

## ТИПЫ УГЛЕРОДИСТЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

**С.М. Жмодик<sup>1,2</sup>, А.Г. Миронов<sup>3</sup>, Д.К. Белянин<sup>1,2</sup>, Е.В. Айриянц<sup>1</sup>, О.Н. Киселева<sup>1</sup>**

*1 – Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т. Коптюга, 3, Россия;*

*2 – Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2, Россия;*

*3 – Геологический институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а Россия*

Представлены данные, которые свидетельствуют о существенных различиях в геологической позиции и геодинамических условиях формирования, природе углеродистого вещества, минералогическо-геохимических и изотопных характеристик углеродизированных ультрабазитов и углеродистых металлоносных отложений (черносланцевых толщ) юго-восточной части Восточного Саяна. Возраст металлоносных углеродисто-кремнистых сланцев дабанжалгинской свиты сопоставляется с временем формирования черносланцевой провинции с комплексным Ni–Mo–PGE–Au оруденением на юге Китая. В докладе рассматривается роль плюмового магматизма в формировании регионально распространенных металлоносных черносланцевых образований, обогащенных U, Mo, V, Ni, Cu, Zn, Au, PGE.

*углеродистые отложения, металлоносные черные сланцы, зоны углеродизации, золото, Восточный Саян*

## TYPES OF CARBONACEOUS FORMATIONS OF SOUTHEAST PART OF EAST SAYAN

**S.M. Zhmodik, A.G. Mironov, D.K. Belyanin, E.V. Airiyants, O.N. Kiseleva**

The data, which showed significant differences in the geological position and geodynamic conditions of formation, the nature of the carbonaceous material, mineralogical, geochemical and isotopic characteristics carbonized ultrabasics ultrabasic rocks and carbon metalliferous sediments (black shale strata) south-eastern part of the Eastern Sayan. Age metalliferous carbonaceous-siliceous shales dabanzhalga suite compared with the time of formation of black shale province with a complex Ni–Mo–PGE–Au mineralization in the south of China. The report examines the role of plume magmatism in the formation of regional distribution of metalliferous black shale formations enriched U, Mo, V, Ni, Cu, Zn, Au, PGE.

*carbonaceous deposits, metalliferous black shales, carbonaceous zones, gold, East Sayan*

Повышенный интерес исследователей к породам, содержащим в своем составе углерод закономерен. Во многих случаях с углеродистыми образованиями в тесной пространственной связи находятся крупные месторождения благородных и цветных металлов. Несмотря на достаточно длительную историю изучения природы, условий формирования, источников углерода и рудного вещества в углеродистых породах, остается достаточно много вопросов, хотя результаты исследований современного океанического вулканогенно- и гидротермально-осадочного рудообразования прояснили многие стороны данной проблемы. По-прежнему, существует два принципиально различных взгляда на природу углеродистого и рудного вещества в металлоносных черных сланцах – экзогенный и эндогенный, с большим числом вариантов. Причем многие исследователи придерживаются

одной из крайних точек зрения. Анализ размещения «бассейнов черносланцевой седиментации» и регионов с металлоносными углеродистыми отложениями свидетельствует о важной роли в их формировании не только геодинамических обстановок, но прежде всего проявлений плюмового магматизма и возникновением характерных крупных магматических провинций (LIP –large igneous province).

В юго-восточной части Восточного Саяна широко распространены черные сланцы, выделяемые в составе иркутской, ильчирской, дабанжалгинской, барунгольской, дибинской, оспинской свит и зоны углеродизации среди ультраосновных пород ильчирского комплекса (а также гранитов и альбититов) Оспинско-Китойской и Харанурской офиолитовых пластин. Углеродистые отложения распространены в различных геологических ситуациях, сформированы в различных геодинамических обстановках и относятся к четырем формационным типам: терригенно-углеродистому, карбонатно-углеродистому, кремнисто-углеродисто и вулканогенно-углеродистому [Созинов и др., 1983]. Черные сланцы иркутской свиты являются составной частью преимущественно карбонатных отложений, сформировавшихся на неоархейском-палеопротерозойском фундаменте Гарганской глыбы, в условиях континентальной окраины и, вероятно, частично 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 дабанжалгинской свиты распространены в карбонатных отложениях нижнего палеозоя в Окинской структурно-формационной зоне и представляют собой глубоководные отложения задугового бассейна. Уверенно разделить углеродистые сланцы ильчирского и иркутского уровней достаточно трудно в связи со сложной покровной тектоникой, проявленной в этом районе. К иркутской свите, отнесены высококалийные углеродистые сланцы, обнаруженные на участках Водораздельный, Снежный и других на правом и левом борту р. Урик (Боксон-Гарганская зона).

