

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ КОДАРО-УДОКАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Б.Н. Абрамов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

672090, г. Чита, ул. Бутина, 26

E-mail: inrec.sbras@mail.ru

Поступила в редакцию 25 января 2006 г.

В разрезе раннепротерозойского удоканского осадочного комплекса меденосные отложения отмечаются как в нижних его частях (чинеysкая серия), так и в верхних (кеменская серия).

Отличия в распределении благородных металлов в меденосных отложениях кеменской и чинеysкой серий определяются разным составом пород областей сноса, за счет которых они были сформированы, а также образованием их в разных геодинамических обстановках. Отложения кеменской серии были образованы в обстановке пассивной континентальной окраины, чинеysкая серия накапливалась на активной континентальной окраине. Средние содержания благородных металлов в меденосных отложениях чинеysкой серии значительно превосходят таковые в отложениях кеменской серии. Распределение благородных металлов в меденосных отложениях разных стратиграфических уровней соответствует логнормальному и нормальному законам, что указывает на сходные условия их образования.

Ключевые слова: *Кодаро-Удоканская зона, медистые песчаники, благородные металлы, законы распределения.*

THE DISTRIBUTION FEATURES OF PRECIOUS METALS IN COPRIFEROUS SANDSTONES OF KODARO-UDOKAN ORE REGION

B.N. Abramov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of RAS

The cupriferous deposits are noted both in lower (Chineyskaya series) and upper (Kemenskaya series) parts of the Early-Proterozoic Udokan sedimentary complex. The differences in distribution of precious metals in cupriferous deposits of Kemenskaya and Chineyskaya series are defined by different of rock composition of the provenience and their different geodynamic situations. The deposits of Kemenskaya series were formed on the passive continental borderland, and Chineyskaya series – on active one. The average contents of precious metals in cupriferous deposits of Chineyskaya series essentially exceed of Kemenskaya series ones. The lognormal and normal laws of precious metals distribution in cupriferous deposits of both series point to similar conditions of their formation.

Key words: *Kodaro-Udokan zone, cupriferous sandstones, precious metals, laws of distribution.*

В Кодаро-Удоканской структурной зоне медистые песчаники имеют широкое распространение. Они отмечаются в разрезе раннепротерозойского удоканского осадочного комплекса, где выделено два формационных ритма, отражающих разные режимы формирования. Нижний ритм выделен в объеме чинеysкой серии, верхний – кеменской. Отложения чинеys-

кой серии отнесены преимущественно к флишоидному формационному типу, кеменской серии – к молласовому [Лаврович, 1970]. Выделяются три основных стратиграфических уровня, где сосредоточены основные запасы медистых песчаников – сакуканский в кеменской серии и александровский и читкандинский – в чинеysкой (рис. 1).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

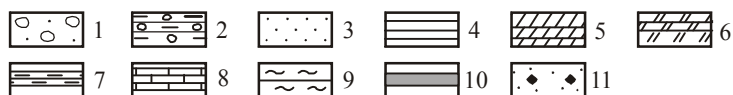
Рис. 1. Геологический разрез отложений Кодаро-Удоканского прогиба.

1 – кайнозойские рифтогенные отложения (пески, глины, супеси, гравийно-галечный материал; 2 – разнозернистые породы (песчаники, конгломераты, гравелиты, алевролиты); 3 – песчаники; 4 – алевролиты; 5 – известняки, песчаники; 6 – доломиты; 7 – аргиллиты; 8 – известняки; 9 – сланцы; 10 – медистые песчаники; 11 – железистые песчаники.

В разрезе удоканского осадочного комплекса наиболее крупным (по запасам) является верхний стратиграфический уровень, представленный отложениями сакуканской свиты, в пределах которой известны месторождения – Удоканское, Ункурское, Бурпалинское и рудопроявления – Лабазное, Сакуканское и др. Породы среднего стратиграфического уровня сложены отложениями александровской свиты, к которой приурочены рудопроявления Озеро Медное, Кукугунда и др. Нижний стратиграфический уровень выделяется в объеме читкандинской свиты, где известно месторождение Красное и рудопроявления Правый Ингамакит, Луна и др.

