



## МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ – НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИКАТ-БАГДАРИНСКОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Д. К. Белянин<sup>1,2</sup>, С. М. Жмодик<sup>1,2</sup>, Е. В. Айриянц<sup>1</sup>, Н. А. Росляков<sup>1</sup>

Рассмотрены минералого-геохимические особенности углеродистых отложений в пределах Икат-Багдаринской зоны. Входящие в состав офиолитового комплекса и терригенных отложений верхнего неопротерозоя и нижнего палеозоя углеродистые отложения соответствуют углеродисто-кремнистым (лидиты), углеродисто-глинистым и углеродисто-карбонатно-глинистым формационным типам. Серебряная и палладиевая минерализация представлена гесситом, алтаитом, самородным Ag, поляритом Pd(Pb,Bi). Возраст метаморфических уранинитов в углеродистых сланцах сивоконской свиты соответствует 496, 542 (участок Киро) и 516 млн лет (участок Илькохта).

**Ключевые слова:** углеродистые сланцы, благороднометалльная минерализация, урановая минерализация, Икат-Багдаринская зона, Западное Забайкалье.

## MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF NEOPROTEROZOIC-LOWER PALEOZOIC CARBONACEOUS DEPOSITS IN THE IKAT-BAGDARIN ZONE (WESTERN TRANSBAIKALIA)

D. K. Belyanin, S. M. Zhmodik, E. V. Airiyants, N. A. Roslyakov

Mineralogical and geochemical characteristics of carbonaceous deposits within the Ikat-Bagdarin zone are considered. Carbonaceous deposits of Upper Neoproterozoic and Lower Paleozoic entering into the composition of ophiolitic complex and terrigenous deposits correspond to carbon-siliceous (lyddites), carbon-clayey and carbon-clayey-carbonate formation types. Silver and palladium mineralization is represented by hessite, altaite, native Ag, polarite Pd(Pb,Bi). The age of metamorphic uraninites in carbonaceous shales of the Sivokonskaya Formation corresponds to 496, 542 Ma (Kiro site) and 516 Ma (Ilkokhta site).

**Keywords:** carbonaceous shales, noble metal mineralization, uranium mineralization, Ikat-Bagdarin zone, Western Transbaikalia.

Углеродистые (черносланцевые) металлоносные толщи привлекают пристальное внимание исследователей не случайно. Большинство крупных и уникальных месторождений золота в той или иной мере связаны с углеродистыми отложениями. Кроме того, в качестве коренных источников золота для многих крупных россыпных районов также устанавливаются породы черносланцевых формаций. В связи с этим представляют интерес минералого-геохимические исследования черных сланцев в районах с широко распространенной россыпной золотоносностью, для которой не выявлены коренные источники.

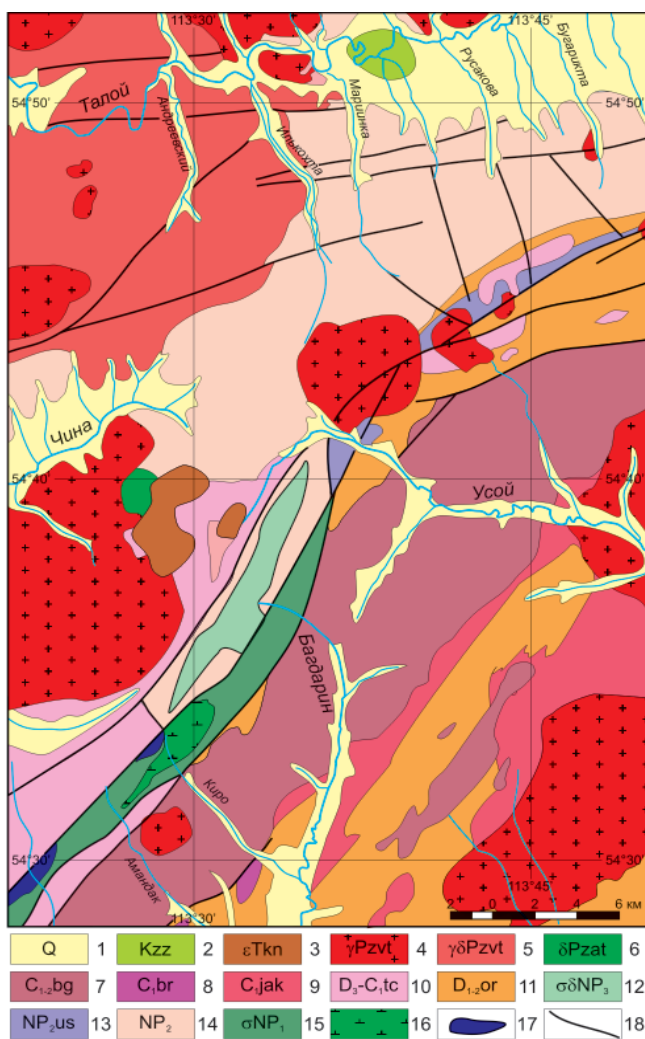
В работе рассмотрены минералого-геохимические особенности черных сланцев Икат-Багдаринской зоны (север Западного Забайкалья). Методами РФА, атомно-абсорбционного анализа, РФИ-СИ и СНН-анализа изучены углеродистые отложения двух участков Икат-Багдаринской зоны – площади, примыкающие к правым притокам р. Багдарин (Бол. Киро и Амандак) и левым притокам р. Талая (Бугарикта, Мариинский и Илькохта). Кроме того, проведено петрографическое и минераграфическое изучение пород методами оптической микроскопии (Axio Scop A1

