrand gold-uranium-pyrite ore deposits, based on a Permo-Triassic analogue // Econ. Geol., 2001, v. 96, № 8, p. 1907—1920.

Pabst A., Stinson M.C. Brannerite with gold from Plumas County, California // Bull. Geol. Soc. Amer., 1960, v. 71, p. 2071—2072.

Steacy H.R., Plant R., Boyle R.W. Brannerite associated with native gold at the Richardson Mine, Ontario // Canad. Miner., 1974, v. 12, p. 360—363.

Рекомендована к печати 27 марта 2008 г.
А.С. Борисенко

Поступила в редакцию
29 января 2008 г.