

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕРОДИСТЫХ ТОЛЩ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БУРЕЙНСКОГО МАССИВА, НЕСУЩИХ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНУЮ МИНЕРАЛИЗАЦИЮ**

***В.Г. Невструев<sup>1</sup>, Н.В. Бердников<sup>1</sup>, В.П. Нечаев<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: [nevstruevvg@mail.ru](mailto:nevstruevvg@mail.ru)

<sup>2</sup>ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 680022

Поступила в редакцию 14 ноября 2012 г.

Приведена геохимическая характеристика углеродистых сланцев сутырской и кимканской толщ на востоке Буреинского массива (Дальний Восток России), в которых установлены признаки благороднометалльной (платиноиды и золото) минерализации. По химическому составу малоизмененные разновидности изученных сланцев близки к среднему сланцу верхних горизонтов земной коры (NASC), отличаясь от него пониженными концентрациями железа, марганца, магния, фосфора, кальция и REE. На дискриминационных диаграммах они показывают сходство с современными осадками, накапливающимися под влиянием терригенного стока с континента, а также надсубдукционного вулканизма и морских вод в сочетании, указывающем либо на глубоководный желоб у активной континентальной окраины, либо на центральную часть окраинного моря. Обогащенные железом осадочные породы в составе кимканской толщи, включая Кимканское железорудное месторождение, характеризуются положительной аномалией европия, что, вероятно, указывает на их рифтогенное происхождение.

Наложённые гидротермальные изменения пород сутырской толщи, включая серицитизацию, сульфидную вкрапленность и кварцевые прожилки, сопровождались выносом кремнезема, привнесением калия, легких и средних REE с формированием отчетливо выраженной отрицательной аномалии европия. Для осадков кимканской толщи наблюдается деплетирование щелочными элементами от малоизмененных к металлоносным, более существенное для калия.

Изотопный состав углерода сланцев сутырской толщи соответствует углероду биогенного происхождения ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  от -20.7 до -23.7 ‰). Для сланцев кимканской толщи характерен утяжеленный изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  от -15.6 до -19.1 ‰), что может свидетельствовать о привносе части углерода из глубинного источника или о его образовании в процессе декарбонатизации в присутствии железа.

**Ключевые слова:** геохимическая характеристика, благороднометалльная минерализация, золото, платиноиды, углеродистые сланцы, сутырская, кимканская толщи, Буреинский массив.

**ВВЕДЕНИЕ**

Исследования углеродистых терригенно-осадочных толщ на Дальнем Востоке России [3, 24, 25 и др.] показали, что с ними связан новый тип благороднометалльной (золото, платиноиды) минерализации. Его составляющие морфологически и, по-видимому, генетически неоднородны. С одной стороны, это относительно крупные (от сотен мкм до 0.5–2 мм) самородные выделения золота и платины, которые могут быть обнаружены и выделены с помощью традиционных гравитационных и

флотационных методов [1], с другой – микровключения (первые единицы–десятки мкм), содержащие переменные количества золота и платиноидов [4, 26]. Кроме того, смоделирована и экспериментально обоснована возможность присутствия благородных металлов в графите [15, 18, 19]. Поэтому углеродистые графитсодержащие породы требуют тщательного изучения с целью разработки способов выявления и локализации в них нового типа минерализации, который может стать одним из экономически значимых источников золота и платиноидов.

Эффективным методом изучения условий формирования углеродистых толщ является их геохимическая характеристика. Сопоставление содержаний главных породообразующих элементов в платиновых и золоторудных с платиной месторождениях, локализованных в углеродистых толщах, показало их существенное различие по сумме и отношению щелочных металлов. Относительное обогащение сланцев и руд платиной хорошо коррелируется с уменьшением общей щелочности пород ( $K_2O+Na_2O$  менее 4 %) и увеличением отношения  $K_2O/Na_2O$  (от 5 до 50) [16].

#### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Буреинский массив является частью раннепалеозойского орогенного пояса [6, 17, 23]. На севере он граничит с Монголо-Охотским орогенным поясом, на западе и в центральной части перекрыт отложениями мезозойско-кайнозойских терригенных впадин, на востоке по сложной системе глубинных разломов сочленяется с Сихотэ-Алинским орогенным поясом, а на юге примыкает к Ханкайскому массиву сходного геологического строения.

Ранее указанные массивы считались фрагментами древнего кратона. В последнее время эта концепция подверглась коренной ревизии [6, 17]. При этом, Цзямусы-Буреинский и Ханкайский массивы стали рассматриваться как фрагменты позднепротерозойских–раннепалеозойских аккреционных комплексов (террейнов), претерпевших в раннем палеозое интенсивный орогенез и глубокие метаморфические преобразования, достигающие до уровней амфиболитовой и гранулитовой фаций, с фрагментами зеленосланцевых пород в некоторых тектонических блоках. Самые крупные из них ранее считались внутрикратонными прогибами позднепротерозойско-кембрийского возраста. Кроме того, массивы инъецированы многочисленными гранитными интрузиями палеозойского и мезозойского возраста.

В составе Буреинского массива выделяются Туранский и Малохинганский блоки, разделенные Хинганским разломом. По данным гравиметрии и сейсмометрии, в южной части района исследования фиксируется пограничная ступень, разделяющая два суперблока – континентальный, характеризующийся земной корой нормальной мощности (35–40 км) и скоростью сейсмических волн 6.5 км/с, и переходный, с более тонкой земной корой (25–35 км) и скоростью сейсмических волн 6.2–6.3 км/с [8, 14]. В соответствии с этими данными, сутырская толща вместе с образованиями Туранского блока и Мельгинского прогиба относится к континентальному, а кимканская толща в составе отложений хинганской серии Кимканско-

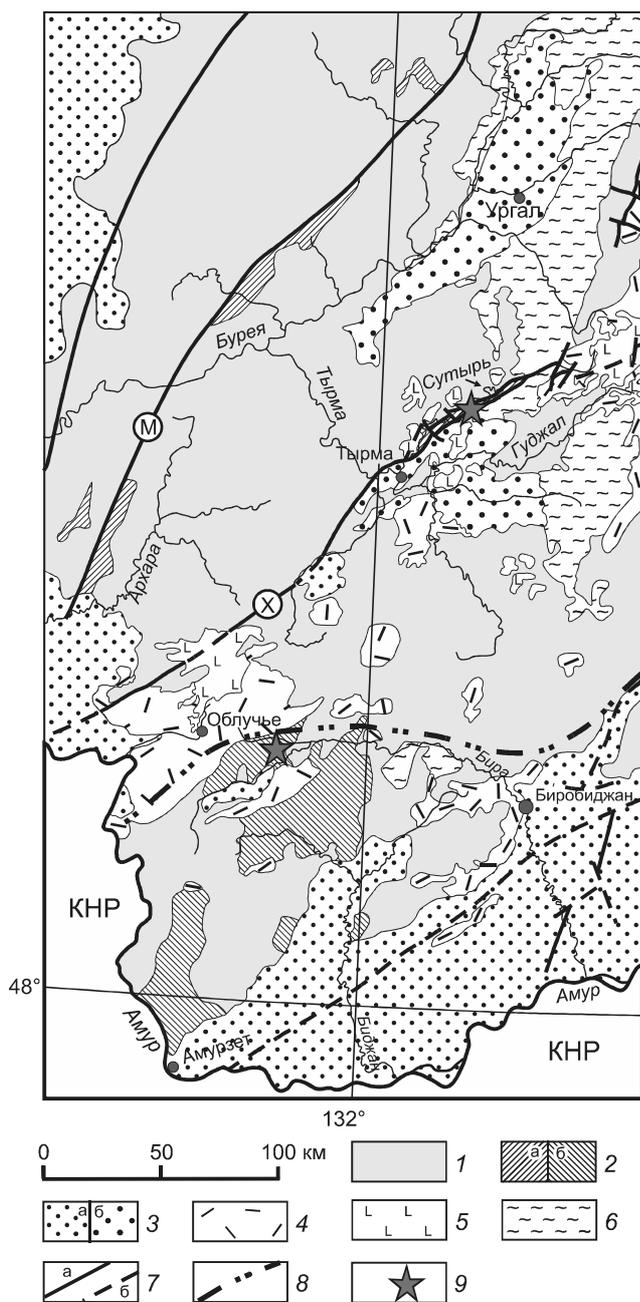
го прогиба – к переходному суперблоку земной коры (рис. 1).