Характерной особенностью меденосных горизонтов удоканского осадочного комплекса является наличие железистых песчаников. Они приурочены к тем же стратиграфическим уровням, что и медистые песчаники. При этом масштабы проявления данных образований сопоставимы с масштабами медного оруденения. В пределах ритмично-слоистых меденосных толщ железистые песчаники развиты преимущественно в нижних частях разреза. Главным отличием железистых песчаников является присутствие прослоев, обогащенных обломочным мартитизированным магнетитом. Магнетитсодержащие песчаники образуют косые слойки, сгруппированные в серии. Мощность серий варьирует в пределах 0,1-1,5 м. Мощность слойков в составе серий колеблется от 0,1 до 3 см. Кластогенные рудные и породообразующие минералы железистых слойков представлены мартитом (до 80-90 %), ортитом (до

Серии	Свиты	Мощность, м	Литологическая колонка
	Q, N	10-100	
	K, J, T	100-700	
	P	100-400	
	O, E	30-60	
	V, R		
Кеменская	Намингинская	1150-1500	
	Сакуканская	1500-3000	
	Талаканская	1100-1450	
Чинейская	Бутунская	300-600	
	Александровская	130-600	
	Читкандинская	30-1300	
	Инырская	250-400	
	Аянская	120-150	
	Икабийская	200-1000	
Кодарская	Веселинская	400-600	
	Борурыхская	500	



5 %), турмалином (до 2%), кварцем (до 2-3 %), цирконом (до 1 %), апатитом (до 1 %) и очень редко – андалузитом, гранатом, серендибитом. Размеры обломочных рудных минералов не превышают 0,25 мм. Рудные минералы в железистых песчаниках представлены в основном мартитом, реже отмечается гематит (до 10 %), магнетит (до 10 %). К числу единичных минералов относится ильменит. Изредка в железистых песчаниках отмечаются идиоморфные зерна магнетита, образование которых, вероятно, связано с процессами регионального метаморфизма. Железистые песчаники кеменской и чинейской серии имеют свои отличительные особенности. Они отличаются по составу аксессуарных минералов. Так, железистые песчаники чинейской серии, в отличие от аналогичных образований кеменской серии, характеризуются наличием урансодержащих минералов и редкоземельных элементов (браннерит, ксенотим и др.) [Богданов и др., 1966].

Таблица 1

Средние содержания благородных металлов в медистых песчаниках Кодаро-Удоканской зоны

Типы руд	Au			Ag			Pt			Pd		
	n	x	s	n	x	s	n	x	s	n	x	s
<i>Сакуканская свита</i>												
Br-C *	140	52	57	22	57,3	57,5	15	3,8	3,9	14	1,1	1,6
	—	—	—	—	—	—	15	4,0	—	19	33,0	—
Pt-Cp *	17	35	40	14	15,5	12	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	5	20,0	—	5	96,0	—
Br-Mlc	30	46	23	24	10,2	8,2	2	3	1,4	4	0,4	0,1
<i>Александровская свита</i>												
Pt-Cp	17	94	254	24	10,2	8,2	2	3,0	1,4	4	0,4	0,1
<i>Читкандинская свита</i>												
Br-Cp	5	950	1060	5	129	159	2	39,7	49,9	2	5,5	2,4
Cp-Po	27	126	148	6	40,1	73,4	6	5,8	6,2	3	1,6	1,4
Br-Mlc	5	42	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Содержания Ag в г/т, остальные элементы – в мг/т. Типы медных руд: Br-C – борнит-халькозиновые; Pt-Cp – пирит-халькопиритовые; Br-Mlc – брошантит-малахитовые; Cp-Po – халькопирит-пирротиновые; n – число анализов, x – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение; * – данные [Кучеренко, Коробейников, 2000].

В медистых песчаниках Кодаро-Удоканской зоны относительно полно изучено распределение золота и серебра только для Удоканского месторождения. Данные по распределению благороднометаллической минерализации в других проявлениях медистых песчаников, приуроченных к различным стратиграфическим уровням удоканского комплекса, весьма скудны. Представленная работа в некоторой степени восполняет этот пробел.

Определение содержания золота и серебра в медистых песчаниках проведены пробирным и спектрозолотометрическим методами

анализов в аналитических лабораториях ЗабНИИ КПр РФ, содержания платиноидов и редкоземельных элементов – в аналитических лабораториях Института геологии СО РАН (г. Улан-Удэ) химико-спектральным методом.