Углеродистые породы в карбонатных отложениях дабанжалгинской свиты слагают отдельные горизонты (до 200 м мощностью), линзы, желваки и другие тела часто неправильной формы (1–30 м). По составу это углеродистые кремни (фтаниты), углеродисто-кремнистые и углеродисто-глинисто-кремнистые сланцы существенно серицит-кварцевого, хлорит-серицит-кварцевого (иногда с биотитом и амфиболом) состава. Метаморфизм в целом не превышает мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации, хотя в участках проявления контактового метаморфизма фиксируется амфибол-роговиковая фация с биотитом, кордиеритом, алмандином. Содержания органического углерода умеренные (0,8–2,2 мас.%), однако в отдельных горизонтах его количества достигают 19 мас.%. Сульфиды развиты очень слабо (~0,5 %) или отсутствуют вообще. Характерной особенностью углеродисто-кремнистых отложений, относимых к дабанжалгинской свите, является их частая приуроченность к «мусорным» образованиям (олиостроме), пространственно связанными 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.

Углеродистые сланцы другого уровня входят в состав ильчирской толщи, располагающейся в основании офиолитового покрова в виде отдельной чешуи. Наиболее интересными в металлогеническом отношении оказались углеродистые отложения нижней пластины офиолитового покрова. Как показано в работе [Добрецов и др., 1988], покров находится в опрокинутом залегании и имеет трехчленное строение. В нижней пластине фиксируются меланжево-олистостромовые горизонты с олистолитами — производными офиолитовой ассоциации. В целом в разрезе пластины преобладают разнообразные сланцы (кварц-хлорит-серицитовые, кварц-амфибол-сланцистые) с отдельными прослоями песчаников, горизонтами и линзами углеродисто-кремнисто (кварц)-сланцистых пород. Отложения этой пластины обнажаются в виде полос или зон (реликтов) вблизи Гарганской глыбы часто совместно с телами гипербазитов. Метаморфизм пород в пределах зон значительно меняется, увеличиваясь от серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации с пиритом в западной части региона (р. Бол. Бутугол, р. Самарта, оз. Ильчир) до биотитовой субфации с амфиболом и гранатом в северо-восточной части (Ольгинская зона). Углеродистые образования в этом случае служат средой, цементирующей олистолиты карбонатных и вулканогенных пород, песчаников и кварцитовидных (кремнистых) пород (реки Бутугол, Урик и др.). Кроме того, углеродистые сланцы распространены в виде отдельных пачек (до 200 м) или прослоев (2–50 м) в нижних частях толщи совместно с карбонатными сульфидизированными метапесчаниками, хлорит-серицитовыми сланцами. В верхней части свиты развиты метавулканиды основного состава. Сланцы по составу являются углеродистыми: кварц-серицитовыми, кварц-серицит-хлоритовыми, кварц-серицит-карбонатными, кварц-биотитовыми, кварц-амфиболовыми с переменным количеством пирита и пирротина. Метаморфизм пород нарастает к северу региона от серицит-хлоритовой до мусковит-биотитовой субфации зеленосланцевой фации. Характерной чертой отложений этого уровня является наличие горизонтов, линз или зон сульфидизации пирит-пирротинового состава, протягивающихся с перерывами на значительные расстояния (до 7–10 км). В сульфидных горизонтах главными минералами являются пирротин и пирит (5–65 %), а также углеродисто-кремнистый материал с переменным количеством кварца, хлорита, мусковита, биотита, амфибола и граната в зависимости от степени метаморфизма пород толщи. Практически все типы углеродистых отложений, за редким исключением, содержат невысокие количества  $C_{орг}$  от 0,5–1% до 6–7,5%.