Zeiss) и сканирующей электронной микроскопии (TESCAN-MIRA 3LMU).

### Геология

Икат-Багдаринская зона расположена в пределах Витимского плоскогорья и занимает обширную территорию междуречья рр. Б. Аамалат и Ципикан, на которой среди верхнепалеозойских гранитоидов распространены поля докембрийских метаморфических пород байкальского основания и относительно слабо метаморфизованные отложения палеозойского возраста, которые слагают крупную Багдаринскую синформу (рис. 1) [1, 2]. Породы докембрийского основания составляют серию тектонических блоков в осевой части Багдаринской синформы (хр. Шаман). Шаманский докембрийский выступ сформирован породами двух структурно-формационных комплексов. Первый представляет собой офиолитовую ассоциацию, образованную в окраинных спрединговых зонах [4], второй сложен кварц-серицитовыми, кварц-хлорит-серицитовыми сланцами часто углеродистыми, филлитизированными песчаниками и микрокварцитами суванхинской (сивоконской) свиты. Пространственные соотношения перечисленных комплексов не вполне ясны.

<sup>1</sup> ИГМ СО РАН (Новосибирск); <sup>2</sup> НГУ (Новосибирск)



**Рис. 1.** Геологическая схема Икат-Багдаринской зоны. Составлена на основе геологической карты м-ба 1:200 000 с использованием данных [4]

1 – четвертичные обложения; 2 – меловая система, зазинская свита: песчаники, алевролиты, глинистые, углистые сланцы; *триасовые интрузии*: 3 – куналейский комплекс: нефелиновые сиениты, граносиениты; *позднепалеозойские интрузии*: 4 – витимский комплекс: биотитовые граниты, 5 – витимский комплекс: биотит-роговообманковые гранодиориты; 6 – атарханский комплекс: кварцевые диориты; *палеозойские отложения*: 7 – багдаринская свита: эффузивно-осадочные отложения; 8 – бурундинская свита: известковые конгломераты, песчаники, фельзиты; 9 – яшинская свита: хлорит-серицитовые, углистые сланцы, песчаники; 10 – точерская свита: олимиктовые, известковые песчаники, метаморфизованные эффузивы; 11 – ороченская свита: известняки, углистые сланцы и доломиты, алевролиты; *келянская островодужная ассоциация неопротерозоя*: 12 – габбро-диориты, диориты; 13 – андезито-базальты, дациты, игнимбриты (усойская свита); *шаманская офиолитовая ассоциация*: 14 – гемипелагические отложения нерасчлененные (сивоконская, суванихинская и другие свиты); 15 – базальты; 16 – габбро; 17 – серпентинизированные гипербазиты; 18 – разрывные нарушения

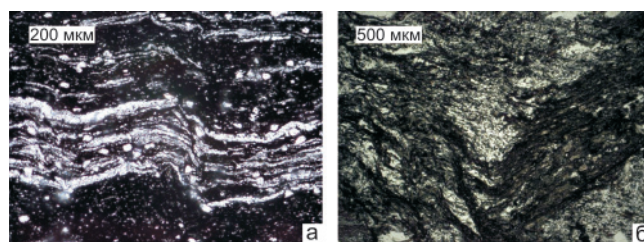
Ципиканский выступ сложен породами ципиканской толщи (до 2000 м с возрастом детритовых цирконов 847–781 млн лет) – переслаивание слюдистых, амфибол-слюдистых, хлорит-слюдистых сланцев, метапесчаников и мраморов (с пластовыми телами амфиболитов). Последние исследования показали присутствие здесь шести палеозойских толщ, нижняя возрастная граница которых не опускается ниже позднего силура, более вероятно – девона [1].