Рудовмещающие отложения различных стратиграфических уровней различаются между собой. Рудоносная толща сакуканского стратиграфического уровня представлена монотонными песчаниками с редкими прослоями алевролитов. Мощность меденосного горизонта наиболее крупного Удоканского месторождения достигает 500 м, протяженность по латерали – первых десятков км. Рудовмещающие отложения александровского стратиграфического уро-

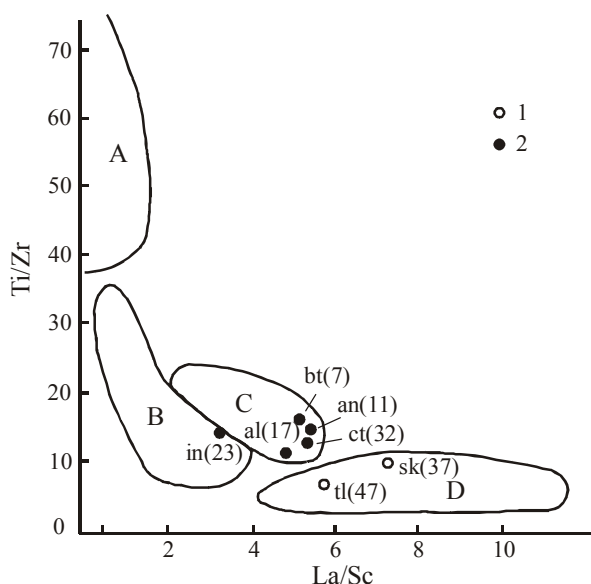


Рис. 2. Диаграмма Ti/Zr – La/Sc, демонстрирующая геодинамические обстановки формирования терригенных отложений удоканского комплекса.

Поля, характеризующие песчаники различных геодинамических обстановок: А – океанические островные дуги, В – континентальные островные дуги, С – активная континентальная окраина, D – пассивная континентальная окраина. 1 – песчаники кеменской серии, 2 – песчаники чинейской серии. Свиты удоканского комплекса: sk – сакуканская, tl – талаканская, bt – бутунская, al – александровская, ct – читкандинская, an – аянская, in – инырская. В скобках число определений (данные рентген-флуоресцентного метода анализа).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Таблица 2

Средние содержания элементов, в медистых песчаниках Кодаро-Удоканского района (г/т)

Свиты	n	Ni	Zn	Pb	Bi	Ba	La	Ce	Y
Сакуканская	15	3	176	10	28	912	28	62	12
Александровская	5	10	192	10	25	355	17	40	15
Читкандинская	9	83	317	634	650	1476	48	81	17

Примечание. Анализы выполнены в аналитическом центре Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) рентгеноспектральным методом, аналитик Б.Ж. Жалсараев.

вня сложены тонкопереслаивающимися песчаниками, алевролитами, известняками, кварцитами и доломитами. Характерной особенностью меденосного горизонта является его малая мощность (1,5-35 м) и большая выдержанность по простиранию – до 1,5 км. Нижний рудоносный уровень образован отложениями читкандинской свиты, характеризующимися переслаиванием песчаников и алевролитов с прослоями карбонатных пород. Мощность меденосного горизонта наиболее крупного проявления меди – месторождения Красное – достигает 151 м, протяженность – до 800 м [Богданов и др., 1966].

Медистые песчаники различных стратиграфических уровней характеризуются различным составом основных рудных минералов. Так, в медистых песчаниках сакуканской свиты наиболее распространенными рудными минералами являются борнит и халькозин. Ниже по разрезу удоканского комплекса в медистых песчаниках александровской и читкандинской свит доля борнит-халькозиновых руд уменьшается. В медистых песчаниках александровской свиты преобладают пирит-халькопиритовые руды, в читкандинской свите – пирит-халькопиритовые и пирротин-халькопиритовые руды.

Установлено, что золото в медистых песчаниках находится в самородном виде и образует самые разнообразные формы. Золото отмечается в виде овальных, таблитчатых, пластинчатых и крючковатых выделений размерами от тысячных до нескольких сотых долей миллиметра. Выделения золота приурочены к борниту, халькопириту, магнетиту. В окисленных рудах оно встречается в малахите, азуристе, брошантите, лимоните. Золото также отмечено в виде неправильных зерен размером от нескольких сотых до нескольких десятых долей миллиметра в кварцевых, кварц-карбонатных, кварцево-сульфидных прожилках. Иногда золото ярко-оранжевого цвета образует тонкие каемки вокруг светло-желтых окатанных зо-

лотин. Серебро при изучении аншлифов отмечено главным образом в виде включений размерами десятые-сотые доли мм в борните и халькозине, реже – в халькопирите и в виде собственных выделений в цементе пород [Абрамов, Трубачев, 2002]. Установлено, что самородное серебро и шроймерит связаны с халькозином, аргентит – с борнитом, в халькопиритовых рудах часть серебра входит в состав теннантита. В зоне окисления самородное серебро ассоциирует с самородной медью, купритом, теноритом, брошантитом и малахитом [Наркелюн, 2003].

Рассмотрим особенности распределения благородных металлов в медистых песчаниках кеменской и чинейской серий.

Проведенные исследования выявили увеличение концентраций благородных металлов от верхнего меденосного уровня (сакуканская свита) к нижнему меденосному уровню (читкандинская свита) (табл. 1) [Абрамов, Винниченко, 1997; Абрамов, Наркелюн, 1999]. Это объясняется разным составом пород областей сноса и разными геодинамическими обстановками их формирования. Образование меденосных отложений читкандинской свиты происходило в обстановке активной континентальной окраины, сакуканской свиты – на пассивной окраине (рис. 2) [Абрамов, 2004б]. В пользу этого также свидетельствуют разные содержания элементов в меденосных отложениях кеменской и чинейской серий (табл. 2). Особенно контрастно эта разница проявляется в распределении рудных элементов (Ni, Zn, Pb, Bi), содержание которых в медистых песчаниках читкандинской свиты в 5-10 раз превосходит таковые в медистых песчаниках сакуканской свиты. Разные геодинамические обстановки образования меденосных отложений кеменской и чинейской серий также подтверждаются характером распределения золота (рис. 3, 4). Так, на гистограмме распределения золота в медистых пес-

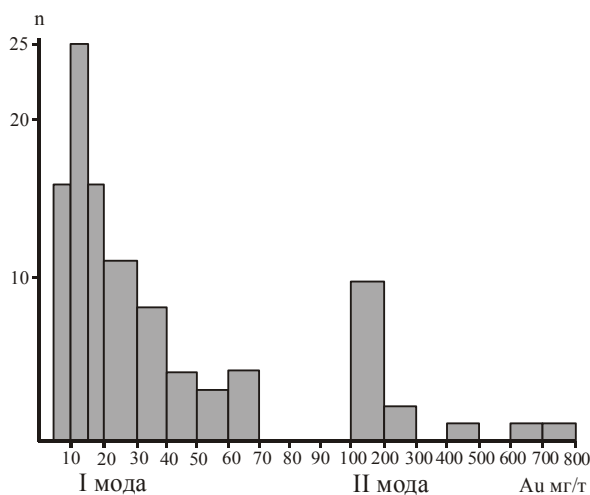


Рис. 3. Гистограмма распределения золота в медистых песчаниках сакуканской свиты.
n – число анализов.

чаниках сакуканской свиты отмечается двумодальное распределение золота (рис. 3). Распределение золота в медистых песчаниках читкандинской свиты более сложное, здесь можно выделить три моды (рис. 4). При этом самые большие выборки в данных гистограммах отвечают фоновым концентрациям золота, остальные моды связаны с гидротермально-метасоматическими преобразованиями пород, приводящими к локализации золота. Анализ выборок свидетельствует о том, что повышенные содержания золота характерны для руд, содержащих более 5 % меди.

Расчет законов распределения золота и серебра в медистых песчаниках различных стратиграфических уровней свидетельствует об их сходстве. Большинство выборок медистых песчаников соответствует логнормальному, реже – нормальному закону распределения (рис. 3, 4). Так, например, фоновые содержания золота в медистых песчаниках сакуканской свиты соот-

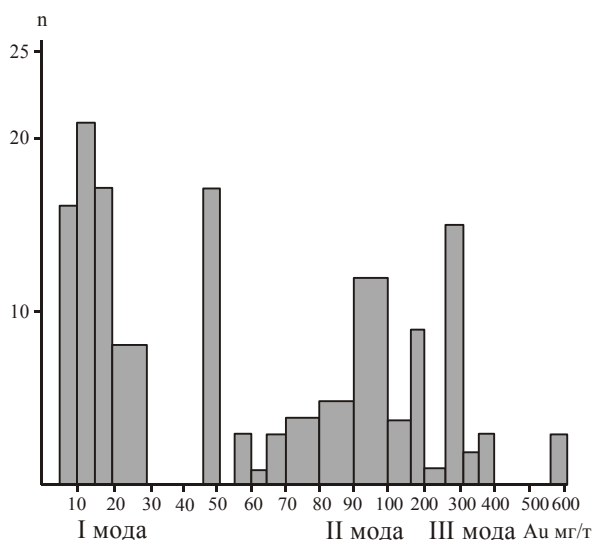


Рис. 4. Гистограмма распределения золота в медистых песчаниках читкандинской свиты.
n – число анализов.

