ВЗАИМОСВЯЗЬ УРАНА, ЗОЛОТА И УГЛЕРОДА В РУДООБРАЗОВАНИИ

В.Г. Моисеенко, *д-р. геол.-минерал. наук, академик РАН*
И.В. Кузнецова, *канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр.*
Институт геологии и природопользования ДВО РАН
(Россия, г. Благовещенск)

Аннотация. *Проведен анализ взаимосвязи урана, золота и углерода на золоторудных, урановых и железорудных месторождениях. На примере различных месторождений показано сродство урана, золота и углерода в образовании минералов и руд на нано-, микро- и макроуровне.*

Ключевые слова: *уран, золото, железо, радиоактивные и благородные минералы, наноминералы.*

Совместное нахождение урана и благородных металлов, в породах и рудах различных месторождений известно давно, самым ярким примером является крупнейшее в мире ураново-золоторудное месторождение Витватерсранд, где содержание U в руде в 2 раза больше чем Au. Визитная карточка Витватерсранда – это тонкие срастания золота с уранинитом [1].

Гигантские размеры месторождения бассейна Витватерсранд связаны с длительной историей его формирования (более трех миллиардов лет). Накопление отложений в пределах кратона началось еще в позднем архее и продолжилось в протерозое.

Месторождение представлено множеством протяженных мощных слоев (рифов) линзовидного переслаивания уран-золотоносных конгломератов, гравелитов кварцито-песчаников [2]. Важную роль в рудообразовании играют и углеродистые образования, с ними связано приблизительно 40% золота в рифах [3], большая часть урана также встречается в углеродистых пластах. Генетическая связь U-Au-C прослеживается, прежде всего, на микро и наноуровне [4].

Основные ресурсы урана в России находятся на Дальнем Востоке. Этот же регион стоит на первом месте в России по разведанным запасам золота. Примером крупных, комплексных U-Au месторождений является группа месторождений Эльконского горста (Центрально-Алданский район), разведанные здесь запасы урана составляют 342 тыс. т, с содержанием 0,147%, а геологические запасы золота - 191 тонна. По сравнению с кларком Au в земной коре концентрация благородного металла в этой структуре необычайно высока. На этих месторождениях наиболее четко прослеживается связь радиоактивных и благородных элементов в совместной миграции и локализации в рудах [5]

Золото-урановое оруденение Центрального Алдана могло быть продуцировано мантийными глубинными очагами. Данные месторождения приурочены к Центрально-Алданскому узлу наиболее интенсивного проявления мезозойской тектономагматической активизации щита. Это важнейшая особенность района, формирующая его металлогеническую позицию, определяется широким проявлением дифференцированного мезозойского субщелочного магматизма этапа активизации. В пределах этого узла, выделено два основных типа комплексного золото-уранового оруденения (эльконский и куранахский) [6], относящихся к позднемезозойской золото-урановорудной эпохе (190-100 млн. лет).

Отличительными чертами проявления крупнейшего золото-уранового оруденения Эльконского района являются:

Приуроченность комплексного оруденения к крупнейшим, омоложенным в мезозое региональным тектоническим зонам протерозойского заложения, и связанным с ними мезозойским тектоническим зонам, образующими на территории Эльконского горста гигантскую штокверковую рудоносную структуру.

Постоянное совместное присутствие в рудоносных зонах золотой минерализации,

связанной с мощным непрерывным проявлением в них характерных щелочно-карбонатных пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов (эльконитов) и наложенных на них урановорудных швов первоначально браннеритового состава.

Практическое отсутствие на всей территории горста зонального изменения минерального состава золотоносных метасоматитов и уранового оруденения, прослеженных по простиранию на расстоянии до 20-30 км, и на вскрытую скважинами глубину более 2 км [6].