**Петрохимические характеристики углеродистых отложений**

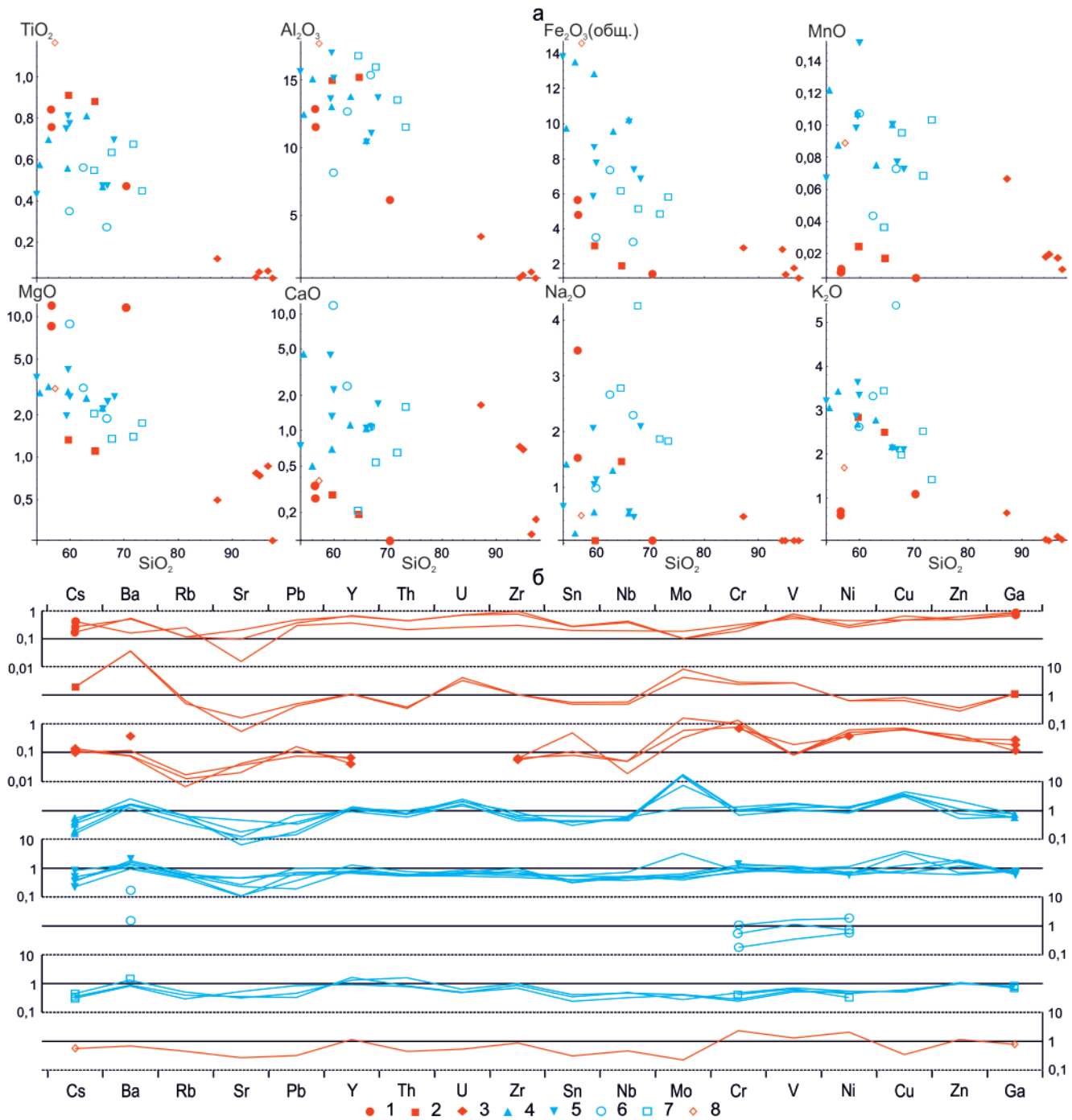
Углеродистые отложения Икат-Багдаринской зоны представлены углеродисто-кремнистыми сланцами с плейчатой, слоистой текстурами и лепидобластовой, гранобластовой структурами. Породы подвержены деформациям с перераспределением углеродистого вещества, пронизаны кварцевыми и кварц-сульфидными прожилками (рис. 2).