ветствует логнормальному закону распределения (табл. 3). Одинаковые законы распределения золота и серебра в медистых песчаниках различных стратиграфических уровней могут свидетельствовать об их осадочном генезисе.

Анализ распределения редкоземельных элементов в медистых песчаниках различных стратиграфических уровней Кодаро-Удоканской зоны показывает различные условия их образования. В целом РЗЭ медистых песчаников чинейской серии, в сравнении с кеменской, характеризуются преобладанием тяжелых лантаноидов (рис. 5). Это свидетельствует о разном составе пород областей сноса, за счет которых были образованы медистые песчаники. Породы областей сноса отложений чинейской серии в более значительной степени были представлены ультрабазит-базитовыми образованиями, характерной особенностью которых являются повышенные содержания тяжелых лантаноидов [Балашов, 1976]. Наличие в некоторых пробах европейских максимумов (рис.5) можно объяснить присутствием в областях размыва основных вулканитов.

Применение РЗЭ для условий образования метаосадочных пород основано на представлениях о фракционировании лантаноидов на начальных профилях седиментации, а также инертном их поведении при ранних стадиях метаморфизма. По данным Ю.А. Балашова, в процессе осадкообразования в прибрежно-морских условиях обломочные материалы обогащаются легкими лантаноидами, а по мере удаления от береговой линии увеличивается доля тяжелых лантаноидов и иттрия [Балашов, 1976].

Выявлено, что содержание золота в медистых песчаниках превышает таковое в безрудных породах. Наибольшими содержаниями золота характеризуются борнит-халькозиновые руды. В свою очередь, содержание золота в рудных минералах превышает его концентрации в медистых песчаниках. Это указывает на

Проверка гипотезы о логнормальном распределении золота в медистых песчаниках удоканского комплекса (мг/т)

a_i	lga_i	y_i	n_i	t_i	$\Phi(t_i)$	N_i	$\frac{(N_i - n_i)^2}{N_i}$
5,0	0,70	0,89	16	-1,75	0,0401	17,07	0,07
12,5	1,09	1,19	25	-0,68	0,2483	19,65	1,45
20	1,30	1,37	16	-0,03	0,4880	13,42	0,49
27,5	1,44	1,49	11	0,39	0,6517	8,97	0,45
35	1,54	1,58	8	0,71	0,7611	6,59	0,31
42,5	1,63	1,66	4	1,00	0,8413	4,10	0
50,0	1,70	1,73	4	1,25	0,8935	2,47	0,11
57,5	1,76	1,78	3	1,43	0,9236		
65,0	1,81						$\chi^2 = 2,88$

Примечание: $n = 82$, число анализов; a – граница интервалов; y_i – среднее значение в интервале; n_i – эмпирическая частота; $t_i = (a_i - x)/s$, где $x = 1/N \sum_{i=1}^k n_i \cdot x_i$, $s = 1/n - 1 \sqrt{\sum_{i=1}^k n_i \cdot (x_i - x)^2}$; $\Phi(t_i)$ – значение нормальной стандартной функции; N_i – теоретическая частота, $N_i = n[\Phi(t_{i-1}) - \Phi(t_i)]$

Гипотеза о логнормальном распределении золота не противоречит выборочным данным, так как вычисленное значение, равное 2,88 меньше, чем допустимое при 5 % уровне значимости и пяти степенях свободы, которое равно 11,07.

то, что основные концентрации благородных металлов связаны с рудными минералами.

Корреляционный анализ выявил тесную связь золота ($r > 0,5$) с Ag, Cu, Вi в медистых песчаниках и с Cu, и Вi – в магнетитовых песчаниках читкандинской свиты, что может свидетельствовать о единых условиях образования

золота в медистых и магнетитовых песчаниках [Абрамов, Наркелюн, 1999]. Ранее в меденосном горизонте сакуканской свиты в железистых песчаниках было описано кластогенное золото, находящееся в тесной ассоциации с минералами тяжелого шлиха [Безродных и др., 1968]. Сходные геолого-структурные позиции Кодаро-Удоканской зоны с Тарквайским рудным полем (Африка), где золоторудные месторождения приурочены к докембрийским железистым песчаникам, позволили провести между ними аналогию [Безродных и др., 1968]. Данные факты свидетельствуют об осадочном генезисе золота в медистых песчаниках. В подтверждение этого, в медистых песчаниках сакуканской свиты выявлена тесная корреляция

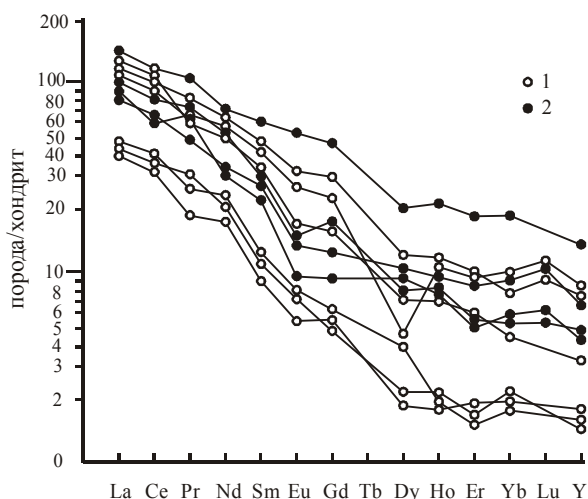


Рис. 5. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в меденосных отложениях Кодаро-Удоканской зоны.

1 – медистые песчаники кеменской серии, 2 – медистые песчаники чинейской серии.

онная золота ($r > 0,5$) с легкими лантаноидами (La, Ce) [Абрамов, 2004а].

Таким образом, для медистых песчаников удоканского осадочного комплекса характерны следующие особенности:

1. Формирование медистых песчаников кеменской и чинейской серий происходило в разных геодинамических обстановках за счет разных пород областей сноса. Образование отложений кеменской серии происходило в обстановке пассивной континентальной окраины, чинейской серии – в обстановке активной континентальной окраины. Эти отличия нашли отражение в масштабах проявления медного оруденения, геохимических особенностях и составе рудных минералов медистых песчаников, а также в содержаниях и характере распределения благородных металлов.

2. Характер распределения золота в медистых песчаниках кеменской и чинейской серий различен. В медистых песчаниках сакуканской свиты отмечается двумодальное распределение золота, в медистых песчаниках читкандинской свиты – трехмодальное. Эти отличия объясняются разными обстановками их образования и различным составом пород областей сноса. В большинстве выборок медистых песчаников отмечается логнормальное и нормальное распределения золота.

3. Корреляционный анализ выявил в медистых песчаниках кеменской и чинейской серий тесные корреляционные связи золота с Ag, Bi, Cu. Это, а также сходные законы его распределения, свидетельствуют о том, что образование благородных металлов в медистых песчаниках различных стратиграфических уровней удоканского комплекса происходило в сходных условиях.

4. Наличие в меденосных отложениях кластогенного золота, а также тесные корреляцион-

ные связи золота с легкими лантаноидами (La, Ce) указывают на осадочный генезис благородных металлов в медистых песчаниках.

Список литературы

Абрамов Б.Н. Благородные металлы в осадочно-метаморфических и интрузивных комплексах пород Кодаро-Удоканской зоны // Докл. РАН. 2004а. Т. 395. № 2. С.224-226.

Абрамов Б.Н. Геодинамические режимы формирования отложений удоканского комплекса // Докл. РАН. 2004б. Т. 398. № 4. С. 510-512.

Абрамов Б.Н., Винниченко С.В. Золотоносность медистых песчаников Кодаро-Удоканского района // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 6. С. 1148-1150.

Абрамов Б.Н., Наркелюн Л.Ф. Золотоносные комплексы пород удоканской серии // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1999. № 6. С. 90-96.

Абрамов Б.Н., Трубочев А.И. Золотоносность медных руд на Удоканском месторождении // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2002. № 1. С. 105-112.

Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука. 1976. 267 с.

Безродных Ю.П., Наркелюн Л.Ф., Трубочев А.И., Юргенсон Г.А. Золото в осадочных толщах Кодаро-Удоканского района // Докл. АН СССР. 1968. Т. 197. № 4. С. 927-930.

Богданов Ю.В., Кочин Г.Г., Кутырев Э.И. и др. Медистые отложения Олекмо-Витимской горной страны. Л.: Недра. 1966. 386 с.

Кучеренко И.В., Коробейников А.Ф. Металлы платиновой группы в рудах Удоканского серебро-медного месторождения // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири. Мат-лы конф. Томск. 2000. С. 145-157.

Лаврович Н.Н. К вопросу о формировании удоканской серии докембрия Сибири // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 11. С. 107-154.

Наркелюн Л.Ф. Геолого-технологическая оценка минерального сырья. Учебное пособие. Чита: Читинский госуниверситет, 2003. 336 с.

Рецензент доктор геол.-мин. наук И.Н. Подковыров