Другим регионом России, известным совместным распространением крупных урановых и золоторудных месторождений, является область мезозойской ТМА Южного Забайкалья. В рудах, ныне основных по добыче урана в России, месторождений Стрельцовского рудного района, присутствуют проявления золотой минерализации, связанной с развитием урановорудных прожилков с высоко золотоносным пирит-мельниковитовым агрегатом. Возраст оруденения этого района 140+10 млн. лет

Несмотря на многие спорные вопросы, одно является несомненным – генетическая связь U-Au-C прослеживается территориально на макроуровне (в масштабах планеты Земля), а в рудах на микро и наноуровне [7, 8].

На Дальнем Востоке в бассейне реки Амур неоднократно встречаются минералы, которые одновременно концентрируют и радиоактивные и благородные элементы (рис. 1 и 2). Так в ториевых монацитах фиксируются включения не только, лантаноидов и сульфидов (рис. 1 сп. 56-57), но и наноразмерное золото (рис. 2 сп. 3). Следует отметить, что все минералы-включения неразрывно связаны с углеродом, который также наблюдается во всех приведенных образцах (рис. 1 сп. 1-3, табл. 1, рис. 2 сп.2, табл. 2).

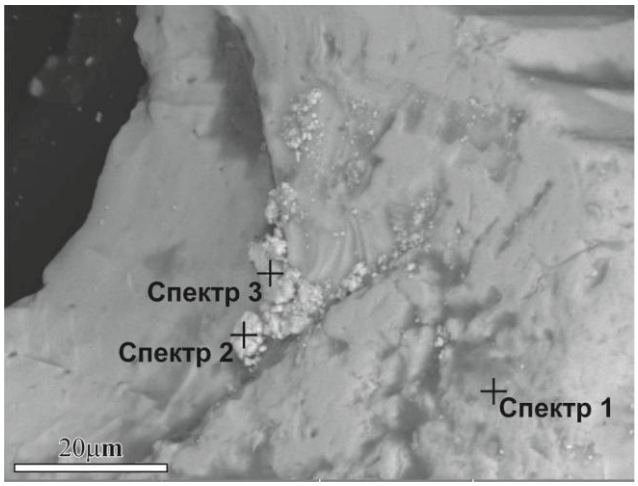

Рис. 1. В ториевом монаците (спектр 1) включения углерода, лантаноидов и галенита (спектр 2 и 3), с примесью Fe, Mn, Cu, Zn и Sb.

Таблица 1.

Элемент	Спектр 1		Спектр 2		Спектр 3	
	Вес. %	Атом. %	Вес. %	Атом. %	Вес. %	Атом. %
C	9.23	18.96	14.79	27.94	15.90	28.07
O	43.07	66.43	46.04	65.30	49.65	65.80
Al	0.34	0.31	0.33	0.28	0.34	0.27
Si	0.87	0.77	0.60	0.48	0.52	0.39
P	8.30	6.62	0.59	0.44	1.07	0.74
Ca	0.22	0.13				
S			0.94	0.66	1.21	0.80
Mn			1.07	0.44	0.60	0.23
Fe	1.82	0.80	0.77	0.31	0.60	0.23
Cu			0.57	0.20	0.52	0.17
Zn			0.57	0.20	0.34	0.11
Sb			0.70	0.13	0.42	0.07
La	11.70	2.08			1.39	0.21
Ce	15.66	2.76			2.08	0.31
Nd	2.83	0.48				
Pb	2.11	0.25	33.03	3.62	25.36	2.60
Th	3.85	0.41				

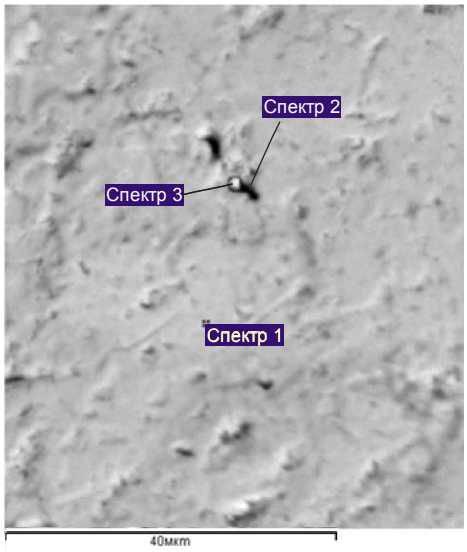

Рис. 2. В монаците (спектр1) включения углерода (спектр 2) содержат кристаллы самородного нанозолота, с примесью Cu и Ag (спектр 3)

Таблица 2.

Спектр	Элементы, содержание атомарные, %													
	C	O	Al	Si	P	Ni	La	Ce	Nd	Fe	Cu	Ag	Au	Th
Сп. 1		48.32		0.24	12.08	0.03	11.1	10.3	8.07					9.86
Сп. 2	95.36	1.3	0.6	0.65				0.42		1.67				
Сп. 3											53.43	11.45	35.12	

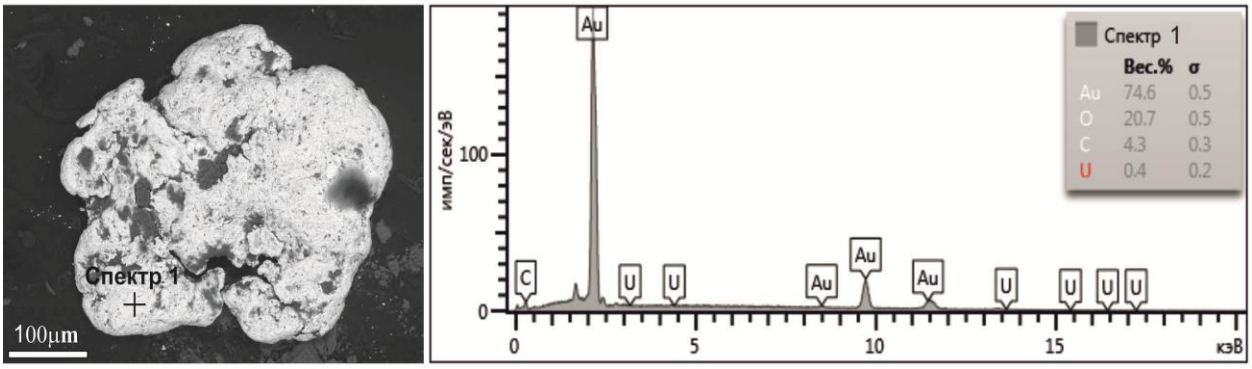

Рис. 3. В самородном золоте включения углерода и урана (спектр 1)

В свою очередь не однократно в самородном золоте фиксируются включения углерода и урана (рис. 3, сп. 1) [8].

Приведенные данные также подтверждают генетическую связь радиоактивных элементов с благородной минерализацией и углеродом.

Еще один элемент неразрывно связанный с цепочкой U-Au-C это Fe. При высоких температурах, близких к плавлению, растворимость золота в железе доходит до 28%, а железо растворяется в золоте более чем на 30%.

Первым отметил сидерофильные свойства золота Виктор Морис Гольдшмидт. В. Гольдшмидт, К. Петерс, Ида и Вальтер Ноддаки провели обширные исследования не только по определению валового содержания золота и платиноидов в железных метеоритах, но и фазах разного состава, По их данным, в железо-никелевой фазе среднее содержание Au в г/т, а в троилите – 1,25 г/т, в шрейберзите метеоритов – 0,1 г/т [9]. Вышеназванные исследователи не только установили необычно высокое содержание благородных металлов в железных метеоритах, но и последовательное уменьшение содержания золота и платиноидов от фазы железной, к железосульфидной до силикатной фазы.

В настоящее время имеется большое количество точных определений содержания золота в метеоритах разного состава, которые в общем виде однозначно свидетельствуют, что в среднем золота в них, примерно, в 100 раз больше, чем в породах земной коры.

Кларк золота в земной коре 4,2-10,7% [10]. За многие годы накоплено огромнейшее количество определений кларковых содержаний золота в главных типах магматических пород из которых можно сделать следующие выводы:

1) кларк золота пород земной коры примерно на два порядка беднее кларков этого металла метеоритов и ниже атмосферы Солнца;

2) содержание золота в магматических породах закономерно уменьшается от ультраосновных пород, через основные и средние, с минимумом держания в кислых породах;

3) падение содержания золота в породах четко коррелируется с уменьшением содержания в них железа и ростом кислорода [11].

Таким образом, даже при столь низком кларке золота в горных породах земной коры четко просматривается сродство золота и железа.

Наиболее ярким примером этого сродства – являются архейско-нижнепротерозойские месторождения железистых кварцитов (в России – месторождения КМА, Балтийского и Алданского щитов, на Украине – Криворожья, Приазовья; за рубежом – железорудные месторождения Бразилии, Индии, Западно-Австралийского и Канадского щитов). Кроме того, что железистые кварциты содержат подавляющее число (до 78%) мировых запасов железных руд [12], они включают около 5% от общего числа промышленных золоторудных объектов [13; 14]. За рубежом около 25% годовой добы-

чи золота обеспечивают стратиформные месторождения полосчатых железистых кварцитов.

Широкое присутствие в железорудных месторождениях мира попутного золото- и золото- платинометального оруденения, закономерности геохимических связей благородных металлов и железа в рудообразующих процессах достаточно полно освещены в литературе [15].

По данным А.А. Маракушева [16], магмы, обогащённые закисным железом, достаточно легко окисляются, образуя разнообразные типы магнетитовых руд, в которых магнетит и другие рудные минералы становятся концентраторами золота. Количество золота в магнетитах может составлять 0,07 г/т и более.

Благородные металлы и уран концентрируются не только в минералах железа но и в самородном железе. Так в самородных железных шариках из руды Кировского месторождения имеются включения сфероидов разного размера самородного золота (типа «звездное небо») и урана (рис. 4, табл. 3).

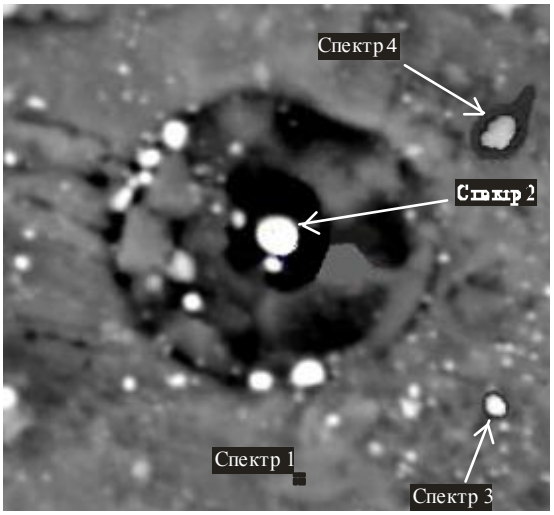

Рис. 4. В самородном железе (сп. 1): а) сфероидальное нанозолото внутри многослойного углеродного фуллерита (сп. 2); б) многочисленные сфероиды золота (типа «звездное небо») (сп. 3) и наночастицы урана (сп. 4). Увеличение х 7000.

Таблица 3.

Спектр	Элементы, содержание в масс, %																	
	C	**O**	**Na**	**Si**	**S**	**Cr**	**Mn**	**Fe**	**Cu**	**Sr**	**Y**	**Ag**	**Sb**	**W**	**Au**	**Hg**	**Pb**	**U**
Сп, 1	4,64	20,38	1,85		0,41	1,85	2,04	42,867	0,87	2,29			4,34	18,40				
Сп, 2	2,0	0,11						6,17	1,42			5,94			71,56	13,4		
Сп, 3	3,57	1,22		0,08				6,83				3,73		1,90	73,67	9,0		
Сп, 4	9,99	15,84						4,85			1,09			2,16	0,92		1,24	63,9

Таким образом, взаимосвязь урана, золота и углерода в образовании минералов и руд на нано- микро- и макроуровне на рассмотренных нами месторождениях однозначно подтверждается.