Для всех разновидностей углеродисто-кремнистых пород дабанжалгинской свиты (углеродистые кремни, углеродисто-кремнистые сланцы, углеродисто-глинисто-кремнистые сланцы) характерны повышенные содержания U, Au, Ag, Pt, Pd, Mo, V, P, Cu. Их количества в 5–10 раз превышают таковые для других черносланцевых отложений Восточного Саяна и Северного Прибайкалья. В отдельных горизонтах (линзах) устанавливаются аномально высокие концентрации  $C_{орг}$  (19–24 мас.%), Mn (2–3 мас.%), Ni (до 400 г/т), P (до 18 мас.% в линзах ураноносных фосфоритов). В целом для углеродистых пород свиты наиболее типичными ассоциациями элементов, выделенными на основе корреляционного и факторного анализов, следует считать: Au–U, Au– $C_{орг}$ , Th–K,  $C_{орг}$ –Mo–Ag, Ni–Co–Cu–Sn.

Корреляционная связь урана и золота, а также  $Rb/Sr < 1$  обнаруживается практически во всех выделенных типах углеродистых образований дабанжалгинской свиты.

Углеродистые сланцы ильчирской толщи отличаются пониженными или близкими к кларку осадочных пород содержаниями большинства элементов, за исключением Au ( $KK=10n$ ) и в меньшей мере Ag. Высококалиевые сланцы иркутной свиты характеризуются повышенными концентрациями Au, Ag, V, Mo, Zr, а для некоторых разновидностей углеродистых сланцев кроме того и U, Ni, Co, Cu. В целом этот тип углеродистых отложений имеет промежуточные значения концентраций U, V, Mo, Ag по сравнению с углеродисто-кремнистыми породами дабанжалгинской свиты и черными сланцами ильчирской свиты. По данным факторного анализа, группы коррелирующих элементов составляют: U–Th–K, Au–Ag–V–Co, Au–Ni–Cr. Среди углеродистых отложений ильчирской толщи отдельные горизонты (или линзы) обогащены  $C_{орг.}$  (до 22 мас.%), V (до 5000 г/т), U (до 25 г/т), Zr (до 300 г/т), Y (до 150 г/т).

Изучение углеродизированных ультрабазитов (УУ) Оспинско-Китойского района свидетельствует о том, что описанные М.Ф. Шестопаловым [1938] “УУ являются уникальными образованиями... среди гипербазитов складчатых областей” [Пинус, Колесник, 1966; Летников и др., 1996]. Несомненно, что УУ являются эндогенными образованиями, резко отличающимися от расположенных вблизи (~ 300–500 м) углеродистых сланцев оспинской (ильчирской и других) свиты, как по условиям залегания и составу вмещающих пород, так и по минералого-геохимическим и изотопным характеристикам. Можно предполагать частичное участие черных сланцев оспинской свиты, в качестве источника углерода, при формировании УУ. Во всяком случае изотопный состав углерода углеродизированных гранит-порфиров, расположенных в непосредственной близости от УУ, может свидетельствовать об этом. При рассмотрении вопроса о времени и условиях проявления процесса углеродизации следует иметь в виду следующие факты:

- 1 – углеродизации подверглись различные породы Оспинско-Китойского района: слабо серпентинизированные ультрабазиты (гарцбургиты, дуниты), серпентиниты, альбититы, гранодиориты;
- 2 – устанавливается несколько типов пространственного распространения углеродистого вещества (УВ) в породах: равномерно рассеянное в альбититах и гранитоидах, штокверкоподобное в малоизмененных ультрабазитах, гарцбургитах, дунитах, серпентинитах, прожилковое и жильное в серпентинитах и вторичных дунитах;
- 3 – изотопный состав углерода УВ различен: в гранитоидах близок к составу УВ черных сланцев, а в ультрабазитах и альбититах отвечает значениям характерным для корово-мантийного источника углерода;
- 4 – минеральный состав УВ ультрабазитов представлен графитом, графитоидом, шунгитом, ультрадисперсным графитом, аморфной фазой ( $sp^3$ -гибридизация) и алмазом, которые обнаружены одновременно, как в различных участках, так и в одном образце;
- 5 – минеральный и геохимический состав УУ резко неоднороден. В пробах, отобранных из жил УУ в одних случаях фиксируются в значительных количествах арсениды и сульфиды Ni, Fe, Cu, Pb, Zn, циркон, монацит, золото, платиноиды, а в рядом взятых пробах эти минералы не

- обнаруживаются, несмотря на одинаковый общий химический и минеральный (породообразующие минералы) состав пород;
- 6 – устанавливается как минимум две стадии серпентинитизации ультрабазитов: первая проявлялась до углеродизации, а вторая её сопровождала. Этот факт отмечался также Г.В. Пинусом [Пинус, Колесник, 1966];
- 7 – этап серпентинитизации ультрабазитов, происходящий после углеродизации (или близко одновременно) приводит к перераспределению УВ с обогащением зон на границе жилкок лизардита и УУ. Это явление было подробно описано ранее [Пинус, Колесник, 1966];
- 8 – УУ пространственно связаны с зонами катаклаза, дробления, рассланцевания, трещиноватости, брекчирования и другими структурно ослабленными зонами в пределах северной и южной пластин Оспинско-Китойского района и Хара-Нура;
- 9 – углеродизация часто сопровождается карбонатизацией с формированием тонких прожилков до относительно крупных тел (метры) магнезитов;
- 10 – процессы деформации приводят к перераспределению УВ и его обособлению в виде прожилков и жилкок;
- 11 – в углеродизированных гипербазитах установлено наличие цирконов, отражающих возраст различных пород и комплексов, фрагменты которых были захвачены флюидными потоками, содержащими углерод (СО, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>) (возраст определен методом SHRIMP во ВСЕГЕИ). Надежно выделяются цирконы отражающие возраст основания Гарганской глыбы (2,9–2,7 Ма) и последующих метаморфических процессов (2,6 Ма); офиолитов океанической (1200–1020 Ма) и островодужной (960–900 Ма) стадий, углеродизированных гранитоидов Таинского штока (870–840 Ма; ранее датированные Re-Os методом 860 Ма (по молибдениту Таинского месторождения) [Mironov et al., 2006]. Возраст углеродизации гипербазитов соответствует (825–796 Ма). Такой возраст более соответствует времени коллизии Дунжугурской островной дуги и Гарганского микроконтинента [Кузьмичев, 2001]. Эти данные не позволяют связывать время углеродизации ультрабазитов, гранитоидов и альбититов Оспинско-Китойского района со временем формирования графитов Ботогольского щелочного массива или относить гранитоиды, прорывающие ультрабазиты к огнитскому комплексу;
- 12 – в составе газовых включений УУ преобладает метан (от 55% до 100 мол.%), а также присутствует азот (от 25 до 44 мол.%). Стенки газовых вакуолей выполнены УВ;
- 13 – углеродизация гипербазитов сопровождается карбонатизацией (магнезит, доломит), серпентинитизацией (антигорит), магнетизацией хромита, в гранитоидах – мусковитизацией и карбонатизацией (кальцит). В тоже время в УУ существуют самородные железо, цинк и аваруит;
- 14 – состав редкоземельных элементов в УУ и выделенном УВ, в целом, соответствует или близок мантийному тренду, в то время, как для углеродистых сланцев оспинской свиты характерны островодужные соотношения REE;
- 15 – в УУ и выделенном УВ установлены высокие содержания Ir, Cr, обнаружены минералы Pt, Pd, золото медистое и ртутистое, а также соединения золота и серебра в различных соотношениях: от кюстелита, до высокопробного золота;

16 – в зонах десерпентинизации рассеянное углеродистое вещество ассоциирует с форстеритом и пироксеном, а также с форстеритом и тальком;

17 – углеродизированные ультрабазиты обогащены рубидием, цезием, барием, иттрием, ниобием, свинцом. Относительно вмещающих пород, углеродизация приводит к увеличению концентраций редкоземельных элементов [Савельева и др., 2004].

