

### **Геохимическая характеристика нижнепротерозойских отложений юга Сибирской платформы**

В пределах Байкальской горной области и Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны (СФЗ) выделяется несколько углеродистых толщ раннепротерозойского возраста, которые являются единой углеродисто-терригенной формацией, возникшей, скорее всего, в условиях эпикратонного рифтогенного морского бассейна (рис. 1). На Тонодском поднятии они представлены албазинской и михайловской свитами, на Нечерском – чуйской толщей и ходоканской свитой, а в Кодаро-Удоканской СФЗ – отложениями кодарской серии (боруяхская, веселинская, икабийская, аянская и, возможно, инырская (чинейская серия) свиты). Все они выделяются нами как кевактинская углеродисто-терригенная формация.

В работе основное внимание уделено Кодаро-Удоканской СФЗ, в пределах которой известны промышленные месторождения благородных и редких металлов. Наиболее известным является гигантское Удоканское месторождение меди, локализованное в зоне развития нижнепротерозойских пород Удоканского синклиория. Главная роль в локализации рудной минерализации принадлежит карбонатно-терригенному удоканскому комплексу. Образование комплекса делятся на четыре крупные серии: джялтуктинскую, кодарскую, чинейскую и кеменскую. Отложения кодарской серии, судя по литологическим характеристикам, формировались в условиях дистального шельфа и материкового склона. Наиболее характерной геохимической чертой всех отложений кевактинской углеродисто-терригенной формации является высокое содержание глинозема в сланцах  $Al_2O_3$  (в среднем, 19 мас. % с максимумами до 27 мас. %) и  $K_2O$  (4–6 мас. %). Их накопление можно объяснить активным выветриванием исходных пород под влиянием жаркого гумидного климата. Отложения формации обогащены рассеянным углеродистым веществом, что свидетельствует о бурном развитии бактериального бентоса в бассейне осадконакопления с застойным режимом [Терлеев и др., 2006]. Концентрации  $C_{орг}$  варьируют в пределах от 0.5 до 10 мас. %. Высокоуглеродистые металевролиты и метааргиллиты кодарской серии (икабийская, аянская и инырская свиты) характеризуются повышенны-

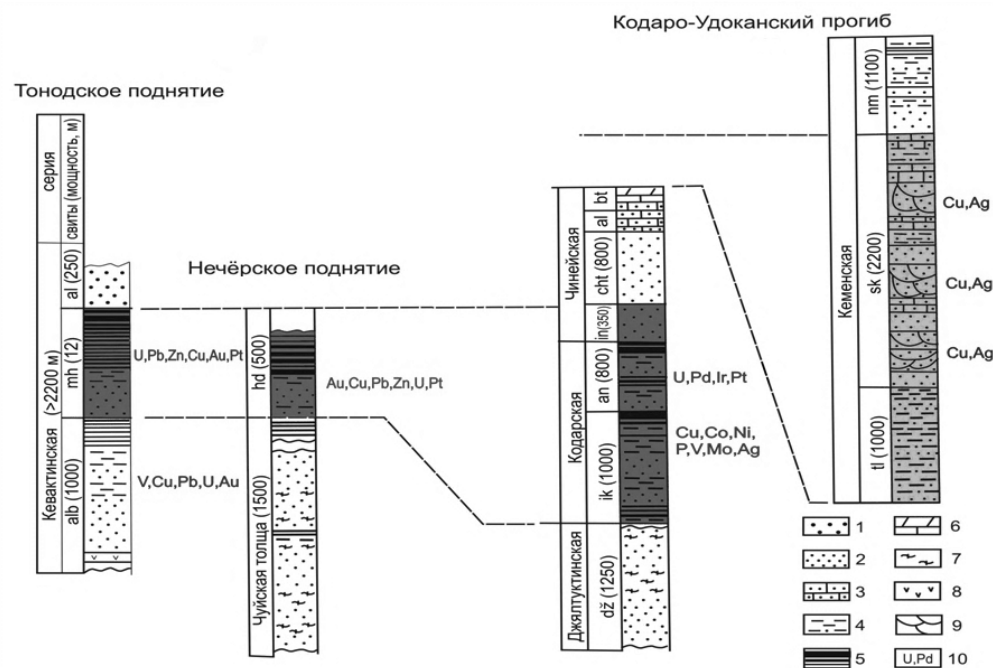


Рис. 1. Корреляция и металлогеническая характеристика разрезов нижнепротерозойской кевактинской углеродисто-терригенной формации Байкальской горной области.