Библиографический список

1. *Марфунин А.С. История золота.* – М.: Наука, 1987. – 245 с.

2. *Маракушев А.А., Глазовская Л.И.,* Панеях Н.А., Маракушев С.А. Проблема происхождения ураново-золоторудного месторождения Витватерсранд // Вестник Московского университета. – 2012. – №3. – С. 3-16.

3. *Маракушев А.А., Глазовская Л.И., Панеях Н.А.,* Маракушев С.А. Генезис крупнейшего в мире уран-золотого месторождения Витватерсранд (Ю. Африка) // Пространство и время. – 2012. – №2 (8). – С. 131-138.

4. *Fuchs, S.H.J., Schumann, D.*, Williams-Jones, A.E., Murray, A.J., Couillard, M., Lagarec, K., Phaneuf, Vali M.W. H. Gold and uranium concentration by interaction of immiscible fluids (hydrothermal and hydrocarbon) in the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa // Precambrian Research. 2017. V. 293, Pp. 39-55.

5. *Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н.* Геологическое строение новых золоторудных и золото-урановых объектов Алданского рудного района (Якутия) // VI междун.конф. «Новые идеи в науках о Земле». Т. 2. М., 2003. С. 184.

6. *Бойцов В.Е., Верчеба А.А.,* Пилипенко Г.Н., Жданов А.В. Условия образования месторождений с совместной локализацией золота и урана Востока России // Разведка и охрана недр. – 2010. – №3. – С. 9-11.

7. *Моисеенко В.Г.,* Кузнецова И.В. Геохимическое родство Au, U и Th // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 450. №3. – С. 335-338.

8. *Кузнецова И.В., Моисеенко Н.В.,* Сафронов П.П., Синякова Н.И. Сродство радиоактивных элементов и золота в минералах месторождений Приамурья // Естественные и технические науки. – 2017. – №11 (113). – С. 79-85.

9. *Гольдшмидт В.М., Петерс К.* Nachr. Ges. d. Wiss, Gutlingen. Nat. – Phis. Kl. 377, 1932.

10. *Моисеенко В.Г.* Кларки элементов земной коры. – Благовещенск: Изд-во Амурского отделения РМО, 2015. – 98 с.

11. *Моисеенко В.Г.* От атомов золота через кластеры, нано и микроскопические частицы до самородков благородного металла. – Благовещенск: Амурское отделение РМО, 2007. – 187 с.

12. *Шумаков Н.С.,* Дмитриев А.Н., Гараева О.Г. Сырые материалы и топливо для доменной плавки (характеристика и методы подготовки). – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 392 с.

13. *Шер С.Д.* Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). – М., 1974. – 256 с.

14. *Шер С.Д.* Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). – М., 1974. – 256 с.

15. *Молотков С.П., Резникова О.Г.,* Чернышов Н.М. Золото – платиноносность главнейших типов железорудных формаций мира (информационно-аналитический обзор) // Вестник Воронежского университета. – 2003. – №2. – С. 144-168.

16. *Маракушев А.А., Безмен Н.И.* Химическое сродство металлов к кислороду и сере // Геология рудных месторождений. – 1969. – №4. – С. 8-23.

INTERRELATION OF URANIUM, GOLD AND CARBON IN ORE FORMATION

V.G. Moiseenko, *doctor of geological and mineralogical sciences, academician of the Russian Academy of Sciences*
I.V. Kuznetsova, *candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher*
Institute of geology and nature management of Far East branch Russian academy of sciences
(Russia, Blagoveshchensk)

Abstract. *The analysis of interrelation of uranium, gold and carbon on gold ore, uranium and iron ore deposits is carried out. Using the example of various deposits, the affinity of uranium, gold and carbon in the formation of minerals and ores at the nano-, micro and macro levels is shown.*

Keywords: *uranium, gold, iron, radioactive and noble minerals, nanominerals.*