

## Металлоносные углеродистые сланцы Окинской зоны юго-восточной части Восточного Саяна

© С. М. Жмодик<sup>1</sup>, А. Г. Миронов<sup>2</sup>, Д. К. Белянин<sup>1</sup>, Е. В. Айриянц<sup>1</sup>, Н. А. Немировская<sup>1</sup>,  
О. Н. Киселева<sup>1</sup>, И. С. Кириченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия.  
E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Приведены результаты комплексного исследования металлоносных углеродисто-кремнистых сланцев Окинской зоны в юго-восточной части Восточного Саяна.

**Ключевые слова:** черные сланцы; углеродистое вещество; благородные металлы; редкоземельные элементы; геохимия; Восточный Саян.

## Metalliferous carbonaceous shales of the Okinsk area of the southeastern part of the Eastern Sayan

S. M. Zhmodik<sup>1</sup>, A. G. Mironov<sup>2</sup>, D. K. Belyanin<sup>1</sup>, E. V. Airiyants<sup>1</sup>, N. A. Nemirovskaya<sup>1</sup>,  
O. N. Kiseleva<sup>1</sup>, I. S. Kirichenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology and Mineralogy V.S. Sobolev SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

The results of a complex study of metalliferous carbonaceous-siliceous schists of the Okinsk zone in the southeastern part of the Eastern Sayan are presented.

**Keywords:** black shale; carbonaceous matter; precious metals; rare earth elements; geochemistry; East Sayan.

Повышенный интерес исследователей к породам, содержащим в своем составе углерод и, прежде всего, к металлоносным черным сланцам не случаен, поскольку в проблеме их формирования имеется ряд нерешенных вопросов, касающихся источников рудного вещества, механизмов его поступления и отложения, роли органического вещества в концентрировании химических элементов. Значительное увеличение количества публикаций, касающихся данной проблемы, связано с обнаружением металлоносных (Mo, Ni, U, V, Cu, Zn, Au, Ag, PGE) углеродистых отложений, вмещающих крупные месторождения благородных и редких металлов в Китае, Польше, Германии, Финляндии, Замбии, Канаде, России [6, 7, 8 и другие]. Анализ данных о распределении благородных металлов в углеродистых (черносланцевых) отложениях различных геодинамических обстановок свидетельствует о максимальном обогащении этими элементами и наличии крупнообъемного оруденения в осадках формирующихся в обстановках активных континентальных окраин, островодужных систем, с которыми тесно связаны комплексы задуговых бассейнов, а также пассивных континентальных окраин с наложенными задуговыми зонами спрединга и внутриконтинентальными бассейнами. Однако, не все углеродистые отложения, сформированные в перечисленных обстановках, являются металлоносными, скорее большая часть из них по геохимическим характеристикам относится к рядовым морским осадкам. Важен тот факт, что во многих случаях, собственно рудные тела с высокими промышленными концентрациями Ni, Mo, V, Cu, Zn, Au, PGE, среди металлоносных углеродистых сланцев, представлены маломощными горизонтами от первых сантиметров до 20–30 см, в редких случаях, в складках увеличиваясь до 1–2 метров (месторождения Ю. Китая, цехштейны в Польше и Германии, U-носные сланцы Швеции, Финляндии и др.). Также следует принимать во внимание широкую распространенность таких рудных горизонтов внутри серий металлоносных черных сланцев на значительных территориях [5, 6, 7, 8, 10]. То есть событие, которое привело к формированию маломощных рудных горизонтов с высоким содержанием рассеянного органического вещества, распространенных на больших площадях, было относительно кратковременным и проявленным в глобальном или региональном масштабе. Такие события могли быть связаны с периодами проявления плюмового магматизма и формирования крупных магматических провинций (large igneous provinces), которые сопровождались массовым поступлением газов (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> и другие), а также металлов (рудного вещества) [9, 11 и другие].