Среди углеродистых отложений, отобранных в верховьях и среднем течении р. Бол. Киро по содержанию породообразующих оксидов выделяются три группы с повышенным содержанием: 1) Si (лидиты), 2) Mg и P («магниевый» тип), 3) Al, Mn, K и Ba («бариевый» тип) (рис. 3). По

сравнению со сланцами р. Киро углеродистые отложения верховьев р. Илькохты, как правило, отличаются более высоким содержанием Fe, Mn и Ca. Выделены две группы по второстепенным элементам (U и Mo). Намечается относительное обогащение одной из них Fe и P («железистый тип» с содержанием U > 4 г/т), а другой – Ca («кальциевый» тип с U < 4 г/т). Содержание породообразующих оксидов в углеродистых отложениях на рр. Мариинка, Бугарихта и Амандак дополняют тренд распределения. Общей особенностью этих сланцев является более низкое содержание S.



**Рис. 2.** Фотографии шлифов: а – углеродисто-кремнистый сланец с вкрапленниками кварца и плагиоклаза (р. Киро), структура гранолепидобластовая, текстура слоистая и плейчатая; б – биотит-мусковит-кварцевый сланец с кварцевыми и кварц-пиритовыми прослоями (р. Илькохта) (поляризационный свет)

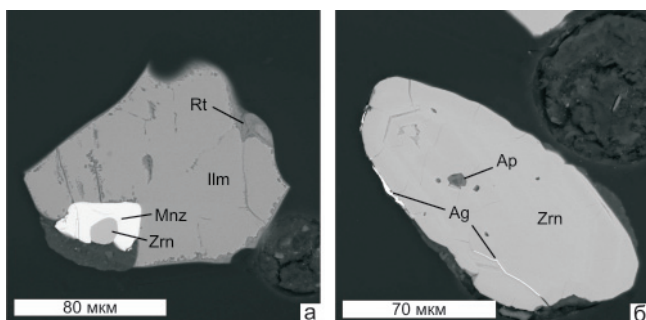


**Рис. 3.** Вариационные диаграммы содержания (мас. %) основных оксидов (а) и нормированные на PAAS (по [5]) составы (б) углеродистых отложений р. Киро (1 – «магниевого» типа, 2 – «бариевого» типа, 3 – лидиты), р. Илькохты (4 – «железистый» типа, 5 – «кальциевый» типа), р. Мариинка (6), р. Бугарикта (7) и р. Амандак (8)

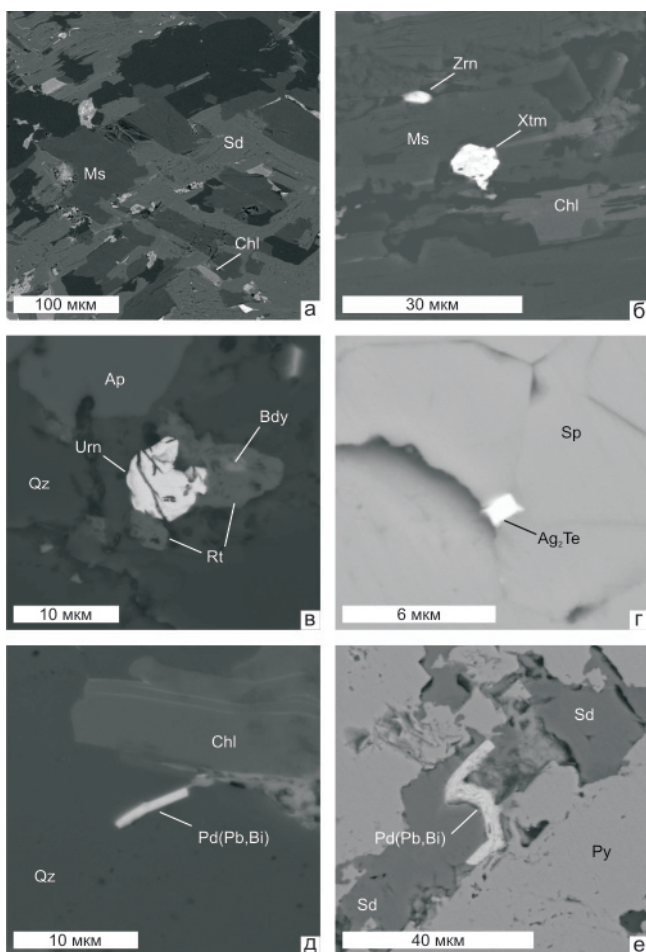
**Минералогические особенности черных сланцев**