Результаты картирования, свидетельствуют о распространении углеродизации в ультрабазитах Оспинско-Китойского «массива» в зонах преимущественно северо-западного (47,6%), субмеридионального (23,8%) и субширотного (20,7%) направлений; северо-восточное направление менее проявлено (около 8% от общего числа выявленных зон).

Полученные данные свидетельствуют о существенных различиях в геологической позиции и геодинамических условиях формирования, природе углеродистого вещества, минералого-геохимических и изотопных характеристик углеродизированных ультрабазитов и углеродистых металлоносных отложений (черносланцевых толщ) Восточного Саяна [Жмодик и др., 2008]. Возраст металлоносных углеродисто-кремнистых сланцев дабанжалгинской свиты сопоставляется с временем формирования черносланцевой провинции с комплексным Ni–Mo–PGE–Au оруденением на юге Китая [Jiang et al., 2006 и др.]. Близкий возраст определен и для Ботогольского щелочного массива, формирование которого связывается с проявлением неопротерозой-нижнепалеозойского плюмового магматизма [Никифоров, Ярмолук, 2007; Zhmodik et al., 2013].

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 12-05-01164), Президиума СО РАН (ИП 89), РАН (ОНЗ-5.3) и Минобразования РФ.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н.Л., Беличенко В.Г., Боос Р.Г., и др. Геология и метаморфизм Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1988. 192 с.
2. Жмодик С.М., Миронов А.Г., Жмодик А.С. Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2008. 304 с.
3. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: Пробел-2000, 2004. 192 с.
4. Летников Ф.А., Савельева В.Б., Аникина Ю.В. и др. Высокоуглеродистые тектониты – новый тип концентрирования золота и платины // Докл. РАН, 1996. Т. 347. № 6. С. 795–798.
5. Никифоров А.В., Ярмолук В.В. Раннепалеозойский возраст формирования и геодинамическое положение Ботогольского и Хушагольского массивов щелочных пород Центрально-Азиатского складчатого пояса // ДАН, 2007. Т. 412. № 1. С. 81–86.
6. Пинус Г.В., Колесник Ю.Н. Альпинотипные гипербазиты юга Сибири. М.: Наука, 1966. 211 с.
7. Савельева В.Б., Данилова Ю.В., Данилов Б.С. и др. Геохимия высокоуглеродистых метасоматитов Оспинско-Китойского гипербазитового-массива (Восточный Саян) // Геология и геофизика, 2004. Т. 45. № 12. С. 1434–1440.

8. Созинов Н.А., Горбачев О.В., Сидоренко С.А. Геохимические особенности углеродистых отложений различных формационных типов. В кн.: Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. М.: Наука, 1983. С. 245–254.

9. Шестопапов М.Ф. Ультраосновной массив Китайских Альп Восточного Саяна и связанные с ним месторождения // Сборник работ по камням самоцветам, 1938. Вып. 4. С. 84–100.

10. Jiang S-Y., Chen Y-Q., Hong-Fei Ling H-F. et al. 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 // *Miner Deposita*, 2006. V. 41. P. 453–467.

11. Mironov A.G., Stein H., Zimmerman A. et al. Dating of gold occurrences in the Sayan-Baikal fold belt, Southern Siberia, Russia // *Mineral Deposit Research*, 2006. P. 797–799.

12. Zhmodik S.M., Mironov A.G., Karmanov N.S. et al. Carbon-13 and uranothorianite age dating in the Botogol alkaline massif graphites (Eastern Sayan, Russia) // Cambridge Publications Ltd., Goldschmidt 2013. P. 2608.