1 – конгломераты, гравелиты; 2 – метапесчаники; 3 – песчаники известковистые; 4 – алевросланцы, алевроспесчаники; 5 – сланцы черные углеродистые; 6 – карбонатные породы; 7 – парагнейсы; 8 – метабазиты; 9 – косая слоистость; 10 – металлогеническая специализация углеродистых толщ. Свиты: alb – албазинская; mh – михайловская; al – александровская; hd – ходоканская; ik – икабийская; an – аянская; in – инырская; cht – читкандинская; bt – бутунская; tl – талаканская; sk – сакуканская; nm – намингинская.

ми содержаниями мафических петрогенных элементов (Fe, Mg, Ca, Mn) и ряда халькофильных металлов (Cu, Ni, Zn, Pb, Au, Ag, U), а также элементов платиновой группы (ЭПГ), в единичных пробах достигающих 0.0п г/т. Такая геохимическая специализация может быть унаследована от пород более древнего зеленокаменного пояса [Федоровский, 1972], а также связана с синхронным вулканизмом основного состава, проявленным на раннем (рифтогенном) этапе развития прогиба и способствовавшим формированию металлогенической специализации толщ [Немеров и др., 2005; 2009]. Рудная минерализация углеродистых отложений представлена пиритом, халькопиритом, пирротинном, молибденитом, сульфидом никеля. Рудная минерализация также обогащена Cu, Co, Ni, V, Mo, Ag, U, Pt, As.

Характерным для Кодаро-Удоканской СФЗ является то, что терригенные и карбонатно-терригенные красноцветные отложения прибрежных и дельтовых фаций, расположенные на одном стратиграфическом уровне с отложениями кодарской серии и стратиграфически выше, часто обогащены рядом рудных компонентов: Cu, Zn, Pb, U, Ni, Au, Ag, Pt, Pd и др.

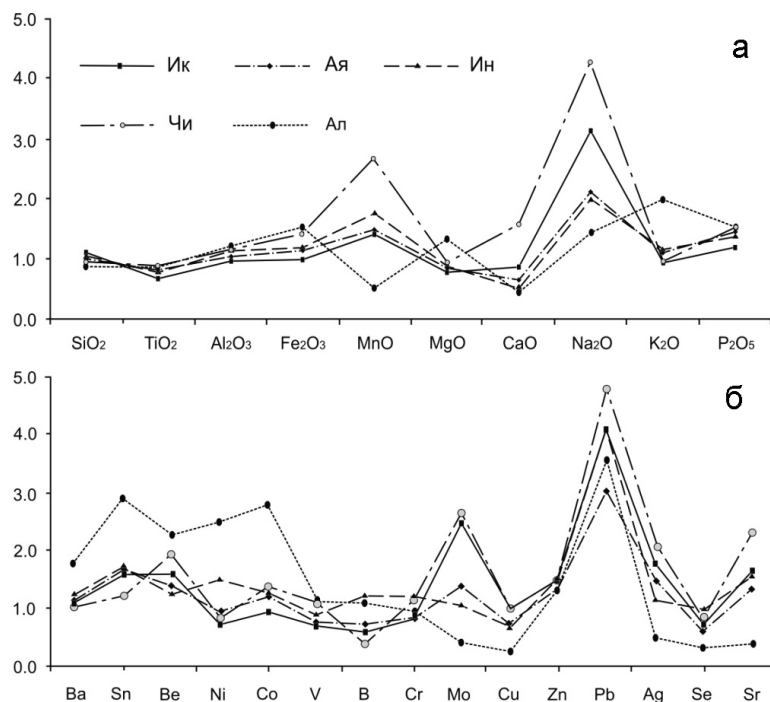


Рис. 2. Распределение петрогенных (а) и редких (б) элементов в породах кодарской и читкандинской серий: икабийской (Ик), аянской (Ая), иннырской (Ин) читкандинской (Чи) и александровской (Ал) свит, нормированных по стандартному образцу черных сланцев SCHS-1 [Petrov et al., 2004].

Для обоснования ведущей роли нижних стратиграфических горизонтов (кодарская и чинейская серии) в процессе формирования месторождений Кодаро-Удоканской СФЗ детально изучено распределение петрогенных (рис. 2а), редких и редкоземельных элементов (рис. 2б) в обозначенных толщах. Исследования проводились на базе ИГХ СО РАН методами РФА (петрогенные элементы), ICP-MS (редкие и РЗЭ), атомной абсорбции (Au, Ag, ЭПГ). Проанализировано около 300 проб, отобранных по двум полным пересечениям нижнепротерозойских отложений: район р. Нижний Ингамакит и Верхне-Сюльбанское рудное поле.

В результате выявлена отчетливая геохимическая специализация отложений икабийской, аянской и иннырской свит кодарской серии и читкандинской свиты чинейской серии, которые резко отличаются практически по всем основным показателям от александровской свиты, представляющей верхний стратиграфический уровень чинейской серии. Наиболее характерным является увеличение содержаний  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Na_2O$  и  $P_2O_5$  от пород икабийской к породам читкандинской свиты (рис. 2а). Это характерно для гидротермальной деятельности, сопровождающейся щелочным (преимущественно натровым) метасоматозом с сопряженным формированием субщелочных метасоматитов хлоритового и слюдисто-карбонатного состава. Время формирования александровской свиты, по всей видимости, характеризуется изменением геодинамического режима и прекращением гидротермальной деятельности, синхронной осадконакоплению.

Отложения кодарской серии отличаются повышенными содержаниями Sn, Mo, Ag, Sr, относительно стандарта черных сланцев Байкальской горной области [Petrov et al., 2004] (рис. 2б). Геохимические параметры черносланцевых отложений нижних стратиграфических горизонтов резко отличаются от таковых пород вышележащей александровской свиты, особенно для Mo, Zn, Pb, Ag и Sr, характерных для гидротермального флюида на начальных этапах развития рифтогенеза, что подтверждает геодинамические построения В. С. Федоровского [1972].

Обращают на себя внимание повышенные концентрации благородных металлов в исследуемой толще, вероятно, обусловленные как унаследованностью химизма архейского фундамента, так и влиянием рифтогенного магматизма основного состава (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Содержание благородных металлов кодарской и чинейской серий (г/т)**

	ik	an	in	cht	al
Ag	0.17	0.14	0.10	0.20	0.04
Au	0.002	0.003	0.032	0.044	0.013
Pt	0.011	0.009	0.006	0.006	0.019
Pd	0.034	0.025	0.016	0.009	0.035

П р и м е ч а н и е . Кодарская серия: ik – икабийская свита, an – аянская свита, in – иннерская свита; чинейская серия: cht – читкандинская свита, al – александровская свита.

Подобные аналитические данные приведены в работе Б. Н. Абрамова [2006], однако утверждение автора о приобретении подобной специализации толщ в условиях активной континентальной окраины не находит подтверждения ни при изучении геологической ситуации региона, ни при дополнительных геохимических построениях, полученных нами.

Корреляционный анализ не выявил закономерностей, указывающих на источник рудных компонентов. Однако при рассмотрении исследуемых пород от нижних стратиграфических горизонтов к верхним видно, что основная группа элементов, характерных для черносланцевых формаций (V, Mo, Cu, Zn), тесно коррелирует с благородными металлами и группой халькофильных элементов (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Корреляционные ассоциации элементов в отложениях Кодарской и Чинейской серий**

Свиты	Ассоциация	Элементы
Читкандинская	породная	U-Th-V-Ba-Li-B--Ni-Co-Cr-Sn-Cu-Zn
	рудная	Sr-Mo-Be-Pb-Au-Pt
Иннерская	породная	U-Th-V-Ba-Li-B-Co-Sn-Sc-Zn-Au-Pd
	рудная	Pt-Ag
Аянская	породная	U-Th-V-Ba-Li-B-Cr-Mo-Sn-Sc-Pb-Cu-Zn-Ag
	рудная	1) ЭПГ – инертно, 2) Au-Ba-Zr
Икабийская	породная	V-Mo-Cr-Sc-Cu-Zn-Ag-Au
	рудная	1) Pt-Pd-B-Zr-Cu, 2) Ni-Co-Be