Сланцы в районе р. Киро кварц-хлоритового состава с небольшим количеством мусковита и сидерита. В качестве акцессорных минералов постоянно отмечаются монацит, фтор-апатит, магнетита, ильменит, реже рутил, циркон, бадделеит, уранинит, касситерит. Распространены сульфидные минералы, главным образом пирит нескольких генераций, халькопирит, редко галенит. Благороднометаллическая минерализация представлена гесситом (Ag<sub>2</sub>Te) и самородным серебром.

Некоторые из перечисленных минералов имеют характерные особенности. Монацит, формирующий мелкие ксеноморфные самостоятельные выделения или образующий сростания с ильменитом, содержит в качестве изоморфных примесей значительное количество легких лантаноидов (La, Nd, Pr) (до 15 мас. %), Th (до 0,8 мас. %), иногда U (0,3 мас. %) (рис. 4). Цирконы слабо зональные с колебаниями содержания Hf (0,9–1,91 мас. %) в составе зон. Бадделеит (ZrO<sub>2</sub>) образует редкие самостоятельные зерна с примесью Hf (1,36 мас. %). Уранинит встречается крайне редко в виде микроразмерных одиночных зер-



**Рис. 4.** Снимки в обратно-рассеянных электронах (BSE-снимки): а – зерно ильменита (Ilm), замещаемого рутилом (Rt), по краю сростание монацита (Mnz) с включением циркона (Zrn); б – зерно циркона (Zrn) с включением апатита (Ap), по краю и микротрещинке развивается самородное серебро (Ag)



**Рис. 5.** BSE-снимки: а – структура упорядоченного замещения сидерита (Sd) вторичными мусковитом (Ms) и хлоритом (Chl); б – зерно ксенотима (Zrn) и циркона (Zrn) в хлорит-мусковитовом сланце; в – в кварце зерно апатита (Ap) и уранинита (Urn) в сростании с рутилом (Rt), в котором образуется бадделейт (Bdy); г – сфалерит (Sp) с включением мелкого зерна гессита  $Ag_2Te$ ; д – зерно полярита Pd(Pb,Bi) в кварце (Qz); е – зерно полярита Pd(Pb,Bi) в сидеритовом включении (Sd) в пирите (Py)

рен. Более поздний пирит никельсодержащий (до 1,8 мас. %), практически идиоморфный. Халькопирит встречается обычно в сростаниях с пиритом при замещении раннего пирита. Серебро выполняет трещинки в более ранних минералах.

Сланцы р. Илькохта обогащены карбонатом и слюдой. Основные породообразующие минералы – кварц, сидерит (изредка доломит), мусковит, хлорит (рис. 5). Акцессорные минералы более разнообразны по сравнению со сланцами р. Киро. Появляются ксенотим, гематит, магнетит, сфалерит, алтаит  $Pb_2Te$ , и крайне редкий полярит Pd(Pb,Bi). Монацит встречается реже с повышенными концентрациями легких лантаноидов (10–25 мас. %) и Th (до 1,4 мас. %). В состав ксенотима входят примеси группы тяжелых лантаноидов (до 8–10 мас. %) (Gd, Tb, Dy, Er, Yb и др.) и Th, U. Оба минерала образуют мелкие одиночные зерна в хлоритовых прожилках. Чаше встречаются бадделейт и уранинит в виде мелких (до 10 мкм) зерен в мусковите либо в сростаниях с фтор-апатитом. Доля сульфидных минералов в составе сланцев достигает 5–10 %. Гессит и алтаит образуют микронные идиоморфные выделения в сульфидных минералах. Полярит представленный «свинцовой» разновидностью, формирует пластинчатые зерна. По данным локального анализа эмпирические формулы минерала соответствуют  $Pd_{1,15}(Pb_{0,74}Bi_{0,11})$  и  $Pd_{0,84}(Pb_{0,95}Bi_{0,21})$ , что сопоставимо с литературными данными [3].

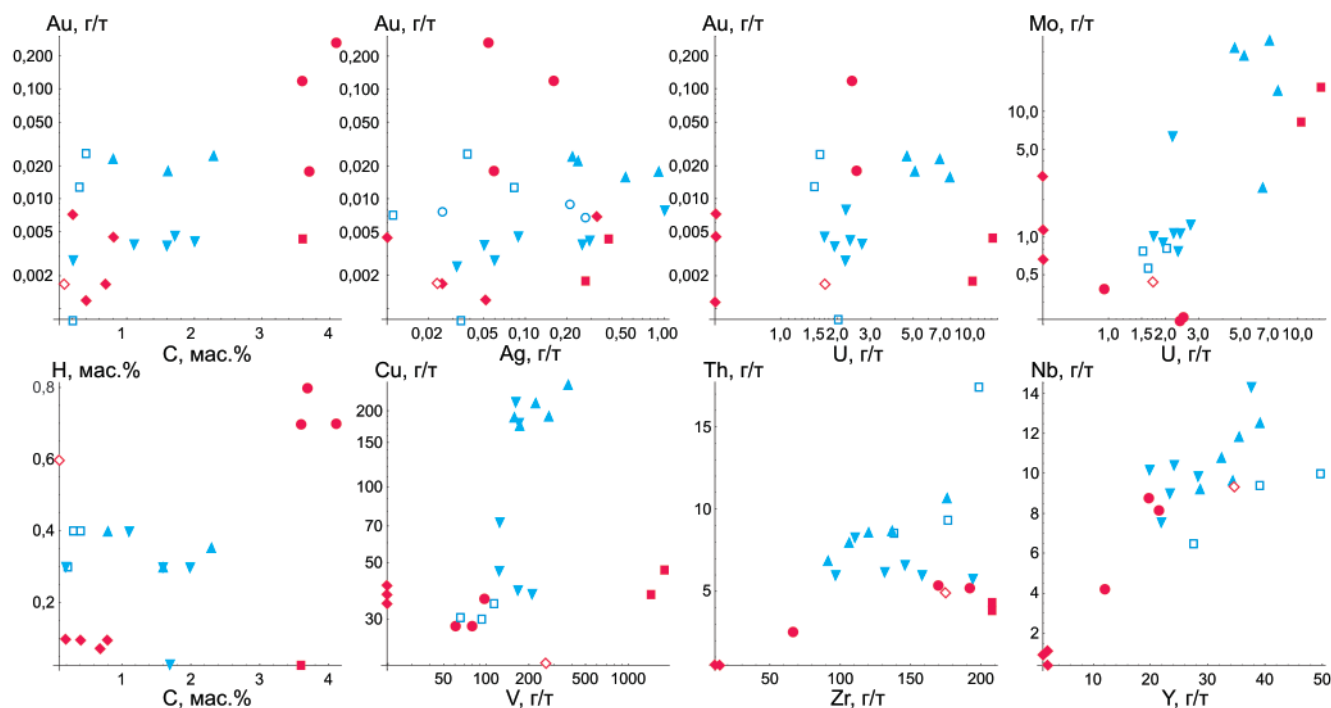
#### Геохимические особенности

Для района р. Киро наиболее высокие концентрации золота определены в «магнезиальном» типе углеродистых сланцев; «бариевый» тип содержит золото в количествах, близких к углеродистым отложениям из района р. Илькохта, а в лидитах совместно с образцом из района р. Амандак концентрации золота наиболее низкие (рис. 6). В углеродистых сланцах р. Илькохта содержание золота в «железистом» типе выше, чем в «кальциевом». Концентрация серебра в углеродистых отложениях повышена для части образцов района р. Илькохта и образцов «бариевого» типа р. Киро.

В углеродистых сланцев «бариевого» типа р. Киро содержание урана максимально, а для р. Илькохта бимодальность в распределении содержания урана позволила разделить их на две группы с нечетко выраженными различиями по концентрациям Fe, P, Ca, Au, Ag, Cu, Mo, Te, Pb, Th. В углеродистых сланцах р. Киро меньше Th, чем на р. Илькохта. По содержанию Y и Nb в углеродистых сланцах р. Киро «бариевый» тип преобладает над «магнезиальным», а р. Илькохта – «железистый» над «кальциевым».

#### Обсуждение результатов

На участке Киро выделены три типа углеродистых отложений, из которых «магниевого» тип и лидиты относятся к офиолитовой ассоциации. «Магниевого» тип представлен углеродисто-мусковит-хлоритовыми сланцами с максимальными содержаниями золота (до 0,27 г/т). Углеродистые кремни насыщены субмикронными ориентированными кристаллами мусковита. В целом, крем-



**Рис. 6.** Вариационные диаграммы содержания Au, C, Ag, U, Mo, H, Cu, V, Th, Zr, Nb, Y в углеродистых отложениях по данным атомно-абсорбционного, РФА-СИ и CHN-анализов  
Усл. обозн. см. на рис. 3

нистые отложения характерны для островодужных и окраинно-спрединговых зон, что соответствует выводам о геодинамической обстановке формирования шаманских офиолитов [4]. «Бариевый» тип углеродистых сланцев по содержаниям K, Na, Ni, U, Mo и других элементов сопоставляется с «железистым» типом углеродистых сланцев участка Илькохта. Наблюдаемые расхождения в макро- и микроэлементном составов «бариевого» и «железистого» типов, вероятно, обусловлены различием источников осадочного материала. Оценки возраста по соотношению Pb и U в уранинитах (локальный химический метод датирования) сланцев участков Киро и Илькохта сопоставимы – 496 и 542 млн лет для первых, 516 млн лет для вторых. Естественно, что данный возраст отвечает метаморфизму углеродистых отложений. Формирование отложений может быть связано с обстановкой задуговых бассейнов, учитывая нахождение отложений келянской островодужной ассоциации (усойская свита,  $837 \pm 11$  и  $789 \pm 8$  млн лет [4]).

В целом, углеродистые отложения р. Илькохта представлены углеродисто-карбонат-мусковитовыми сланцами, обогащенными U, Th, Y и Nb. Серебро в наибольшей степени концентрируется в углеродистых сланцах с повышенным содержанием урана. Присутствие в отложениях полярита не противоречит представлениям об обогащенности палладием и платиной офиолитов окраинных спрединговых зон [6].

*Работа выполнена при финансовой поддержке ИП СО РАН 89, 93, 94; ОНЗ 5.1; РФФИ 12-05-01164-а; Минобрнауки России.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Байкало-Витимская** складчатая система: строение и геодинамическая эволюция [Текст] / С. В. Руженцев, О. Р. Минина, Г. Е. Некрасов [и др.] // Геотектоника. – 2012. – № 2. – С. 3–28.
- Герциниды** Икат-Багдаринской зоны Забайкалья [Текст] / С. В. Руженцев, В. А. Аристов, О. Р. Минина [и др.] // Докл. РАН. – 2007. – Т. 417. № 2. – С. 225–228.
- Полярит**, Pd (Pb, Vi) новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд [Текст] / А. Д. Генкин, Т. Л. Евстигнеева, Н. В. Тронева, Л. Н. Вьяльсов // Зап. ВМО. – 1969. – Ч. 98, вып. 6. – С. 708–715.
- Состав**, U–Pb изотопный возраст (SHRIMP II) офиолитовой ассоциации Шаманской палеоспрединговой зоны и условия ее формирования (Северное Забайкалье) [Текст] / И. В. Гордиенко, А. Н. Булгатов, Н. И. Ласточкин, В. С. Ситникова // Докл. РАН. – 2009. – Т. 429, № 3. – С. 359–364.
- Тейлор, С. Р.** Континентальная кора: ее состав и эволюция [Текст] / С. Р. Тейлор, С. М. Мак-Леннан. – М.: Мир, 1986. – 364 с.
- Prichard, H. M.** A model to explain the occurrence of platinum- and palladium-rich ophiolite complexes [Text] / H. M. Prichard, R. A. Lord, C. R. Neary // J. Geol. Soc. – 1996. – Vol. 153. – P. 323–328.