На территории юго-восточной части Восточного Саяна широко распространены черные сланцы, выделяемые в составе иркутской, ильчирской, дабанжалгинской (*dbg*), барунгольской, дибинской, оспинской свит и зоны углеродизации среди ультраосновных пород ильчирского комплекса (а также гранитов и альбититов) Оспинско-Китойской и Харанурской офиолитовых пластин [1, 2]. Углеродистые отложения распространены в различных геологических ситуациях, сформированы в различных

геодинамических обстановках и относятся к четырем формационным типам [4]: терригенно-углеродистому, карбонатно-углеродистому, кремнисто-углеродистому и вулканогенно-углеродистому. Черные сланцы иркутской свиты являются составной частью преимущественно карбонатных отложений, сформировавшихся на неоархейском-палеопротерозойском фундаменте Гарганской глыбы, в условиях континентальной окраины и океанической обстановке. Углеродистые сланцы ильчирской и оспинской свит (а также, по-видимому, дибинской) неопротерозойского возраста, входят в состав офиолитовой ассоциации и представлены углеродисто-терригенным и углеродисто-вулканогенным формационными типами.

Углеродисто-кремнистые образования *dbg* свиты распространены в карбонатных отложениях нижнего палеозоя в Окинской структурно-формационной зоне и представляют собой глубоководные отложения задугового бассейна. Углеродистые породы слагают отдельные горизонты (до 200 м мощностью), линзы, желваки и другие тела часто неправильной формы (1–30 м). По составу это углеродистые кремни, углеродистые кремнистые и глинисто-кремнистые сланцы, существенно серицит-кварцевого, хлорит-серицит-кварцевого (иногда с биотитом и амфиболом) состава. Метаморфизм углеродистых отложение, в целом, не превышает мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации, хотя в участках проявления контактового метаморфизма фиксируется амфибол-роговиковая фация с биотитом, кордиеритом и альмандином. Характерной особенностью углеродисто-кремнистых отложений, относимых к *dbg* свите, является их частая приуроченность к «мусорным» образованиям (олистостроме), связанным в северной, северо-восточной и южной частях Окинской зоны с базит-ультрабазитовыми ассоциациями Эхе-Шигнинской офиолитовой ветви и «массивами» типа Хурай-Жалгинского, а также зонами высокобарического метаморфизма. Содержания органического углерода умеренные (0,8–2,2 мас.%), однако в отдельных горизонтах его количества достигают 19 мас.%. Сульфиды распространены в черных сланцах достаточно широко, но в небольших количествах (0,10–2%) или отсутствуют вообще. В то же время, на отдельных участках, с углеродистыми сланцами всех формационных типов расположенных: в основании офиолитовых покровов, в зонах влияния гранитоидов сумсукурского и холбинского комплексов или в сдвиговых зонах — связаны очень богатые сульфидные скопления (до 50–70 мас.%), с высокими (до рудных) концентрациями цветных и благородных металлов (Au, Ag, Pd, Pt).

Геохимические характеристики (распределение REE, радиоактивных, редких и благородных элементов, а также цветных металлов) углеродистых отложений существенно различаются. Так, для всех разновидностей углеродисто-кремнистых пород *dbg* свиты характерны повышенные содержания U, Au, Ag, Pt, Pd, Mo, V, P, Cu. Их количества в 5–10 раз превышают таковые для других черносланцевых отложений ВС и Северного Прибайкалья. Выделяется как минимум 4 этапа перераспределения элементов в черных сланцах *dbg* свиты с формированием рудных концентраций Au, U, Mo, V, Ag (табл.).

Возраст металлоносных углеродисто-кремнистых сланцев *dbg* свиты сопоставляется с временем формирования черносланцевой провинции с комплексным Ni–Mo–PGE–Au оруденением на юге Китая [6, 7, 10 и др.]. Близкий возраст определен и для Ботогольского щелочного массива, формирование которого связывается с проявлением неопротерозой-нижнепалеозойского плюмового магматизма [3, 12].