Повышенные содержания в отложениях икабийской и аянской свит относительно местного фона заметны для ограниченного ряда элементов (Sr, Mo, Cu, Ag, Au, Pt, Pd), что указывает на возможное заражение толщи уже на стадии седиментации за счет поступления дополнительного вещества в бассейн осадконакопления. Важно отметить максимальные содержания платиноидов (Pt, Pd) в икабийской и аянской, а Au и Ag – в иннырской и читкандинской свитах (см. табл. 1). На нижних стратиграфических уровнях благородные металлы положительно коррелируют с Zr и В, содержания которых ниже кларка для осадочных пород, что указывает на их седиментационный генезис на этапе заложения рифтогенного прогиба и поступления в бассейн осадконакопления продуктов кор выветривания. Расположенные стратиграфически выше иннырская и читкандинская свиты обогащены Au и Ag до 0.0n–0.n г/т. Характерно увеличение концентраций элементов, коррелирующих с Au, от нижних стратиграфических горизонтов к верхним, что вероятно обусловлено усилением гидротермальной деятельности с привнесом в систему сидеро-халькофильной группы элементов. Однако следует обратить внимание и на корреляционную связь литофильных элементов, среди которых наиболее интересными являются V–Ba–Li–B, а также U и Th. Содержания U и Th в породах кодарской серии (в среднем, 8.9 и 16 г/т соответственно) значительно превышают таковые для стандарта NASC [Gromet et al., 1984] и положительно коррелируют с породообразующими литофильными элементами и РЗЭ во всем разрезе отложений.

Все сказанное выше подтверждает мнение Л. Б. Макарьева [1994] о том, что углеродистые породы удоканской серии являются одним из рудоносных уровней Урага-Холболоского рудного узла, с которым связаны Холболоское, Графитовое, Бортовое и другие благороднометалльные проявления. Поэтому становится актуальным обнаружение проявлений благороднометалльного и радиоактивного сырья, генетически связанных с углеродистыми образованиями Тонодского и Нечерского поднятий, а также Кодаро-Удоканской СФЗ [Гурская, 2000; Паршин и др., 2013]. Полученные данные позволяют рассматривать кевактинскую углеродисто-терригенную формацию в качестве источника рудных и сопутствующих компонентов и учитывать ее при оценке перспектив благородного, редкометалльного и радиоактивного оруденения в пределах Байкальской горной области и Кодаро-Удоканской СФЗ.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00172-а и гранта Президента РФ МК-3747.2015.5 с использованием научного оборудования Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.*

## Литература

- Абрамов Б. Н. Особенности распределения благородных металлов в медистых песчаниках Кодаро-Удоканского рудного района // Литосфера. 2006. № 4. С. 168–174.
- Гурская Л. И. Платинометальное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб: ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
- Макарьев Л. Б. Платинометальность докембрийских углеродистых формаций Северо-Восточного Забайкалья // В кн.: Платина России. М.: Геоинформмарк, 1994.
- Немеров В. К., Будяк А. Е., Развозжаева Э. А. и др. Новый взгляд на происхождение медистых песчаников месторождения Удокан // Известия (Геология, поиски и разведка рудных месторождений). 2009. № 2 (35). С. 4–17.
- Немеров В. К., Спиридонов А. М., Развозжаева Э. А. и др. Основные факторы онтогенеза месторождений благородных металлов сухоложского типа // Отечественная геология. 2005. № 3. С. 17–24.

*Паршин А. В., Абрамова В. А., Мельников В. А. и др.* Перспективы благородно- и редко-металльного оруденения нижнепротерозойских отложений на территории Байкальской горной области // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 3 (74). С. 53–59.

*Терлеев А. А., Постников А. А., Кочнев Б. Б. и др.* Раннепротерозойская биота из удоканской серии западной части Алданского щита (Россия) // В сб.: Эволюция биосферы и биоразнообразия. К 70-летию А. Ю. Розанова. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. С. 271–281.

*Федоровский В. С.* Стратиграфия нижнего протерозоя хребтов Кодар и Удокан. М.: Наука, 1972. 130 с.

*Gromet L. P., Dymek R. F., Haskin L. A. et al.* The «North American shale composite»: its compilation, major and trace element characteristics // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48. P. 2469–2482.

*Petrov L. L., Kornakov Y. N., Korotaeva I. Ia. et al.* Multi-element reference samples of black shale // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2004. Vol. 28. № 1. P. 89–102.