Следует отметить, что в изученных местах обе толщи находятся в зоне влияния крупных нарушений регионального масштаба. Одно из них (Хинганский разлом) хорошо выражено на геологических картах, а второе (упомянутая ступень) выявлено глубинной геофизикой. Приуроченность минерализации к таким структурообразующим элементам наталкивает на мысль о ее связи с каналами циркуляции флюидов и, возможно, глубинными источниками вещества.

Породы зеленосланцевой и амфиболитовой фаций метаморфизма образовались по кремнисто-терригенным толщам. Предположительно пелагические отложения (кремни, яшмы, фтаниты, железо-марганцевые образования, известняки) залегают среди терригенных песчано-сланцевых комплексов на разных стратиграфических уровнях, образуя изолированные тела мощностью от нескольких метров до нескольких километров [7].

**Сутырская толща** слагает протяженный (до 75 км) и узкий (до 5 км) тектонический блок в зоне Хинганского разлома, к которой приурочена долина р. Сутырь. Традиционно толща относится к Малохинганскому блоку Буреинского массива, хотя сходство ее разреза со свитами Туранского блока и расположение вблизи его границы не исключают трактовки ее структуры как тектонической просадки Туранского блока. Возраст толщи дискусионен и, по мнению ряда исследователей, сопоставим с возрастом кимканской толщи, в которой установлена нижнекембрийская фауна. В составе толщи ведущая роль принадлежит серицит-кварц-графитовым сланцам, среди которых встречаются мраморы и кварциты (В.И. Сухов, 1962 г.; П.П. Максимов, 1981 г.), а также пласто- и линзообразные тела углеродистых сланцев мощностью от 4 до 150 м и протяженностью до 900 м с содержанием углеродистого материала на отдельных участках до 80 %. Общая мощность толщи оценена в 1500 м.

Текстура углеродистых сланцев толщи определяется чередованием изогнутых выклинивающихся полос толщиной 0.02–0.3 мм, сложенных переменными количествами углеродистого вещества (УВ), кварца и серицита. УВ представлено микрозернистым до скрытокристаллического графитом, его количество варьирует от одного до 50 процентов. Кварц микрозернистый (0.01–0.05 мм) с извилистыми очертаниями, волнистым погасанием. Серицит (серицитомусковит) чешуйчатый с размером зерен 0.01–0.1 мм. Рудные минералы представлены единичными вкраплениями рутила, гематита, магнетита, редко пирита и пирротина.



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта восточной части Буреинского массива (по схеме геолого-структурного районирования Приамурья, западного Приохотья, о. Сахалин и прилегающих участков дна Охотского и Японского морей м-ба 1:3 000 000. Отв. исп. Г.В. Роганов, 2008 г.).

1 – кристаллический фундамент; 2 – фрагменты ранне-позднекембрийских прогибов: а – Мельгинского R<sub>3</sub>, E<sub>1</sub>, б – Кимканского V-E<sub>1</sub>; 3 – континентальные впадины: а – кайнозойские, б – мезозойские и мезозойско-кайнозойские; 4 – вулканические прогибы мезозойские и мезозойско-кайнозойские; 5 – поднятия с обнаженными вулканогенными базальными горизонтами чехла глубоководных впадин и породами фундамента; 6 – мезозойские наложенные прогибы; 7 – разломы: а – зафиксированные, б – предполагаемые, М – Мельгинский, X – Хинганский; 8 – пограничная гравитационная ступень, по [8, 14]; 9 – места отбора проб.

На отдельных участках породы толщи подверглись контактовому воздействию палеозойских гранитоидных интрузий. В результате сформировались двуслюдяные кристаллические сланцы с гранатом, силлиманитом и андалузитом.

Наложённые изменения углеродистых сланцев проявлены в развитии катаклаза, тонкопрожилкового окварцевания и незначительной сульфидизации (пирит, халькопирит). Доля вторичных минералов обычно не превышает первых процентов, но на отдельных участках в местах влияния даек среднего состава и гранитоидных интрузий степень окварцевания и сульфидизации увеличивается и породы превращаются в кварц-сульфидные метасоматиты. Углеродистое вещество при этом перераспределяется, концентрируясь по краям линзовидных обособлений кварца.

**Кимканская толща** завершает разрез венд-нижнекембрийской хинганской серии Кимканского прогиба. Она залегает на известковистой лондоковской свите, в которой установлена кембрийская фауна. В составе толщи распространены алевролиты, углеродистые глинистые сланцы, местами превращенные в углеродистые филлиты. Встречаются слюдяно-кварцевые сланцы, мраморы, кварциты и пачки высокоуглеродистых сланцев (2.8–25.7 % C<sub>орг</sub>) мощностью от 30 до 100 м и протяженностью до 2500 м. В связи с формированием ордовикских интрузий гранитов породы толщи контактово метаморфизованы в условиях амфибол- и мусковит-роговиковой фаций. Ее суммарная мощность около 1000 м. В единичных пробах углеродистых сланцев кимканской толщи отмечены повышенные содержания платины (до 10 г/т) и палладия (до 0.6 г/т) [10].

Опробование проведено в пределах рудного поля Кимканского железорудного месторождения, приуроченного к нижним горизонтам толщи. Изучались коренные обнажения и горные выработки. Пробы отобраны преимущественно из углеродистых сланцев, которые содержат переменные концентрации минералов железа, в основном магнетита и гематита. Структура сланцев лепидогранобластовая, текстура параллельно-сланцеватая. Породы состоят преимущественно из микрозернистого (0.02–0.05 мм) кварца, чешуйчатого (0.02–0.05 мм) серицита и очень тонкозернистого изогнуто-чешуйчатого (менее 0.01 мм) графита. Серицит и графит распределены среди преобладающего кварца равномерно, нередко группируясь в узкие полосы и линзы. В виде единичных зерен встречаются магнетит, ильменит, турмалин, рутил, пирит, пирротин. Вторичные минералы представлены прожилковым кварцем и лимонитом.

Сланцы пересечены беспорядочными прожилками (0.05–1.0 мм) деформированного микро-мелкозернистого кварца и слабо катаклазированы с образова-

нием извилистых зон перетертого материала. Лимонит псевдоморфно замещает кубические кристаллы рудного минерала.

#### МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ

Петрогенные элементы определялись методом РФА в лабораториях ИТиГ ДВО РАН (Хабаровск, аналитик Л.М. Ильин), СВКНИИ ДВО РАН (Магадан, аналитик В.И. Мануилова), НИГИ (Хайдерабад, Индия, рук. В. Баларам). Анализ редкоземельных элементов проводился методом ICP-MS в ИТиГ ДВО РАН (аналитик Д.В. Авдеев). Изотопный анализ с определением содержания углерода осуществлен в ДВГИ ДВО РАН (Владивосток, аналитики М.Г. Блохин и М.Н. Безроднова).

Исследования форм и количеств выделений благородных металлов производились в ИТиГ ДВО РАН с помощью растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа (РЭМ-РСМА) на микроскопе EVO 40HV (Carl Zeiss, Германия), оснащенный энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания). Непосредственным объектом исследования являлись полированные аншлифы и сколки пород толщиной 2–5 мм и площадью около 1 см<sup>2</sup> (аналитики Н.С. Коновалова, В.С. Комарова).

При исследовании распределения REE нормирование их концентраций производилось по NASC [29]. Вычисление аномалий европия и церия осуществлялось с использованием концентраций соседних элементов:  $Eu^* = Eu_n / (Sm_n \cdot Gd_n)^{1/2}$ ,  $Ce^* = Ce_n / (La_n \cdot Nd_n)^{1/2}$ . Для оценки распределения использованы суммы и соотношения легких (LREE) (La–Pr), средних (MREE) (Nd–Dy) и тяжелых (HREE) (Ho–Lu) лантаноидов. В качестве дополнительных характеристик использовались парные отношения REE.

#### ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Геохимическая характеристика изученных толщ построена на средних содержаниях редких, редкоземельных и рассеянных элементов в выборках, сформированных как из проб по практически малоизмененным породам, так и из пород, подвергшихся гидротермальным изменениям. Для кимканской толщи также составлена выборка из металлоносных разновидностей углеродистых сланцев.

В таблицах 1–3 приведены средние значения концентраций и некоторые отношения петрогенных, редких, рассеянных и редкоземельных элементов в выборках. Первая выборка (1) объединяет малоизмененные метаморфические сланцы сутырской толщи

**Таблица 1. Средние химические составы пород сутырской и кимканской толщ (породообразующие оксиды, мас. %).**

Оксиды	Сутырская		Кимканская		
	1(5)	2(8)	3(6)	4(4)	5(4)
SiO <sub>2</sub>	73.47	63.53	73.91	67.28	60.71
TiO <sub>2</sub>	0.68	0.89	0.83	0.71	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.92	22.00	16.08	17.33	2.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.61	6.71	2.43	5.82	23.27
MnO	0.01	0.09	0.02	0.07	0.27
MgO	1.05	1.45	1.20	0.93	4.85
CaO	0.09	0.11	0.05	0.43	2.90
Na <sub>2</sub> O	1.10	0.49	0.35	0.55	0.07
K <sub>2</sub> O	3.27	5.03	4.68	3.03	0.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.07	0.05	0.14	0.20
Fe/Mn	55.09	67.34	146.41	97.34	271.50
Ti/Zr	27.16	40.42	31.23	27.11	38.50
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	4.37	5.52	5.03	3.58	0.26
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	3.27	10.27	13.36	5.55	2.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	17.50	24.70	19.40	24.40	9.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.53	26.71	18.51	23.14	25.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.95	0.82	0.87	0.75	0.08

*Примечание.* Здесь и в табл. 2, 3: 1–5 – выборки (в скобках количество образцов): малоизмененные (1) и измененные (2) углеродистые сланцы сутырской толщи; 3 – малоизмененные (3) и измененные (4) углеродистые сланцы кимканской толщи; 5 – железные руды Кимканского месторождения.

**Таблица 2. Средние химические составы пород сутырской и кимканской толщ (микроэлементы, г/т).**

Элемент	Сутырская		Кимканская		
	1(5)	2(8)	3(6)	4(4)	5(4)
Sc	19.39	2.38	16.20	22.62	5.08
V	653.50	27.67	448.66	185.28	68.90
Cr	261.63	73.26	160.68	140.51	60.62
Co	1.61	4.08	1.74	13.33	8.20
Ni	32.01	65.70	7.39	70.33	36.31
Cu	118.43	39.39	25.00	68.86	54.50
Zn	74.15	45.27	57.80	66.18	71.36
Ga	19.53	1.84	22.20	21.47	4.99
Rb	100.60	8.79	130.81	85.10	16.76
Sr	91.18	424.11	71.49	245.68	45.81
Y	31.62	5.53	11.96	24.61	16.48
Zr	182.69	28.56	159.14	169.22	44.97
Nb	11.96	1.04	3.58	13.50	4.01
Cs	4.60	0.65	4.60	5.02	27.38
Ba	10261.49	177.94	1160.22	1056.82	378.21
Hf	4.93	0.73	4.09	4.62	2.15
Ta	0.77	0.07	-	0.55	0.41
Pb	43.49	58.41	20.98	33.99	23.95
Th	10.24	1.08	9.84	11.15	2.29
U	8.66	1.76	4.18	5.46	0.98
Th/Sc	0.53	0.75	0.60	0.49	0.45
Zr/Sc	9.42	12.00	9.82	7.50	8.85

Таблица 3. Средние химические составы пород сутырской и кимканской толщ (редкоземельные элементы, г/т).

Элемент	Сутырская		Кимканская		
	1(5)	2(8)	3(6)	4(4)	5(4)
Y	4.59	15.63	11.96	24.61	8.99
La	3.34	46.45	13.84	41.46	4.17
Ce	6.10	87.77	29.75	63.14	9.11
Pr	0.76	10.98	3.35	9.68	0.68
Nd	3.29	44.67	13.79	36.96	3.89
Sm	0.79	7.94	3.11	7.19	0.81
Eu	0.18	1.37	0.62	1.65	0.25
Gd	0.91	7.61	3.45	5.27	0.89
Tb	0.13	0.79	0.44	0.96	0.12
Dy	0.86	3.93	2.48	5.04	1.15
Ho	0.18	0.64	0.46	0.91	0.26
Er	0.64	2.00	1.55	2.39	0.70
Tm	0.10	0.25	0.23	0.38	0.14
Yb	0.84	1.86	1.95	2.42	0.88
Lu	0.14	0.28	0.32	0.37	0.15
Ce*	0.11	1.27	0.45	1.27	0.40
Eu*	0.15	1.21	0.57	1.07	0.44
Ce/Ce*	0.83	0.89	0.99	0.74	0.97
Eu/Eu*	0.96	0.81	0.87	1.22	1.33
La <sub>n</sub> /Ce <sub>n</sub>	1.18	1.12	1.00	1.42	1.05
Ce <sub>n</sub> */Eu <sub>n</sub> *	0.75	1.05	0.79	1.19	0.9
Y/Ho	27.08	24.25	26.00	26.93	30.06
La/Yb	4.18	31.14	7.20	19.16	6.87
La/Sm	4.53	5.53	4.37	5.24	5.03
Gd/Yb	1.12	5.44	1.80	2.36	1.34
(Gd/Yb) <sub>n</sub>	0.60	2.8	1.0	1.23	0.57
La/Ce	0.56	0.54	0.46	0.66	0.52
∑REE+Y	22.85	232.17	87.3	202.43	32.19
LREE/HREE	5.59	36.65	10.62	19.41	8.79
∑REE <sub>n</sub>	1.84	11.02	6.03	14.83	5.55
∑LREE <sub>n</sub>	0.30	3.61	1.34	4.04	1.16
∑MREE <sub>n</sub>	0.85	6.00	3.06	8.53	2.82
∑HREE <sub>n</sub>	0.69	1.41	1.63	2.27	1.57

низкой степени (до зеленосланцевой фации) регионального метаморфизма, иногда со слабыми наложенными изменениями (доля вторичных минералов менее 1 %). Вторая (2) характеризует гидротермально измененные породы этой толщи, подвергшиеся катаклазу и брекчированию с развитием серицитамусковита, местами биотита и сульфидов. Общее количество поздних гидротермальных минералов достигает 20–30 %. Углеродистые сланцы низов разреза кимканской толщи охарактеризованы тремя выборками. Это малоизмененные углеродистые сланцы (3), которые по основным петрографическим характеристикам сходны с углеродистыми сланцами сутырской толщи. Четвертая выборка (4) объединяет их измененные аналоги. В пятую выборку (5) входят металлоносные осадки, в том числе магнетит-гематитовые руды Кимканского месторождения.

### Петрохимия

В малоизмененных углеродистых сланцах сутырской и кимканской толщ тренды распределения главных породообразующих элементов в целом сходны (рис. 2). От NASC они отличаются пониженными концентрациями железа, марганца, магния, фосфора и, особенно, кальция. Соотношение щелочей в этих породах принципиально различное. В сланцах сутырской толщи содержание натрия соответствует NASC, а калия – несколько ниже стандарта. В сланцах кимканской толщи наблюдается резкий дефицит натрия и незначительный избыток калия. Отрицательная аномалия CaO в химических составах толщ может свидетельствовать либо о постседиментационном выщелачивании, либо о формировании осадков ниже глубины карбонатной компенсации.

Измененные сланцы обеих толщ отличаются от малоизмененных пониженным содержанием кремнезема и повышенным – глинозема, а также увеличенным до уровня NASC содержанием железа и

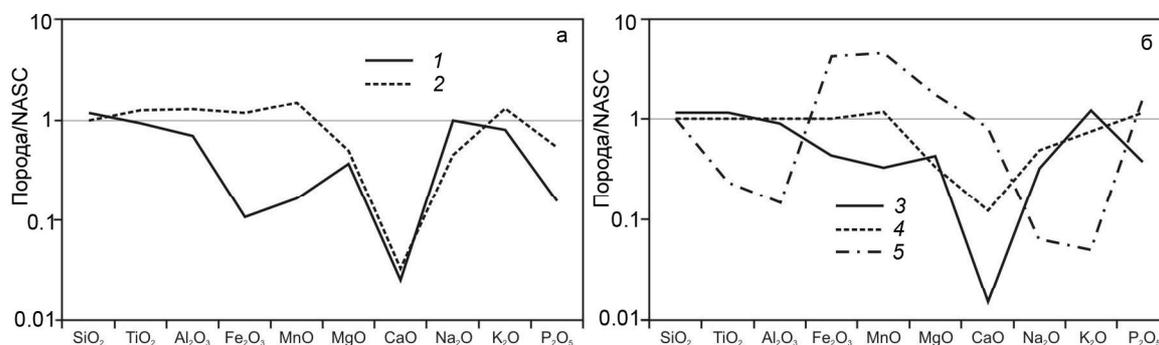


Рис. 2. Распределение главных породообразующих элементов в углеродистых сланцах толщ: а – сутырской, б – кимканской.

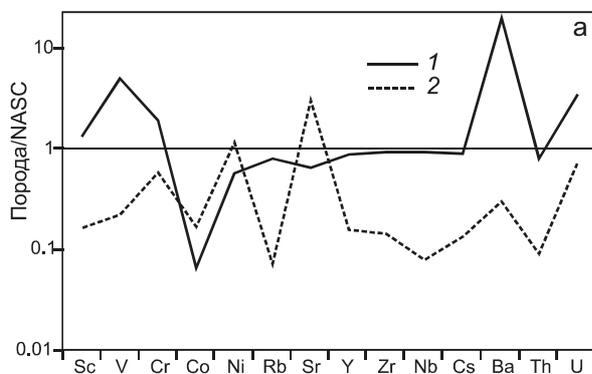
Номера у линий здесь и на рис. 4, 5, 7 соответствуют номерам выборок в табл. 1–3.

марганца при сохраняющемся дефиците кальция. Гидротермально измененные породы сутырской толщи характеризуются относительно малоизмененных разновидностей пониженным более чем вдвое содержанием натрия и повышенным содержанием калия. Для измененных пород низов кимканской толщи относительно малоизмененных аналогов характерно существенное обогащение натрием и обеднение калием. Измененные сланцы сутырской толщи фиксируют пониженные, а кимканской – повышенные относительно NASC концентрации фосфора.

Металлоносные осадки Кимканского месторождения относительно вмещающих сланцев обогащены железом, марганцем, магнием и кремнеземом при аномально низком содержании глинозема. Содержания кальция близки к NASC и повышены более чем на порядок относительно отрицательной аномалии этого элемента в малоизмененных сланцах. По содержанию кремнезема и фосфора они практически идентичны вмещающим сланцам и NASC, но существенно обеднены титаном, натрием и калием. Заметное обеднение рудоносных пород месторождения щелочными металлами ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1\%$ ) сближает их с образованиями, вмещающими платиноносные месторождения и проявления других провинций мира [16]. Низкие концентрации титана и алюминия при относительно близких концентрациях кремния и фосфора исключают предположение о снижении их концентраций за счет «разубоживания», которое в этом случае должно отразиться и на содержаниях прочих элементов. Наиболее вероятно предположение о гидротермально-осадочной природе этих отложений, некоторые аспекты которой рассмотрены ниже.

### Микроэлементы

Малоизмененные разновидности углеродистых сланцев рассматриваемых толщ (рис. 3) относительно



NASC обогащены Cr, V, Sc, Ba, U и обеднены Co, Ni, Rb, Sr, незначительно Th. Сланцы кимканской толщи, кроме того, обеднены Y, Zr, Nb. В сланцах обеих толщ при одинаковой общей тенденции в распределении микроэлементов наблюдаются отчетливые различия в соотношениях пар дефицитных элементов. В сутырской толще отношение  $\text{Ni}/\text{Co} = 19.9$  существенно превышает таковое в кимканской (1.8). Высокая концентрация бария в сланцах сутырской толщи обуславливает почти семикратную разницу в отношениях Ba/Sr.

Вторичные изменения сланцев сутырской толщи сопровождались уменьшением концентраций большинства микроэлементов. Повышенные относительно исходных пород концентрации установлены только для Co в 2.5, Ni и Sr – в 4.7 раза. Уменьшение почти на порядок концентраций Ba при увеличении содержания Sr привело к уменьшению их отношения до 0.41. Соотношения прочих микроэлементов изменились незначительно.

В измененных сланцах кимканской толщи относительно их малоизмененных аналогов наблюдается повышение концентраций Co и Ni (до 10 раз), Y – в два, Sr и Nb – в 3.5 раза.

В металлоносных осадках кимканской толщи, по сравнению с малоизмененными сланцами, характерны повышенные концентрации Co, Ni, Cs (в 5 раз) и Y (в 1.37 раза). Пониженные содержания Sc, V, Cr, Rb, Zr, Sr, Th, U установлены как в малоизмененных, так и в измененных сланцах. Резко пониженные (около порядка) концентрации рубидия отчетливо коррелируют с низкими содержаниями калия, содержание которого в 25 раз меньше, чем в малоизмененных сланцах (табл. 2).

### Редкоземельные элементы

Эффективность использования закономерностей распределения редкоземельных элементов для рекон-

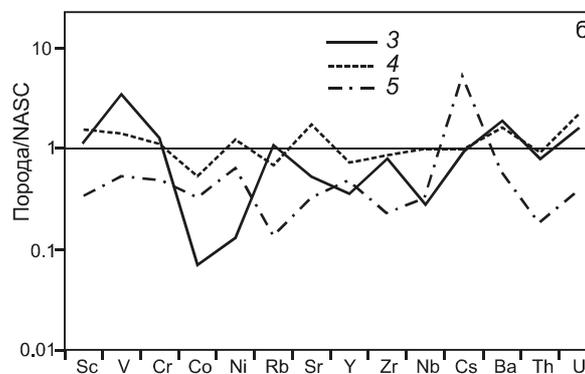


Рис. 3. Распределение микроэлементов в углеродистых сланцах сутырской (а) и кимканской (б) толщ.

Условные обозначения см. на рис. 2.

струкции обстановок осадконакопления и роли гидротермального воздействия при формировании рудной минерализации показана для золоторудных месторождений [5, 22, 31], углеродистых сланцев Воронежского кристаллического массива [13, 20, 21, 27] и ряда других объектов. Особое внимание исследователи уделяют поведению европия и церия, переменная валентность которых является чувствительным методом оценки окислительно-восстановительных условий минералообразования.

Малоизмененные углеродистые сланцы в обеих толщах характеризуются пониженным относительно NASC содержанием REE с некоторым обогащением их тяжелыми компонентами и слабой отрицательной аномалией Eu (рис. 4). Для них характерно слабое фракционирование REE. Отношение La/Yb варьирует от 2.4 до 5.2 при среднем 4.18 для сутырских и от 6.3 до 10.3 при среднем 7.2 для кимканских сланцев, что ниже стандартных (9.94 для NASC [29]).

Распределение REE в малоизмененных сланцах сутырской толщи характеризуется положительным наклоном графика при практическом отсутствии аномалий европия ( $Eu_n/Eu_n^* = 0.96$ ). Наблюдается слабая отрицательная аномалия церия ( $Ce_n/Ce_n^* = 0.83$ ). Сумма REE составляет 22.85 г/т при  $LREE_n/HREE_n = 0.43$ . Измененные сланцы сутырской толщи по сравнению с малоизмененными разновидностями содержат повышенные количества легких и средних REE, что приводит к увеличению их общей суммы до 232.17 г/т при  $LREE_n/HREE_n = 2.56$ . Отношение La/Yb увеличено в 7.5, а Gd/Yb – в 5 раз, что свидетельствует о том, что гидротермальные изменения сопровождалось привнесением преимущественно легких и средних лантаноидов. Наблюдается отчетливая отрицательная аномалия европия ( $Eu_n/Eu_n^* = 0.8$ ) при слабой отрицательной аномалии церия ( $Ce_n/Ce_n^* = 0.89$ ).

Малоизмененные углеродистые сланцы кимканской толщи имеют низкую сумму лантаноидов ( $\Sigma REE = 87.3$  г/т) при небольшом положительном наклоне графика распределения ( $LREE_n/HREE_n = 0.82$ ). Отмечается слабая отрицательная аномалия европия ( $Eu_n/Eu_n^* = 0.87$ ) и отсутствие аномалии церия. Фиксируются повышенные концентрации гадолиния и пониженные диспрозия и эрбия. Измененные углеродистые сланцы кимканской толщи отличаются пониженными относительно NASC концентрациями тяжелых, близкими к стандарту – легких и повышенными – средних REE при общей сумме 202.43 г/т, что существенно выше соответствующего значения NASC. Соотношения  $LREE_n/HREE_n = 1.8$ , La/Yb = 19.16 и Gd/Yb = 2.36. Европий имеет положительную аномалию ( $Eu_n/Eu_n^* = 1.22$ ) при отрицательной аномалии церия ( $Ce_n/Ce_n^* = 0.74$ ).

В металлоносных образованиях кимканской толщи сумма REE составляет 32.19 г/т при  $LREE_n/HREE_n = 0.53$ , La/Yb = 6.87 и Gd/Yb = 1.34. Отмечается положительная аномалия европия ( $Eu_n/Eu_n^* = 1.33$ ) и отсутствие аномалии церия ( $Ce_n/Ce_n^* = 1.04$ ). Образование положительной аномалии европия в морских глубоководных отложениях интерпретируется как привнос REE в осадки гидротермальным флюидом [9].

### Изотопия углерода

Углерод сланцев изученных толщ различается по изотопному составу. Для сланцев сутырской толщи характерны значения  $\delta^{13}C_{VPDB}$  от -20.7 до -23.7 ‰, типичные для углерода биогенного происхождения. Отсутствие различий в изотопии углерода измененных и малоизмененных сланцев сутырской толщи подтверждают данные петрографических исследований о том, что при контактовых и вторичных гидротермальных процессах если и было движение углерода в толще, то

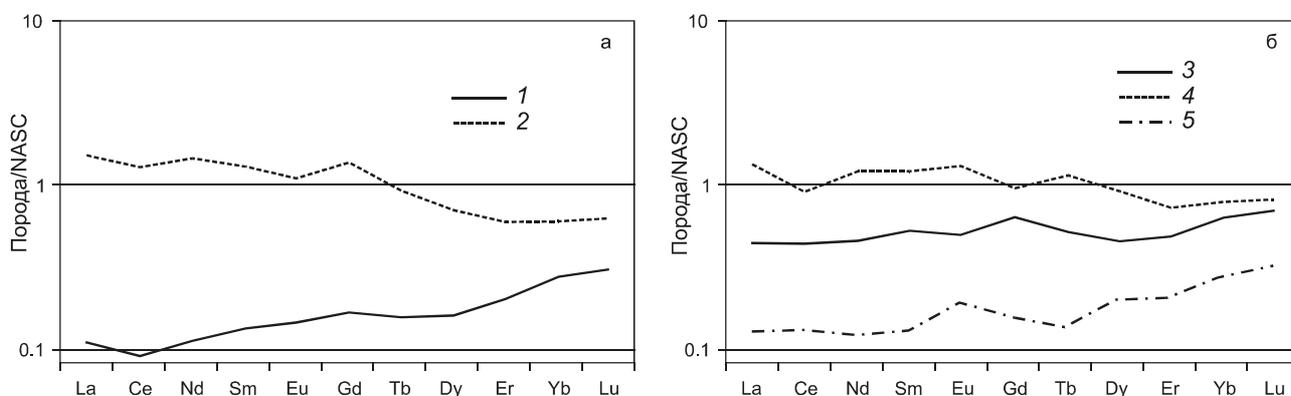


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов в углеродистых сланцах сутырской (а) и кимканской (б) толщ. Условные обозначения см. на рис. 2.

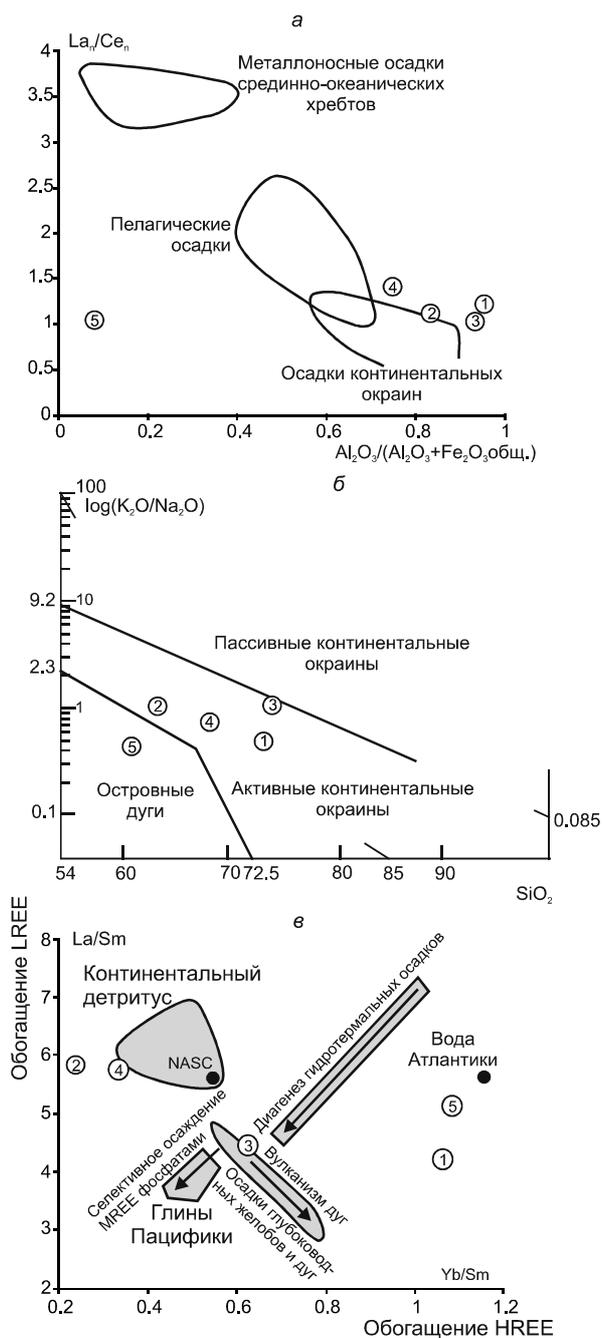


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы

$La_n/Ce_n - Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_{3общ.})$ , по [33], (а),  $(K_2O/Na_2O) - SiO_2$ , по [35], (б) и  $La/Sm - Yb/Sm$ , по [34], (в).

Цифры в кружках соответствуют номерам выборок в табл. 1, 3.

оно носило характер перераспределения, без его существенного привноса из глубинного источника.

Сланцы кимканской толщи в основном имеют утяжеленный изотопный состав углерода ( $\delta^{13}C_{VPDB} = -15.6 \div -19.1$  ‰). При этом наблюдается тенденция к утяжелению углерода от малоизмененных сланцев к измененным (сульфидизированным

и металлоносным). В одной пробе углеродистого сланца с обильным пиритом зафиксировано наиболее низкое значение  $\delta^{13}C_{VPDB} = -9.5$  ‰. Утяжеленный изотопный состав углерода в породах кимканской толщи, по-видимому, является следствием привноса мантийного углерода при формировании металлоносных осадков. Дополнительное вторичное обогащение тяжелым углеродом в процессе декарбонатизации в присутствии железа также вероятно.

## УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

### Геодинамическая позиция

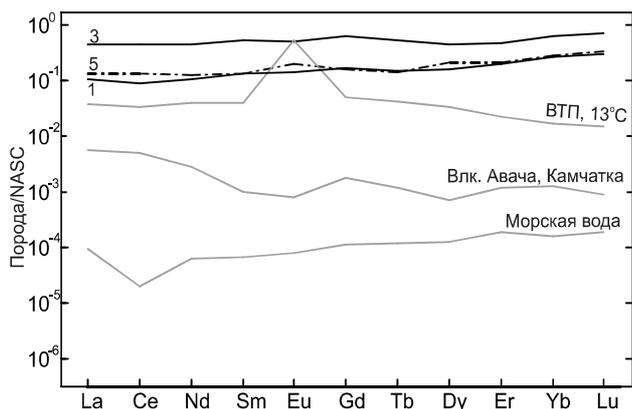
Для оценки условий формирования исходных осадков использованы дискриминационные диаграммы  $La_n/Ce_n - Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_{3общ.})$  [33],  $\log(K_2O/Na_2O) - SiO_2$  [35] и  $La/Sm - Yb/Sm$  [34] (рис. 5).

На диаграмме рис. 5а фигуративные точки сланцев сутырской и кимканской толщ тяготеют к полям континентальных окраин. Согласно рис. 5 б, в формирование осадков обеих толщ происходило в условиях активной континентальной окраины при влиянии надсубдукционного вулканизма и гидротермальной деятельности (повышенные значения HREE), а также морской воды (слабая отрицательная аномалия Ce).

Распределение и соотношения петрогенных элементов и REE свидетельствуют о формировании изученных отложений сутырской толщи в гемипелагической обстановке, возможно, в надсубдукционном желобе. Именно здесь накопление преимущественно тяжелых лантаноидов, связанное с сильным влиянием надсубдукционного вулканизма и морской воды (рис. 5 в) [2, 28, 34], может сочетаться с привносом продуктов размыва континента, отраженном на графиках низкими значениями отношения  $La/Ce$  и высокими  $Al/Fe$ . Впрочем, такие же условия могут создаться и в центральных частях окраинных морей.

Осадки кимканской толщи также, вероятно, являются гемипелагическими, но отложенными под большим влиянием терригенного сноса (выше на приконтинентальном склоне желоба или ближе к континентальному склону окраинного моря). Кроме того, принимая во внимание утяжеленный изотопный состав углерода и расположение изученных пород в зоне «пограничной гравитационной ступени» (рис. 1), можно предположить, что в их образовании участвовал привнос глубинного материала.

Малоизмененные сланцы обеих толщ заметно отличаются друг от друга по сумме редкоземельных элементов (в кимканских породах их больше), но близки по их распределению и характеру отличия от среднестатистического терригенного сланца (NASC)



**Рис. 6.** Распределение REE малоизмененных пород сутырской и кимканской толщ в сравнении с отложениями высокотемпературных эксгалаций Камчатки, Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) и морской воды, по [11, 12].

Номера линий соответствуют номерам выборок в табл. 3.

(рис. 6). Это, по-видимому, означает, что основным источником терригенного материала для обеих толщ был один и тот же или очень сходный. Вторичные процессы привели к общему обогащению пород REE, исключая европий, который показывает на спайдер-диаграммах отрицательную аномалию (рис. 4 б). При этом гидротермальные изменения делают отличия толщ между собой и NASC совсем малозначимыми. Отсюда напрашивается вывод, что эти изменения в значительной мере отражают процесс перераспределения элементов в верхней части континентальной коры при складчатости, магматизме и метаморфизме.

В пробах железистых сланцев кимканской толщи установлены низкие содержания глинозема, составляющие менее 1 %. Близкие значения  $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3^{общ.})$  и  $SiO_2 / Al_2O_3$  имеют рудоносные интервалы Тим-Ястребовской рифтогенной структуры с установленной высокой платиноносностью, а также никель-молибденовые с благородными металлами месторождения КНР в углеродистых сланцах [10]. Аналогичные характеристики типичны для подавляющего большинства металлоносных осадков современных срединно-океанических хребтов и зон субдукции. При этом показательно, что кимканские руды имеют положительную европиевую аномалию (рис. 4), которая может служить для отличия гидротермальных отложений, проявляющихся в связи с офиолитами рифтовых зон океанов, от надсубдукционных, связанных с более кислыми магмами [9, 12, 37]. В последних (на рис. 6 они представлены конденсатом фумарол камчат-

ского вулкана Авача) европиевая аномалия обычно имеет отрицательный характер. Поэтому наиболее вероятное место образования кимканских отложений – это зона океанического спрединга не вдалеке от активной континентальной окраины или рифт в тылу вулканической дуги.

Высказанные выше предположения не вписываются в старые «фиксистские» представления о строении и истории региона и, в общем, соответствуют современной концепции об аккреционной природе Буреинского массива. В то же время, они не подтверждают некоторые конкретные реконструкции, в частности, приписывающие железные руды Кимкана к отложениям пассивной континентальной окраины на юго-восточном обрамлении Северо-Азиатского (Сибирского) кратона [6, 17].

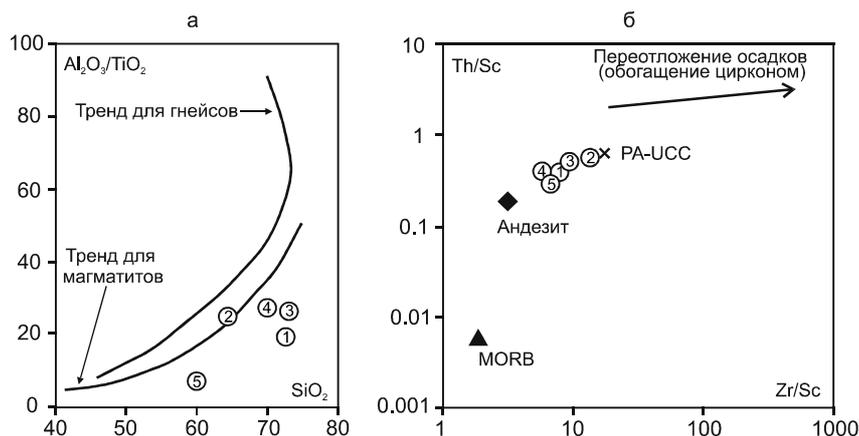
### Источники сноса

Для выяснения источников сноса при формировании осадков изученных толщ использованы отношения  $Al_2O_3 / TiO_2 - SiO_2$  [30] и  $Zr/Sc - Th/Sc$  [32] (рис. 7). В выборках неметаллоносных сланцев рассматриваемых толщ первое отношение варьирует от 17.5 до 24.4. Это свидетельствует о том, что наиболее вероятным источником сноса для них были магматические породы от кислого до среднего состава (рис. 7 а), и подтверждает наши предыдущие предположения о позиции осадконакопления между источниками вулканогенной и терригенной кластики. В металлоносных осадках кимканской толщи величина этого отношения аномально низка и равна 9. При среднем содержании  $SiO_2$  в выборке 5 60.71 % такое значение свидетельствует об участии в их формировании пород мафического состава. Известная модель гидротермальной конвекционной системы между толщей морской воды и офиолитами хорошо объясняет увеличение в составе кимканских руд доли металлов восьмой группы элементов, включая железо и платиноиды.

На диаграмме  $Zr/Sc - Th/Sc$  [32] фигуративные точки выборок группируются в интервале составов от средних магматических пород до верхних горизонтов постархейской континентальной коры (рис. 7 б). Отсутствие обогащения цирконом свидетельствует в пользу того, что их образование за счет переотложения осадочных пород маловероятно.

### ВЫВОДЫ

1. По своему химическому составу углеродистые сланцы сутырской и кимканской толщ в восточной части Буреинского массива близки к среднему для верхних горизонтов постархейской земной коры. Тренды распределения главных породообразующих элементов малоизмененных сланцев обеих толщ отличаются от



**Рис. 7.** Фигуративные точки изученных пород на диаграммах  $Al_2O_3/TiO_2 - SiO_2$  [30] (а) и  $Zr/Sc-Th/Sc$  [32] (б).

РА-UCC – средний состав верхних горизонтов постаршейской континентальной коры, по [36].

Цифры в кружках соответствуют номерам выборок в табл. 1, 2.

NASC пониженными концентрациями железа, марганца, магния, фосфора и, особенно, кальция.

2. В обеих толщах малоизмененные углеродистые сланцы характеризуются пониженным относительно NASC содержанием REE с некоторым обогащением их тяжелыми компонентами и отсутствием ярко выраженных аномалий церия и европия. Такое распределение характерно для глубоководных осадков вблизи зон надсубдукционного вулканизма, в которых REE заимствуются из морской воды и вулканокластике, содержащих более высокие концентрации тяжелых REE по сравнению с легкими.

3. Гидротермальные изменения сланцев сутырской и кимканской толщ сопровождались существенным выносом кремния и REE, особенно легких и средних. Эти изменения как бы стирают отличия толщ между собой и NASC. Таким образом, они, по-видимому, отражают процесс перераспределения элементов в верхней части континентальной коры при складчатости и региональном метаморфизме.

4. Вторично измененные породы сутырской толщи имеют хорошо выраженную отрицательную аномалию европия, которая типична для золоторудных месторождений, в том числе с попутной платиной [5]. Показательно, что такая же аномалия характерна для гидротермальных отложений, связанных с надсубдукционным вулканизмом [12].

5. Для гидротермально-осадочных железных руд кимканской толщи отмечается дефицит всех REE при явно выраженной положительной аномалии европия. Последняя, возможно, указывает на рифтогенную природу породивших ее гидротерм и связанной с ними благороднометалльной минерализации с платиновым уклоном. Измененные кимканские сланцы, в отличие от малоизмененных, также обладают этой особенностью, что, возможно, означает заимствованный (из соседних руд) характер их минерализации.

6. Сланцы сутырской толщи содержат углерод биогенного происхождения, в то время как для сланцев кимканской толщи (особенно для гидротермально измененных разновидностей и железных руд, наиболее обогащенных платиной) характерен его утяжеленный изотопный состав. Последнее указывает на влияние глубинного источника, вероятно, большей частью на этапе гидротермально-осадочного накопления руд в рифтовой зоне.

7. По ключевым соотношениям главных петрогенных и редкоземельных элементов малоизмененные сланцы сутырской и кимканской толщ соответствуют гемипелагическим осадкам, накапливающимся под влиянием терригенного стока с континента, а также надсубдукционного вулканизма и морских вод в сочетании, указывающем либо на глубоководный желоб у активной континентальной окраины, либо на центральную часть окраинного моря.

Проведенные исследования показали, что углеродистые породы кимканской и сутырской толщ имеют специфические геохимические характеристики, которые могут быть полезны при постановке поисковых работ на золото и платиноиды в пределах распространения терригенно-осадочных комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 27 Президиума РАН (проект 12-1-П27-03), интеграционных проектов 12-11-СУ-08-011 и 12-11-УО-08-017.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Т.Н., Черепанов А.А., Бердников Н.В. Результаты минералогического и технологического изучения благороднометалльной минерализации углеродистых пород сутырской и кимканской толщ Буреинского массива // Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы IV Всерос. науч. конф. с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27-29 сентября 2011 г). Т. 1. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2011. С. 229–235.
2. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 265 с.

3. Бердников Н.В. Тонкодисперсное золото и платиноиды в графитовых сланцах Буреинского массива – новый тип благороднометалльного оруденения на Дальнем Востоке России // Вестн. ОНЗ РАН. 2010. Т. 2, NZ100004, doi:10.2205/2010NZ000051.
4. Бердников Н.В., Коновалова Н.С., Зазулина В.Е. Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 2. С. 90–96.
5. Викентьева О.В. REE в метасоматитах мезотермальных золоторудных месторождений // Роль минералогии в познании процессов рудообразования: Материалы годичной сессии МО РМО, посвящ. 110-летию со дня рождения академика А.Г. Бетехтина. М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 76–80.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука. 2006. Кн. 1. 572 с.; Кн. 2. 981 с.
7. Геология СССР. Хабаровский край и Амурская область. М.: Недра, 1966. Т. 19, Ч. 1. 736 с.
8. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
9. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Науч. мир, 1998. 340 с.
10. Гурская Л.И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
11. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.
12. Карпов Г.А., Николаева А.Г., Алехин Ю.В. Содержание и источники редкоземельных элементов в современных вулканогенных гидротермальных системах Камчатки (к проблеме генезиса современных магматогенных флюидных потоков) // Петрология. 2013. Т. 21, № 2. С. 163–176.
13. Кориш Е.Х., Савко К.А. Геохимия высокоуглеродистых сланцев Тим-Ястребовской структуры (Воронежский кристаллический массив) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2010. Вып. 2. С. 108–116.
14. Малышев Ю.Ф. Типы земной коры Восточной Азии и их геологическая интерпретация // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 6. С. 3–16.
15. Матвиенко В.Н., Калашников Ю.Д., Нарсеев В.А. Кластеры – протоформа нахождения драгметаллов в рудах и минерализованных породах // Руды и металлы. 2004. № 5. С. 28–36.
16. Невструев В.Г., Бердников Н.В. Петрохимические критерии благороднометалльной минерализации углеродистых сланцев восточной части Буреинского массива // Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы Всерос. науч. конф. Хабаровск, 2011. Т. 2. С. 228–232.
17. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
18. Петров О.В., Шевченко С.С., Ахмедов А.М. Новые промышленные типы комплексных руд благородных и цветных металлов в докембрии восточной части Балтийского щита // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минералогия Северо-Запада России. Петрозаводск: ИГ КарНЦ, 2007. С. 292–296.
19. Плюснина Л.П., Кузьмина Т.В. Моделирование хемосорбции золота и платины на графит, синтезированный из битумоидов / Труды XV Всерос. совещ. по экспериментальной минералогии. Сыктывкар, 2005. С. 397–398.
20. Резникова О.Г. Распределение редкоземельных элементов в железистых кварцитах Лебединского месторождения (КМА) // Геология 21 века : Материалы 9 Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов. Саратов, 2008. С. 66–67.
21. Резникова О.Г., Кузнецов В.С., Абрамов В.В. Особенности распределения элементов примесей в сульфидизированных железистых кварцитах и сланцах Стойленского месторождения КМА // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2010. Вып. 2. С. 117–127.
22. Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Козьменко О.А. и др. Лантаноиды во флюидных включениях, кварце и зеленых сланцах из золотоносных и безрудных кварцево-жильных зон Советского кварц-золоторудного месторождения, Енисейский кряж, Россия // Геохимия. 2008. № 4. С. 438–444.
23. Ханчук А.И. Тектоника и магматизм палеотрансформных континентальных окраин калифорнийского типа на Востоке России. Общие вопросы тектоники // Тектоника России: Материалы XXXIII тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2000. С. 544–547.
24. Ханчук А.И., Бердников Н.В., Черепанов А.А. и др. Первые находки видимых платиноидов в черносланцевых толщах Буреинского массива (Хабаровский край и ЕАО) // ДАН. 2009. Т. 424. № 5. С. 672–675.
25. Ханчук А.И., Диденко А.Н., Рассказов И.Ю. и др. Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 3. С. 3–12.
26. Чернышов Н.М. Природа углерода и рудного вещества золото-платинометалльных рудообразующих систем в черносланцевых стратифицированных образованиях ВКМ // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2001. Вып. 12. С. 149–153.
27. Шатров В.А., Войцеховский Г.В., Зеленская А.Н. Особенности распределения редкоземельных элементов и элементов примесей в железистых кварцитах, корах выветривания и осадочных железных рудах (на примере Лебединского и Михайловского железорудных месторождений КМА) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2001. Вып. 12. С. 69–80.
28. Шатров В.А. Реконструкция обстановок осадконакопления метасадочных пород нижнего протерозоя на основе редкоземельных элементов (на примере Восточно-Европейской платформы) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2004. № 1. С. 38–42.
29. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A. et al. The «North American Shale Composite»: its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 2469–2482.
30. Hayashi K., Fujisawa H., Holland H.D. et al. Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. V. 61, N 19. P. 4115–4137.
31. Kucha H., Przyłowicz W. Noble metals in organic matter and clay-organic matrices, Kupferschiefer, Poland // Econ. Geol. 1999. V. 94, N 7. P. 1137–1162.
32. McLennan S.M., Bock B., Hemming S.R. et al. The roles of provenance and sedimentary processes in the geochemistry

- of sedimentary rocks // *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: Evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments* / Ed. D.R. Lentz. Geol. Assoc. Canada: GEOText St. John's, 2003. V. 5. P. 1–31.
33. Murray R.W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications // *Sedimentary Geol.* 1994. V. 90. P. 213–232.
34. Plank T., Langmuir C.H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle // *Chem. Geol.* 1998. V. 145, N 3–4. P. 325–394.
35. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio // *J. Geol.* 1986. V. 94. P. 635–650.
36. Taylor S.R., McLennan S.M. *The Continental crust: Its composition and evolution.* London: Blackwell, 1985. 312 p.
37. Wood S.A. Rare earth element systematics of acidic geothermal waters from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *J. Geoch. Explor.* 2006. V. 89/1-3. P. 424–427.

*Рекомендована к печати Н.А. Горячевым*

*V.G. Nevstruev, N.V. Berdnikov, V.P. Nechaev*

### **Geochemical characteristics of PGE-bearing carbonaceous units from the Eastern Bureya Massif**

Geochemical characteristics of Au- and PGE-bearing carbonaceous shales from the Sutyr and Kimkan units, the eastern Bureya massif (Russian Far East) are discussed. Major-element composition of the shales are similar to common shales of the upper Earth's crust (NASC) differing from them by lower concentrations of Fe, Mn, Mg, P, Ca, and REE. They show similarity with modern sediments deposited under influence of continental and volcanic arc debris, as well as supersubduction volcanism and marine waters in combination indicating either a deep sea trench adjacent to an active continental margin or a central marginal sea. The iron-rich sedimentary rocks of the Kimkan unit including the Kimkan ores are characterized by a positive Eu anomaly evidently reflecting their accumulation in a rift basin.

Superimposed hydrothermal alteration of the Sutyr rocks including sericitization, sulfide impregnation and quartz veinlets were accompanied by outflow of silica and inflow of potassium, light and middle REE forming a distinct negative Eu anomaly. The Kimkan deposits show depletion of alkaline elements more sufficient for K in the metalliferous sediments comparative to common shales.

Carbon isotopic composition of the Sutyr shales corresponds to that of the organic matter ( $\delta^{13}\text{CVPDB}$  from -20.7 to -23.7 ‰). The Kimkan shales are characterized by a heavier isotopic composition ( $\delta^{13}\text{CVPDB}$  from -15.6 to -19.1 ‰) evidencing that its carbon is either partly derived from a deep source or resulted from decarbonatization in the presence of iron.

**Key words:** geochemical characteristics, precious metal mineralization, gold, platinoids, carbonaceous shales, Au, platinoids, Sutyr and Kimkan units, Bureya Massif.