**Таблица**

Содержания Au, C<sub>org</sub>, K, U, Th, Mo, V, Ag на различных этапах формирования золото-редкометалльной минерализации в углеродистых сланцах и кремнях дабанжалгинской свиты в юго-восточной части Восточного Саяна

Этап	Au, ppb	C <sub>org</sub> , %	K, %	U, ppm	Th, ppm	Mo, ppm	V, ppm	Ag, ppm
I (23)	19.5	2.3	1.06	81.1	4.1	3035	800	2.5
II (21)	150.0	0.8	2.3	123.7	25.8	270	7000	22.4
III (11)	100.0		0.1	415.7	1.2	162	272	3.9
IV (26)	796.3	0.2	0.8	1228.1	4809	1.7	9.1	0.01

Примечание: в скобках в первом столбце — число проб. I — вулканогенно-(гидротермально-)осадочные руды в углеродисто-кремнистых породах со слоистым распределением рудных компонентов; II — метаморфические и деформационные преобразования углеродисто-кремнистых сланцев *dbg* свиты; III — кварцевый рудный этап, связанный с гидротермальной деятельностью и перераспределением кремнезёма и рудных элементов в ослабленные зоны с формированием прожилков и жил; IV — контрастные руды в зонах взаимодействия щелочных интрузий с металлоносными углеродисто-кремнистыми сланцами *dbg* свиты.

*Работа выполнена в рамках госзадания № 0330-216-0011.*

*Аналитические работы проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».*

#### *Литература*

1. Геология и метаморфизм Восточного Саяна / ред. Н. Л. Добрецов, В. И. Игнатович. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 192 с.
2. Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С. Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов. Новосибирск: ГЕО. 2008. 304 с.
3. Никифоров А. В., Ярмолюк В. В. Раннепалеозойский возраст формирования и геодинамическое положение Ботокольского и Хушагольского массивов щелочных пород Центрально-Азиатского складчатого пояса // Доклады академии наук. 2007. Т. 412. № 1. С. 81–86.
4. Созинов Н. А., Горбачев О. В., Сидоренко Св. А. Геохимические особенности углеродистых отложений различных формационных типов // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. М.: Наука, 1983. С. 245–254.
5. Trace Element Content of Sedimentary Pyrite in Black Shales / D. D. Gregory [et al.] // Econ. Geol. 2015. V. 110. P. 1389–1410.
6. Metal sources for the polymetallic Ni–Mo–PGE mineralization in the black shales of the Lower Cambrian Niutitang Formation, South China / T. Han [et al.] // Ore Geol. Rev. 2015. V. 67. P. 158–169.
7. Trace- and rare-earth element geochemistry and Pb–Pb dating of black shales and intercalated Ni–Mo–PGE–Au sulfide ores in Lower Cambrian strata, Yangtze Platform, South China / S-Y. Jiang [et al.] // Miner Deposita. 2006. V. 41. P. 453–467.
8. Kucha H., Przybylowicz W. Noble metals in organic matter and Clay-Organic matrices Kupferschiefer Poland // Econ. Geol. 1999. V. 94. P. 1137–1162.
9. Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Kravchinsky V. A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // Earth-Science Reviews. 2010. V.102. P. 29–59.
10. Re–Os age of polymetallic Ni–Mo–PGE–Au mineralization in Early Cambrian black shales of South China — a reassessment / L. G. Xu [et al.] // Econ. Geol. 2011. V. 106. P. 511–522.
11. Pirajno F., Santosh M. Rifting, intraplate magmatism, mineral systems and mantle dynamics in central-east Eurasia: An overview // Ore Geol. Rev. 2014. V. 63. P. 265–295.
12. Carbon-13 and uranothorianite age dating in the Botogol alkaline massif graphites (Eastern Sayan, Russia) / S. M. Zhmodik [et al.] // Cambridge Publications Ltd., Goldschmidt2013. P. 2008.

**Жмодик Сергей Михайлович**, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск.