

УДК: 551

## СИСТЕМАТИКА Sc, Cr, Co, Ni, Th И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ МУРАВЬИНСКОЙ И ВЁЛСОВСКОЙ СВИТ ЛЯПИНСКО-КУТИМСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ): К РЕКОНСТРУКЦИИ ПОРОД-ИСТОЧНИКОВ СНОСА

© 2017 г. А. В. Маслов<sup>1,2</sup>, Г. А. Петров<sup>1</sup>, Ю. Л. Ронкин<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Вонсовского, 15, e-mail: maslov@igg.uran.ru<sup>2</sup>Институт геологии УНЦ РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

Поступила в редакцию 11.01.2016 г.; принята к печати 28.03.2016 г.

В статье проанализированы особенности распределения Sc, Cr, Co, Ni, Th и редкоземельных элементов в черных сланцах муравьинской и вёлсовской свит рифея южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория (Северный Урал). Содержания перечисленных элементов в 20 образцах черных сланцев определены методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Образцы сланцев муравьинской свиты отобраны из коренных выходов по р. Вёлс, ниже устья р. Посьмак, а также по р. Правая Рассоха. Отбор производился из обнажений, более и менее равномерно распределенных по площади распространения свиты. Сланцы вёлсовской свиты изучены по керну скважин колонкового бурения в бассейне р. Сурья Вагранская, а также в обнажениях по рр. Сибиряковская Мартайка и Правая Рассоха. На диаграмме Sc–Th/Sc точки состава черных сланцев муравьинской и вёлсовской свит расположены достаточно компактно между точками средних составов архейских и протерозойских гранитов, с одной стороны, и тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций того же возраста. Примерно такое же распределение точек состава черных сланцев указанных свит можно видеть и на диаграммах La/Sc–Th/Co и La/Sm–Sc/Th. Средняя величина  $\Sigma PЗЭ$  в черных сланцах муравьинской свиты составляет  $316 \pm 90$  г/т, в сланцах вёлсовской свиты она заметно ниже –  $200 \pm 47$  г/т. Черные сланцы муравьинской свиты в существенной мере обогащены легкими лантаноидами (La/Yb)<sub>Нерелеее</sub>  $\approx 40$  и заметно деплетированы тяжелыми лантаноидами, (Gd/Yb)<sub>Нерелеее</sub> = 5.4. Для черных сланцев вёлсовской свиты (La/Yb)<sub>Нерелеее</sub> = 22, (Gd/Yb)<sub>Нерелеее</sub> = 3.1. Приведенные здесь и ряд других данных позволяет сделать вывод, что комплексы пород-источников тонкой алюмосиликокластики для черных сланцев муравьинской и вёлсовской свит имели достаточно специфический состав. На основе сопоставления геохимических особенностей черных сланцев южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория и потенциальных источников тонкой алюмосиликокластики, обосновывается вывод, что такими комплексами пород могли быть ТТГ-ассоциации архея и/или протерозоя и граниты того же возраста фундамента Восточно-Европейской платформы, а также некие локальные/местные породы с высокими содержаниями Cr и существенной дифференциацией PЗЭ, сходные по своему составу с продуктами кимберлитового магматизма.

**Ключевые слова:** черные сланцы, рифей, Ляпинско-Кутимский антиклинорий, распределение редких и рассеянных элементов, источники сноса

## Sc, Cr, Co, Ni, Th AND RARE EARTH ELEMENTS SYSTEMATICS IN BLACK SHALES OF MURAV'INSKAYA AND VELSOVSKAYA FORMATIONS (LYAPIN-KUTIM ANTICLINORIUM, THE NORTHERN URALS): TO THE PROVENANCE RECONSTRUCTIONS

Andrey V. Maslov<sup>1,2</sup>, Georg A. Petrov<sup>1</sup>, Yury L. Ronkin<sup>1</sup><sup>1</sup>A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016, Russia, e-mail: maslov@igg.uran.ru<sup>2</sup>Institute of Geology, USc of RAS, 16/2 Ufa, K. Marx st., 450077, Russia

Received 11.01.2016; accepted 28.03.2016

The features of the Sc, Cr, Co, Ni, Th and rare earth elements distribution in the black shales of the Riphean Murav'inskaya and Velsovskaya formations in southern part of the Lyapin-Kutim anticlinorium (Northern Ural) are analyzed. The contents of the listed elements in 20 samples of black shales are determined by the ICP-MS method at the IGG UB RAS (Ekaterin-

**Для цитирования:** Маслов А.В., Петров Г.А., Ронкин Ю.Л. (2017) Систематика Sc, Cr, Co, Ni, Th и редкоземельных элементов в черных сланцах муравьинской и вёлсовской свит Ляпинско-Кутимского антиклинория (Северный Урал): к реконструкции пород-источников сноса. *Литосфера*, 17(4), 73-83. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-073-083

**For citation:** Maslov A.V., Petrov G.A., Ronkin Yu.L. (2017) Sc, Cr, Co, Ni, Th and rare earth elements systematics in black shales of Murav'inskaya and Velsovskaya formations (Lyapin-Kutim anticlinorium, the Northern Urals): to the provenance reconstructions. *Litosfera*, 17(4), 73-83. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-073-083

burg). Samples of the shales of the Murav'insky formation are selected from the outcrops along the river Vels, below the mouth of Pos'mak River, as well as along Pravaya Rassokha River. The selection was made from outcrops more or less evenly distributed over the studied area. The shales of the Velsovskaya formation were studied from the drilling holes in the basin of Sur'ya Vagranskaya River, as well as in outcrops along the Sibiryakovskaya Martayka and Pravaya Rassokha rivers. In the Sc–Th/Sc diagram, the data points of the black shales of the Murav'inskaya and Velsovskaya formations are fairly compact located between the points of the average composition of the Archean and Proterozoic granites, on the one hand, and tonalite-trondjemite-granite (TTG) associations of the same age. Approximately the same distribution of the data points of the black shales of these formations can be seen in the La/Sc–Th/Co and La/Sm–Sc/Th diagrams. The average value of  $\Sigma \text{PЗЭ}$  in black shales of the Murav'inskaya formation is  $316 \pm 90$  ppm, in the shales of the Velsovskaya Formation it is noticeably lower –  $200 \pm 47$  ppm. The black shales of the Murav'inskaya Formation are substantially enriched with light lanthanides  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{Nmean}} = 40$ , and noticeably depleted by heavy lanthanides,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{Nmean}} = 5.4$ . For the black shales of the Velsovsky formation  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{Nmean}} = 22$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{Nmean}} = 3.1$ . This ones and a number of the other data make it possible to conclude that the complexes of rock-sources of fine aluminosiliciclastics for black shales of Murav'inskaya and Velsovskaya formations had a rather specific composition. On the basis of a comparison of the geochemical features of the black shales of the southern part of the Lyapin-Kutim anticlinorium and potential sources of fine aluminosiliciclastics, the conclusion is based that such rock complexes could be, from one side, the Archean and/or Proterozoic TTG associations and granites of the same age of the Eastern European platform, and, from another side, certain local rocks with high Cr contents and significant differentiation of REE, similar in composition to the products of kimberlite magmatism.

**Key words:** black shales, Riphean, Lyapin-Kutim anticlinorium, distribution of some rare and trace elements, provenances

#### Acknowledgments

The research was carried out with the financial support of the UB RAS project No. 15-18-5-35.

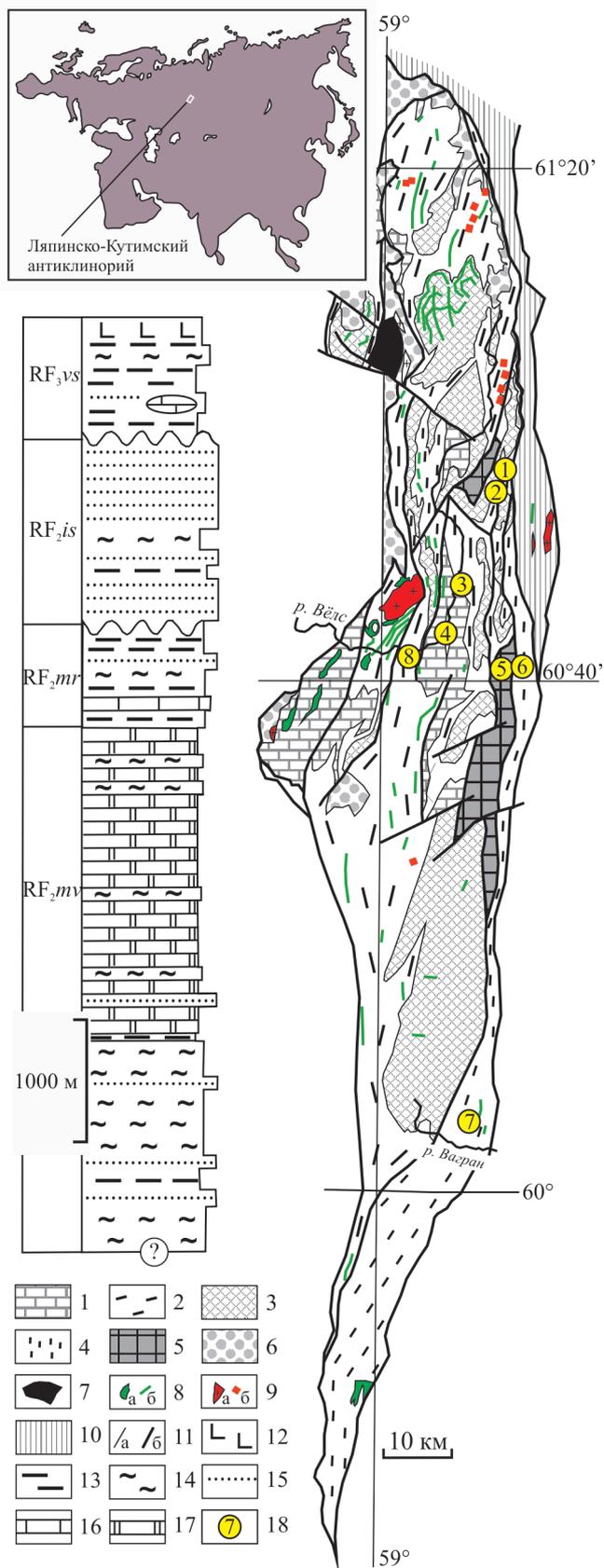
Известно, что формирование любой осадочной последовательности контролируется рядом факторов, основными среди которых считаются палеотектоника, палеоклимат, палеогеография областей размыва и осадконакопления и петрофонд областей размыва [Тимофеев, 1994; и др.]. Для многих осадочных комплексов верхнего докембрия и палеозоя разных регионов Уральско-Среднего пояса (главным образом Южного и Среднего Урала) вклад перечисленных факторов в их становление в той или иной мере расшифрован, чего нельзя сказать о его областях, расположенных севернее. В настоящей статье впервые сделана попытка наметить возможный состав пород-источников тонкой алюмосиликокластики для черносланцевых образований муравьинской и вёльсовской свит рифея южной части Ляпинско-Кутимской структуры (рис. 1) на основе анализа данных о распределении в них ряда редких и рассеянных элементов.

Южная часть указанной структуры сложена преимущественно метаосадочными образованиями Ишеримской структурно-формационной зоны – расьинской, мойвинской, муравинской, ишеримской и вёльсовской свитами среднего и верхнего рифея [Государственная..., 2006; Петров и др., 2015а, 2015б]. Отложения расьинской свиты ( $\text{RF}_2rs$ ) известны в районе горного массива Кир-Камень в западной части Вишерско-Кутимского антиклинория. В стратотипическом разрезе свиты, в междуречье Вишера–Вёльс–Бол. Шудья выделяются три подсвиты. Нижняя сложена филлитами и хлорит-слюдисто-кварцевыми сланцами с прослоями известковистых сланцев, кварцито-песчаников и углистых сланцев. Средняя включает кварцито-песчаники с прослоями альбит-слюдисто-кварцевых сланцев. Верхняя

подсвита представлена зеленовато-серыми альбит-серицит-хлорит-кварцевыми сланцами, в том числе известковистыми или магнетитсодержащими, с прослоями темно-серых и черных углеродисто-хлорит-кварц-серицитовых филлитов. Согласно Стратиграфическим схемам Урала [1993], расьинская свита имеет среднерифейский возраст. Нижняя граница ее не вскрыта, мощность оценивается примерно в 1220–2100 м.

Мойвинская свита ( $\text{RF}_2mv$ ) залегает согласно на расьинской свите и согласно же перекрывается породами муравьинской свиты. В ее составе преобладают мраморизованные белые, серые и темно-серые известняки и доломиты, в которых встречаются строматолиты, характерные для среднего рифея. В разрезах свиты присутствуют также пестроцветные мраморы, в подчиненном количестве наблюдаются филлитовидные серицитовые, серицит-кварцевые, углеродисто-кварцевые и известковистые сланцы [Государственная..., 2006]. Мощность мойвинской свиты составляет до 600 м.

Муравьинская свита ( $\text{RF}_2mr$ ) представлена сланцами хлорит-серицит-кварцевого, серицит-кварцевого, хлорит-кварцевого состава с прослоями углеродсодержащих разностей, филлитов, кварцито-песчаников, кварцитов, реже мраморизованных известняков и доломитов. Для сланцев характерны лепидограно- и гранолепидобластовая, а также порфириобластовая структуры. Текстура их сланцевая, часто плейчатая. Цвет пород серый, зеленовато-серый, темно-серый. Состав сланцев, %: кварц – 50–70, серицит – до 20–50, хлорит – до 15–25, лимонит – 1–5, магнетит – 1–5. В их углеродистых разностях присутствует порядка 10–15% (редко 25%) графита. Иногда в ви-



**Рис. 1.** Обзорная схема геологического строения и литологическая колонка допалеозойских образований Ишеримского антиклинория, составленные по авторским материалам с использованием данных [Государственная..., 2006].

1 – терригенные и карбонатные породы расьинской и мойвинской свит; 2 – углеродистые сланцы муравьинской свиты; 3 – метапесчаники ишеримской свиты; 4 – углеродистые, серицит-хлорит-кварцевые сланцы и metabазальты вельсовской свиты; 5 – кристаллические сланцы белокаменского метаморфического комплекса; 6 – терригенные, вулканогенные и карбонатные образования ордовика; 7 – перидотиты и пироксениты вишерского комплекса; 8 – штоки (а) и дайки (б) габбродолеритов и долеритов; 9 – массивы (а) и дайки (б) гранитоидов; 10 – переслаивание metabазальтов и слюдисто-кварцевых сланцев (южное окончание Ляпинской структуры); 11 – стратиграфические и интрузивные границы (а) и разрывные нарушения (б); 12–17 – условные обозначения только для стратиграфической колонки (12 – metabазальты, 13 – углеродистые сланцы, 14 – слюдисто-кварцевые сланцы, 15 – кварцевые и аркозовые метапесчаники, 16 – мраморизованные известняки, 17 – метаморфизованные доломиты и доломитизированные известняки); 18 – места отбора образцов (1, 2, 6, 7 – вельсовская свита (1 – обн. 5197, 2 – обн. 5198, 6 – обн. 5126, 7 – скважина КС-16), 3–5, 8 – муравьинская свита (3 – обн. 2174, 4 – обн. 2179, 5 – обн. 5122, 8 – обн. 2182)).

**Fig. 1.** Overview map, scheme of geological structure and lithological column of the pre-Paleozoic formations of the Isherim anticlinorium, compiled according to author's materials and [State..., 2006].

1 – terrigenous and carbonate rocks of the Ras'inskaya and Moivinskaya formations; 2 – carbonaceous schists of the Murav'inskaya Formation; 3 – metasandstones of the Isherim Formation; 4 – carbonaceous, sericite-chlorite-quartz schists and metabasalts of the Velsovskaya formation; 5 – crystalline schists of the Belokamenskii metamorphic complex; 6 – Ordovician terrigenous, volcanogenic and carbonate deposits; 7 – peridotites and pyroxenites of the Visherskii complex; 8 – stocks (a) and dikes (b) of gabbrodolerites and dolerites; 9 – massifs (a) and dikes (b) of the granitoids; 10 – interbedding of metabasalts and mica-quartz schists (the southern end of the Lyapin structure); 11 – stratigraphic and intrusive boundaries (a) and faults (b); 12–17 – symbols only for the stratigraphic column (12 – metabasalts, 13 – carbonaceous shales, 14 – mica-quartz schists, 15 – quartz and arkose meta-sandstones, 16 – marbled limestones, 17 – metamorphosed dolomites and dolomitized limestones); 18 – sampling points (1, 2, 6, 7 – Velsovskaya formation (1 – outcrop 5197, 2 – outcrop 5198, 6 – outcrop 5126, 7 – KS-16 borehole), 3–5, 8 – Murav'inskaya formation (3 – outcrop 2174, 4 – outcrop 2179, 5 – outcrop 5122, 8 – outcrop 2182)).

де порфиробластов наблюдается хлоритоид (до 10%). Кварцито-песчаники состоят преимущественно из кварца (75–90%). Количество серицита в них достигает 10–25%, иногда встречается вторичный альбит (до 1%) и карбонат (до 3%). Известняки и доломиты, присутствующие в разрезах муравьинской свиты, имеют серый, темно-серый, кремовый и светло-серый цвет. Они обычно мраморизован-

ные, массивной, иногда брекчиевидной текстуры. В виде примеси в них присутствует кварц (до 15%), альбит (до 5%), серицит и хлорит.

Породы муравьиной свиты изменены преимущественно на уровне зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Участками породы подвергнуты метаморфическим процессам эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Возраст метаморфизма (**Sm-Nd метод, по фракциям граната, биотита, ставролита, фенгита, кварца и порода в целом**) составляет  $973 \pm 49$  млн лет [Петров и др., 2015a]. Возраст муравьиной свиты принят среднерифейским согласно положению данного литостратиграфического подразделения в разрезе выше мойвинской и ниже ишеримской свит среднего рифея. Мощность свиты достигает 1100 м.

Ишеримская свита (RF<sub>2</sub>is) в нижней части сложена светло-серыми мелкозернистыми кварцито-песчаниками и хлорит-слюдисто-кварцевыми сланцами. Верхняя ее часть представлена косослоистыми аркозовыми песчаниками с прослоями, обогащенными титан-циркониевыми минералами с линзами и пластами гравелитистых кварцито-песчаников, гравелитов, реже мелкогалечных конгломератов. Мощность ишеримской свиты оценивается в 1500–2000 м. С учетом того что возраст самого молодого обломочного циркона из метапесчаников свиты составляет  $\approx 1150$  млн лет, а возраст метадолеритов силла, локализованного среди них, равен  $1079 \pm 41$  млн лет, мы сделали вывод, что накопление отложений ишеримской свиты происходило между 1150 млн и примерно 1080 млн лет назад [Петров и др., 2015b]. Предполагается, что свита залегает на более древних образованиях с частичным несогласием [Государственная..., 2006].

Вёлсовская свита (RF<sub>3</sub>vs) представлена серицит-углеродисто-кварцевыми, (углеродисто)-хлорит-серицит-кварцевыми, иногда альбит- или магнетитсодержащими сланцами, филлитами, доломитами, известняками, в верхней части – прослоями метавулканитов (актинолит)-эпидот-альбит-хлоритового состава и кварцито-песчаников. В разрезах свиты преобладают апотерригенные сланцы, в составе которых присутствуют кварц, серицит, хлорит, часто углеродистое вещество, в небольших количествах – альбит, кальцит; типичные акцессорные минералы – апатит, турмалин, циркон, лимонит и пирит. Характерно повышенное содержание лейкоксена, игольчатого рутила, сфена, иногда ильменита.

Среди метатерригенных пород присутствуют прослои зеленых (актинолит)-эпидот-альбит-хлоритовых сланцев. Их мощность 0.5–3.0 м, редко до 20 м. Первичные структуры подобных сланцев обычно не диагностируются, в редких случаях наблюдаются реликты миндалекаменной структуры и можно предполагать апобазальтовое происхождение сланцев. Структуры – порфирио- и фиброграно-

бластовые. Основные компоненты пород представлены хлоритом (50–60 %), альбитом (10–30), эпидотом (10–30) и актинолитом (0–10 %). Часто присутствуют кальцит и анкерит, образованные при зеленосланцевом метаморфизме. Карбонатные минералы слагают порфириобласты или выделения в виде прослоев, согласных сланцеватости, придающих породе полосчатый облик. Иногда отмечаются небольшое количество кварца, стилипномелан, сосюрит. Обычны лейкоксен, магнетит, гематит, рутил, акцессорный апатит. По химическому составу аповулканогенные сланцы относятся к базальтам нормально-щелочного ряда, умеренно- и высокомагнезиальным образованиям с широкими вариациями TiO<sub>2</sub> (от 0.7 до 3.0%).

Фация метаморфизма, охватывающая образования вёлсовской свиты, зеленосланцевая. Метасоматические процессы выражены в широком распространении окварцевания, эпидотизации.

Верхнерифейский возраст пород вёлсовской свиты принят на основании их залегания стратиграфически выше отложений ишеримской свиты верхов среднего рифея. Мощность вёлсовской свиты оценивается в интервале от 1200 до 3000 м, предполагается, что нижняя граница несогласная, но чаще всего она сорвана тектоническими нарушениями [Государственная..., 2006].

Средние, минимальные и максимальные содержания широкого спектра редких и рассеянных элементов, присущие черным сланцам муравьиной и вёлсовской свит, приведены в табл. 1. Эти данные получены по 20 образцам черных сланцев обеих свит. Образцы сланцев муравьиной свиты отобраны из коренных выходов по р. Вёлс, ниже устья р. Посьмак, а также по р. Правая Рассоха (левый приток р. Чурол). Отбор производился из обнажений, более или менее равномерно распределенных по площади распространения свиты. Сланцы, кроме углеродистого вещества, содержат тонкозернистый кварц, серицит, иногда карбонатные минералы, реже – сульфиды. Один образец (5122) отобран в ореоле зонального метаморфизма дистен-силлиманитового типа; в его состав входят графит, фенгит, кварц, гранат, ставролит и дистен. Сланцы вёлсовской свиты изучены по керну скважин колонкового бурения в бассейне р. Сурья Вагранская (образцы КС16/...), а также в обнажениях по рекам Сибиряковская Мартайка и Правая Рассоха. Это углеродисто-кварцевые и углеродисто-серицит-кварцевые породы, иногда содержащие карбонатные минералы и сульфиды. Положение мест отбора образцов показано на рис. 1.

*Систематика Sc, Cr, Co, Ni и Th.* Среднее содержание скандия в черных сланцах муравьиной свиты составляет  $16.47 \pm 4.78$  г/т. В PAAS концентрация данного элемента равна 16 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. В черных сланцах вёлсовской свиты среднее содержание Sc примерно в 1.4 раза вы-

**Таблица 1.** Среднее, минимальное и максимальное содержание ряда редких и рассеянных элементов в черных сланцах муравьиной и вёлсовской свит южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория, г/т

**Table 1.** Mean, minimum and maximum content (ppm) of a number of rare and trace elements in the black shales of the Murav'inskaya and Velsovskaya formations of the southern part of the Lyapin-Kutim anticlinorium

Компонент	Свита	
	Муравьиная (n = 10)	Вёлсовская (n = 10)
Sc	16.47 ± 4.78 9.52–23.60	22.95 ± 10.38 11.80–35.70
Cr	1277 ± 229 978–1640	1496 ± 131 1250–1610
Co	11.41 ± 7.21 1.03–21.50	26.57 ± 14.86 6.32–44.20
Ni	30.80 ± 17.97 7.63–55.80	102.47 ± 58.50 19.20–168.00
La	68.37 ± 18.63 48.10–94.00	43.51 ± 11.19 17.70–54.60
Ce	138.65 ± 45.12 82.00–201.00	81.90 ± 18.97 38.40–104.00
Pr	15.95 ± 4.65 10.10–22.50	9.82 ± 2.29 4.55–13.00
Nd	62.09 ± 16.99 42.50–85.70	40.31 ± 8.91 19.30–53.00
Sm	11.20 ± 3.14 7.36–15.60	7.22 ± 1.50 3.82–9.68
Eu	1.90 ± 0.57 1.15–2.68	1.23 ± 0.21 0.75–1.47
Gd	7.78 ± 2.13 4.50–10.80	5.38 ± 1.40 2.79–7.07
Tb	1.00 ± 0.25 0.55–1.37	0.76 ± 0.29 0.35–1.06
Dy	4.84 ± 1.04 2.76–6.25	4.20 ± 1.91 1.82–6.07
Ho	0.83 ± 0.23 0.41–1.27	0.75 ± 0.37 0.31–1.12
Er	1.85 ± 0.79 0.98–3.93	2.08 ± 1.12 0.78–3.35
Tm	0.25 ± 0.13 0.11–0.59	0.30 ± 0.18 0.09–0.52
Yb	1.45 ± 1.01 0.59–4.20	1.91 ± 1.19 0.56–3.18
Lu	0.22 ± 0.18 0.08–0.72	0.30 ± 0.20 0.09–0.51
Th	34.46 ± 7.59 26.20–46.20	36.87 ± 10.79 14.90–49.10

Примечание. В числителе – среднее и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное содержание.

Note. In the numerator – the mean and standard deviation, in the denominator – the minimum and maximum content.

ше, чем в PAAS. Минимальная концентрация данного элемента составляет в них 11.8, а максимальная – 35.7 г/т. Наименьшее содержание хрома в муравьиных сланцах равно 978 г/т, наибольшее – достигает 1640 г/т. Таким образом, среднее содер-

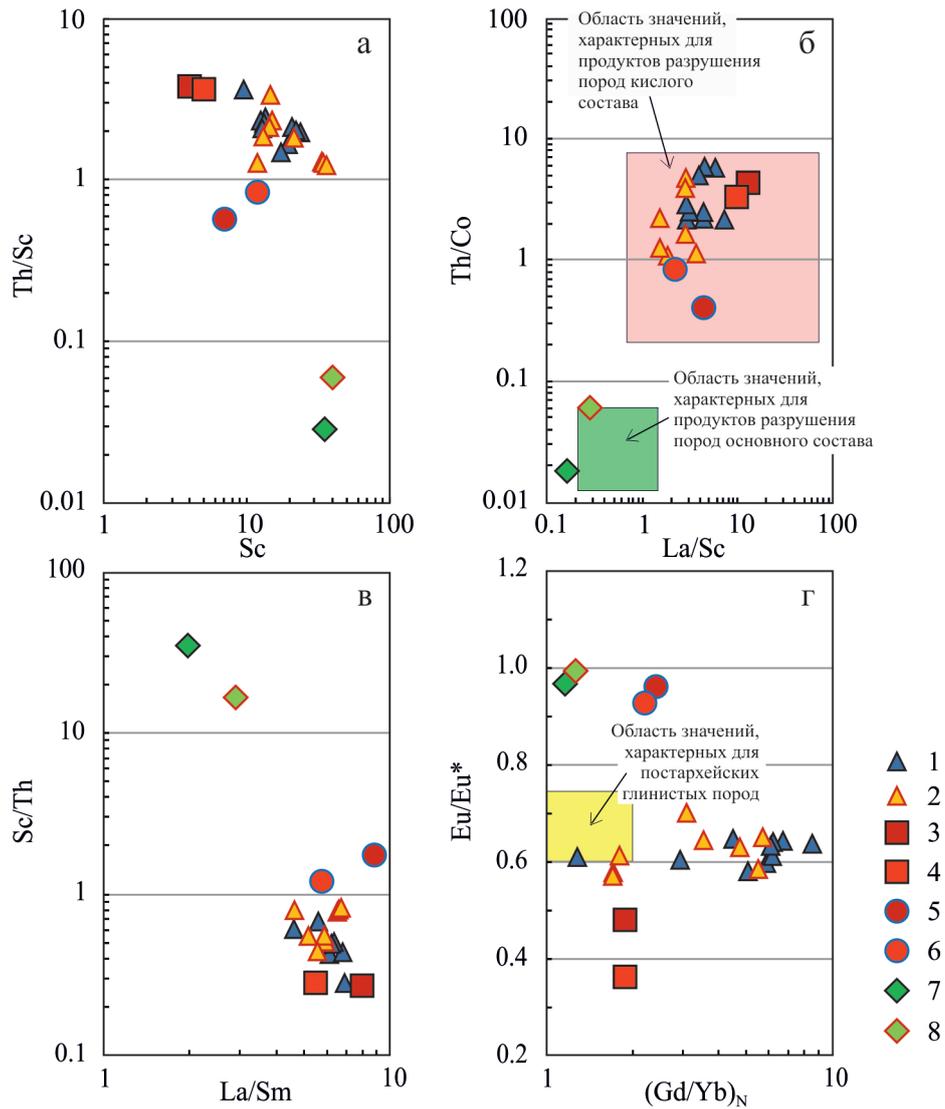
жание Cr здесь выше, чем в PAAS (110 г/т), более чем в 11 раз. Еще более высокие концентрации хрома свойственны черным сланцам вёлсовской свиты (1496 ± 131 г/т). По сравнению с PAAS среднее содержание Co в сланцах муравьиной свиты равно 0.50, а в сланцах вёлсовского уровня этот параметр немного выше – 1.16. Примерно такое же соотношение характерно и для Ni: величина ( $C_{\text{обр}}/C_{\text{PAAS}}$ )<sub>ср</sub> в сланцах муравьиной свиты составляет 0.56, а в сланцах – 1.86. Средние концентрации тория в черных сланцах обоих стратиграфических уровней статистически практически идентичны: для муравьиных сланцев величина Th<sub>ср</sub> составляет 34.46 ± 7.59 г/т, а для вёлсовских – 36.87 ± 10.79 г/т, 2.36 и 2.53 × PAAS соответственно.

На диаграмме Sc–Th/Sc [Тейлор, МакЛеннан, 1988] фигуративные точки состава черных сланцев муравьиной и вёлсовской свит расположены достаточно компактно (почти со 100%-м перекрытием) между точками средних составов архейских и протерозойских гранитов и тоналит-трондьемит-гранитных (ТТГ) ассоциаций того же возраста (все указанные средние составы здесь и далее даны по работе К.С. Condie [1993] (рис. 2а)). Это позволяет предполагать, что источниками тонкой алюмосиликокластики для черных сланцев рассматриваемых нами литостратиграфических подразделений являлись, скорее всего, породы фундамента Восточно-Европейской платформы или сходные с ними образования. Примерно такое же распределение фигуративных точек состава черных сланцев муравьиной и вёлсовской свит можно видеть и на диаграммах La/Sc–Th/Co [Тейлор, МакЛеннан, 1988] и La/Sm–Sc/Th [Geochemistry..., 2003] (рис. 2б, в).

*Систематика редкоземельных элементов.* Средняя величина суммы редкоземельных элементов в черных сланцах муравьиной свиты составляет 316 ± 90 г/т (в постархейском среднем австралийском глинистом сланце, PAAS, этот параметр равен 185 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988]), а в составной пробе глинистых пород Русской платформы, RPSC, – 179 г/т [Мигдисов и др., 1994]); минимальное значение ΣРЗЭ здесь составляет 214 г/т (обр. 2182-1), максимальное – 445 г/т (обр. 2174-3). В сланцах вёлсовской свиты величина ΣРЗЭ заметно ниже – 200 ± 47 г/т. Минимальное значение данного параметра присуще обр. 5126 (≈92 г/т), максимальное характерно для обр. 5097-1 (249 г/т).

Если анализировать в целом всю выборку данных о содержаниях РЗЭ в черных сланцах муравьиной свиты, то хорошо видно, что породы названного литостратиграфического подразделения в существенной мере обогащены легкими лантаноидами; величина (La/Yb)<sub>нср</sub><sup>1</sup> составляет ≈40 (!) при весьма большом значении стандартного отклоне-

<sup>1</sup> Здесь и далее значок “<sub>н</sub>” указывает на нормирование РЗЭ на хондрит [Тейлор, МакЛеннан, 1988].



**Рис. 2.** Положение точек состава черных сланцев муравьиной и вёльсовской свит на ряде дискриминантных диаграмм для реконструкции состава пород-источников сноса.

1 – сланцы муравьиной свиты, 2 – сланцы вёльсовской свиты, 3 – граниты архея, 4 – граниты протерозоя, 5 – ТТГ-ассоциации архея, 6 – ТТГ-ассоциации протерозоя, 7 – базальты позднего архея, 8 – базальты раннего протерозоя (все по [Condie, 1993]).

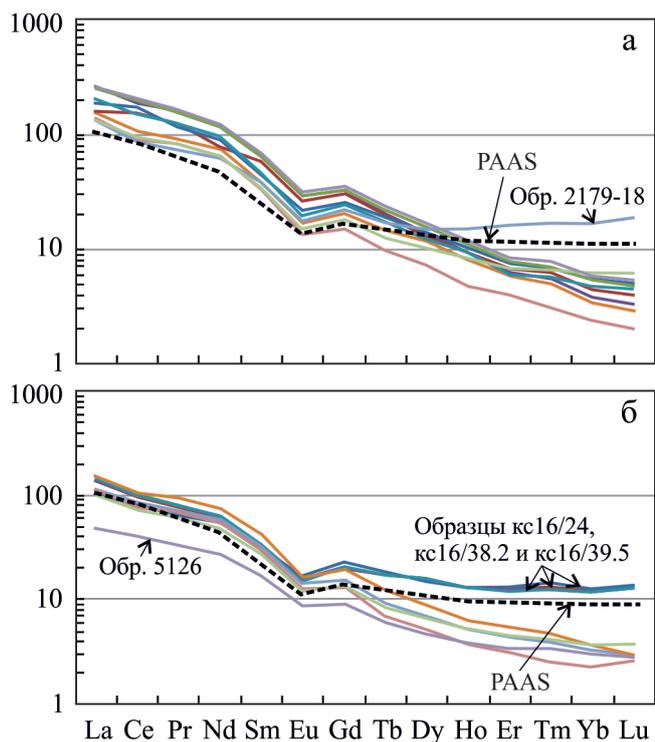
**Fig. 2.** The position of the data points of the black shales of the Murav'inskaya and Velsovskaya formations on discriminant diagrams for reconstructing the composition of the rocks on the catchment areas.

1 – shales of the Murav'inskaya Formation, 2 – shales of the Velsovskaya Formation, 3 – Archean granites, 4 – Proterozoic granites, 5 – Archean TTG-associations, 6 – Proterozoic TTG-associations, 7 – Late Archean basalts, 8 – Early Proterozoic basalts (all according to [Condie, 1993]).

ния ( $\pm 17$ ). Последнее обусловлено тем, что в составе рассматриваемой нами выборки есть образцы как с достаточно низкими значениями  $(La/Yb)_N$  (7.7, обр. 2179-18), так и с высокими (67.7, обр. 2174-18). При этом разброс значений  $(La/Sm)_N$  существенно меньше (минимум 2.0, максимум 4.4). Исходя из среднего значения  $(Gd/Yb)_N$ , составляющего  $5.4 \pm 2.1$ , можно также сделать вывод о заметном деплетировании черных сланцев муравьи-

ской свиты тяжелыми лантаноидами (для 9 образцов из 10 значения данного параметра составляют более  $\approx 3.0$ ). Сланцам этого уровня присуща достаточно выраженная отрицательная европиевая аномалия ( $Eu/Eu^* = 0.62 \pm 0.02$ ) (рис. 2г).

Вместе с тем рассмотрение нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в черных сланцах муравьиной свиты (рис. 3а) приводит к выводу, что среди проанализированных на-



**Рис. 3.** Нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ в черных сланцах муравьиной (а) и вёльсовской (б) свит.

**Fig. 3.** Normalized to chondrite REE spectra in the black shales of Murav'inskaya (a) and Velsovskaya (b) formations.

ми образцов присутствуют как минимум две разные группы. К первой из них, характеризующейся весьма высокими значениями  $(La/Yb)_N$  (минимум 22.0, максимум 67.7) и  $(Gd/Yb)_N$  (минимум  $\approx 3.0$ , максимум 8.6), принадлежат образцы 2174, -3, -10, -16 и -18, 2179-3 и -10, 2182-1 и 5122 (показательно, что два других параметра спектра РЗЭ –  $(La/Sm)_N$  и  $Eu/Eu^*$  – в образцах данной группы достаточно близко к соответствующим величинам в PAAS). Ко второй группе относится обр. 2179-18, распределение лантаноидов в котором не отличается существенно от свойственного PAAS ( $(La/Yb)_N$  – 7.7 и 9.2,  $(Gd/Yb)_N$  – 3.6 и 4.3,  $(La/Sm)_N$  – 1.3 и 1.3,  $Eu/Eu^*$  – 0.61 и 0.65 соответственно).

Даже взяв для сравнения один параметр спектров, а именно величину  $(La/Yb)_{Ncp}$ , составляющую для сланцев муравьиной свиты порядка 40, а для сланцев вёльсовской свиты – около 22, можно видеть, что среди средних составов разных породных ассоциаций, приведенных в публикации [Condie, 1993], такие высокие значения  $(La/Yb)_N$  отсутствуют. Наибольшая величина данного параметра присуща архейской ТТГ-ассоциации ( $\approx 20.3$ ), но три других параметра спектров РЗЭ для нее иные, чем это характерно для черных сланцев муравьиной

свиты:  $(La/Sm)_N$  – 5.6,  $(Gd/Yb)_N$  – 2.4 и  $Eu/Eu^*$  – 0.96. Граниты архея имеют значение  $(La/Yb)_N$  около 17, граниты протерозоя – только  $\approx 9$ , фельзиты разного возраста – от 3.5 до 7, андезиты – от  $\approx 6$  до  $\approx 10$ . Сопоставление нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в черных сланцах муравьиной и вёльсовской свит с составами доверженпротерозойских гранитов, фельзитов, андезитов, базальтов, коматиитов и пород ТТГ-ассоциаций показано на рис. 4.

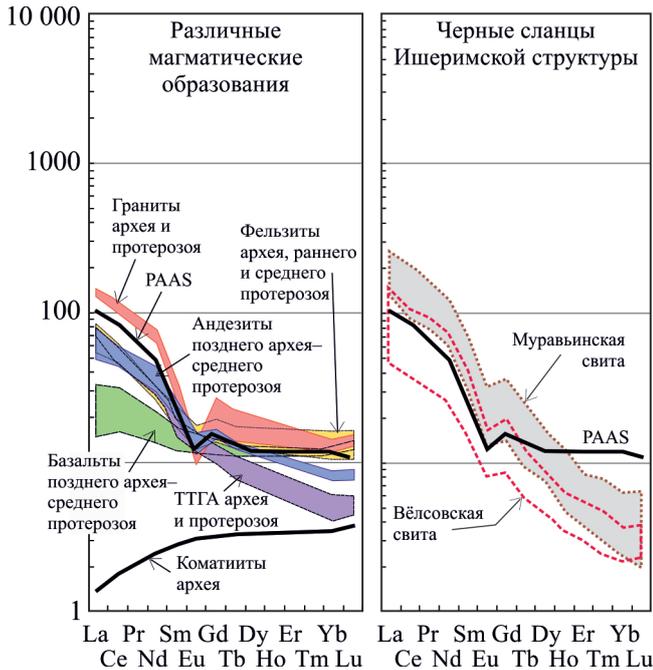
Нормирование РЗЭ в черных сланцах муравьиной свиты к PAAS (рис. 5а), во-первых, демонстрирует существенное деплетирование их тяжелыми лантаноидами ( $(Gd/Yb)_{PAAScp} = 4.0$ ) и, напротив, обогащение легкими ( $(La/Yb)_{PAAScp} = 4.4$ ), во-вторых, показывает существование тех же двух групп, что описаны ранее (существенно отличающиеся от PAAS по обогащенности ЛРЗЭ и сопоставимые по большинству параметров спектра РЗЭ с PAAS), а кроме того, дает возможность выделить еще одну группу. К ней можно отнести сланцы образца 2179-18, для которых параметр  $(La/Yb)_{PAAS}$  составляет  $\approx 6.4$ , а значение  $(Gd/Yb)_{PAAS} \approx 4.6$ .

Для всей выборки черных сланцев вёльсовской свиты характерно также достаточно высокое среднее значение  $(La/Yb)_N$  ( $22.2 \pm 14.8$ ) и некоторое обеднение ТРЗЭ ( $(Gd/Yb)_{Ncp}$  составляет  $3.1 \pm 1.7$ ). При этом средние значения двух других параметров, описывающих общую форму нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ, не отличаются принципиально от их значений, свойственных PAAS ( $(La/Sm)_N$  – 3.7 и 4.3,  $Eu/Eu^*$  – 0.61 и 0.65 соответственно).

Визуализация нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ (см. рис. 3б) позволяет видеть присутствие в составе проанализированной нами выборки, по крайней мере, трех разных групп образцов. Первую составляют 5097-1 и -2, 5098-1 и -2; вторую образуют кс16/24, /37.5, /38.1, /38.2 и /39.5; к третьей принадлежит 5126.

Входящие в первую группу черные сланцы имеют весьма высокое значение  $(La/Yb)_{Ncp}$  ( $\approx 38.0$ ), существенно обеднены ТРЗЭ ( $(Gd/Yb)_{Ncp} = 4.9$ ), но при этом средние величины  $(La/Sm)_N$ , как и  $Eu/Eu^*$ , для них в целом сопоставимы со значениями данных параметров в PAAS, NASC<sup>2</sup> или RPSC. Черные сланцы второй группы по средним значениям всех параметров распределения РЗЭ не отличаются принципиально от большинства “обычных” постархейских глинистых сланцев ( $(La/Yb)_N$  – 10.9,  $(La/Sm)_N$  – 4.0,  $(Gd/Yb)_N$  – 1.7 и  $Eu/Eu^*$  – 0.58). Для обр. 5126 величина  $(La/Yb)_N$  составляет 16.3, а параметр  $(Gd/Yb)_N$  равен 3.1. Исходя из этого, черные сланцы третьей группы можно рассматривать как образования, промежуточные по харак-

<sup>2</sup> Составная проба североамериканских глинистых сланцев [Haskin et al., 1966; Тейлор, МакЛеннан, 1988].



**Рис. 4.** Нормированное на хондрит распределение РЗЭ в разных типах магматических пород [Condie, 1993] и черных сланцах муравьинской и вёлсовской свит.

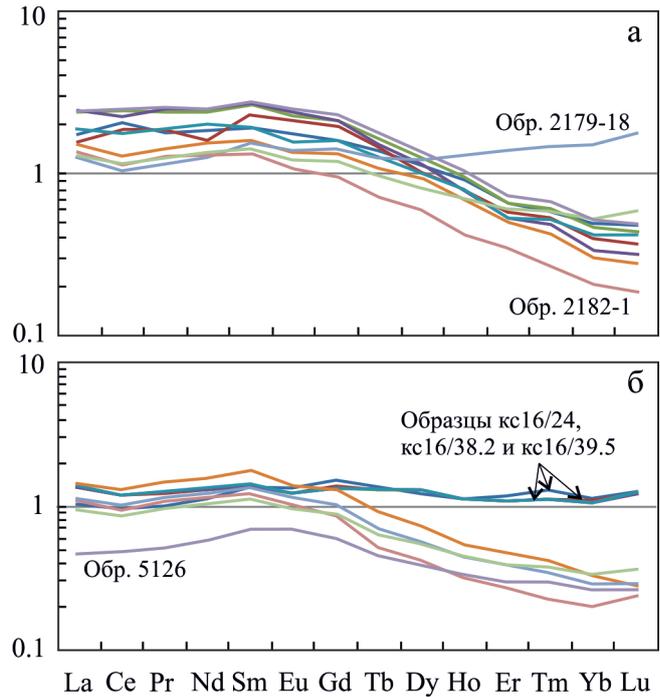
**Fig. 4.** The REE distribution in different types of magmatic rocks, according to [Condie, 1993] and black shales of the Murav'inskaya and Velsovskaya formations, normalized to chondrite.

теру распределения РЗЭ между первой и второй группами.

Наиболее близки к PAAS по распределению РЗЭ черные сланцы второй группы (образцы кс16/24, /37.5, /38.1, /38.2 и /39.5). Образец 5126 (третья группа) отличается от них более высокими значениями  $(La/Yb)_{PAAS}$  и  $(Gd/Yb)_{PAAS}$  (1.8 против 1.2 и 2.3 против 1.3 соответственно) (рис. 5б). Сланцы первой группы характеризуются еще более высокими средними величинами указанных отношений (4.2 и 3.6). Для обр. 5098-1, входящего в эту группу, значение  $(La/Yb)_{PAAS}$  максимально (5.4).

На диаграмме  $(Gd/Yb)_N - Eu/Eu^*$  (Тейлор, МакЛеннан, 1988), вследствие существенного деплетирования тяжелыми и обогащения легкими лантаноидами черных сланцев Ишеримской структуры, распределение фигуративных точек исходно глинистых пород муравьинской и вёлсовской свит иное, нежели это присуще большинству постархейских глинистых пород (см. рис. 2г).

Все это вместе с приведенными данными о характере нормированных на хондрит и PAAS спектров распределения РЗЭ позволяет сделать вывод, что комплексы пород-источников тонкой алюмосиликокластики для черных сланцев двух рассма-



**Рис. 5.** Нормированные на PAAS спектры распределения РЗЭ в черных сланцах муравьинской (а) и вёлсовской (б) свит.

**Fig. 5.** PAAS-normalized the REE spectra in black shales of Murav'inskaya (a) and Velsovskaya (b) formations.

триваемых нами литостратиграфических подразделений имели достаточно специфический состав: они характеризовались относительно повышенными концентрациями легких РЗЭ и пониженными – ТРЗЭ по сравнению с показателями обычных осадочных тонкозернистых алюмосиликокластических образований, типичными представителями которых можно считать PAAS, NASC и RPSC.

Рассмотрим вопрос о возможных комплексах пород-источников сноса подробнее. Известно, что чрезвычайно высокими (несколько сотен и первые тысячи г/т) содержаниями хрома и никеля характеризуются кимберлиты и лампроиты, а также альпинотипные гипербазиты. Чрезвычайно высокие (до 70...120...170) значения  $(La/Yb)_N$  свойственны также лампроитам, кимберлитам и карбонатитам.

Например, карбонатитам Уганды [Loubet et al., 1972] присущи широкие вариации величины указанного параметра, а среднее значение составляет  $\approx 170$ . Карбонатиты Ильменско-Вишневогорского комплекса Южного Урала обладают значительно меньшими величинами  $(La/Yb)_N$  – от 12 до 36 [Недосекова, 2012], при этом содержания хрома составляют в них от 14 до 138 г/т, а никеля – от 10 до 68.

Для лампроитов Cuddapah, Индия [Rao et al., 2004], характерна средняя величина  $(La/Yb)_N = 71 \pm 24$ ; концентрации Cr варьируют от 590 до 1120 г/т, а содержания Ni составляют от  $\approx 400$  до почти 930 г/т. Лампроиты Монтаны, США [Fraser et al., 1985], имеют значение  $(La/Yb)_{Ncp} = 124 \pm 16$ , содержания никеля в них составляют от 20 до 40 г/т. Таким же средним значением  $(La/Yb)_N$  характеризуются лампроиты Западной Австралии [Fraser et al., 1985], содержания Ni варьируют от 26 до 69 г/т.

По данным [Muramatsu, 1983], величина  $(La/Yb)_N$  в среднем кимберлите составляет 84. Для слюдяных кимберлитов Finsch Mine, Южная Африка, этот параметр существенно меньше –  $45 \pm 15$  [Fraser et al., 1985]. Сопоставимые значения указанного параметра характерны для базальтоидных кимберлитов трубки Мир ( $\approx 41$ ) и слюдяных “черных” кимберлитов трубки Премьер, ЮАР, ( $\approx 31$ ) [Магматические..., 1988]. Напротив, кимберлиты первой группы, Южная Африка, обладают средней величиной  $(La/Yb)_N = 122 \pm 24$  [le Roex et al., 2003]. Для кимберлитов Anantapur, Индия [Rao et al., 2004], и кальцитовых кимберлитов жилы Уотер [Магматические..., 1988] значения  $(La/Yb)_N$  составляют  $74 \pm 14$  и  $74$  соответственно. В то же время кимберлиты Накынского поля, Якутия [Толстов и др., 2009], и кимберлиты чикманского комплекса, Средний Урал [Голобурдина и др., 2014], отличаются весьма небольшими средними значениями  $(La/Yb)_N$  ( $11 \pm 3$  и  $19 \pm 8$  соответственно) по сравнению с приведенными ранее. Всем перечисленным примерам кимберлитов свойственны содержания хрома и никеля, составляющие  $n \times 100$  г/т (здесь n варьирует от 4–5 до 12–14).

На рис. 6 показаны нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ в большинстве перечисленных объектов, а также в черных сланцах муравьинской и вёльсовской свит южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория и ПААС. Можно сделать вывод, что спектры РЗЭ в черных сланцах обоих литостратиграфических подразделений отличаются от аналогичных спектров обычных осадочных образований (в частности, от спектра ПААС), с одной стороны, обогащением легкими лантаноидами, с другой – обеднением ТРЗЭ. Это ведет к появлению в них более высоких величин  $(La/Yb)_N$ , наряду с которыми присутствуют отрицательные европиевые аномалии, свойственные постархейским глинистым породам [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. Вместе с данными о распределении фигуративных точек состава черных сланцев муравьинской и вёльсовской свит на дискриминантных диаграммах (см. ранее) это позволяет сделать вывод, что возможными источниками сноса для осадочных образований указанных свит являлись ТТГ-ассоциации архея и/или протерозоя, граниты того же возраста, а также, по всей видимости, неда-

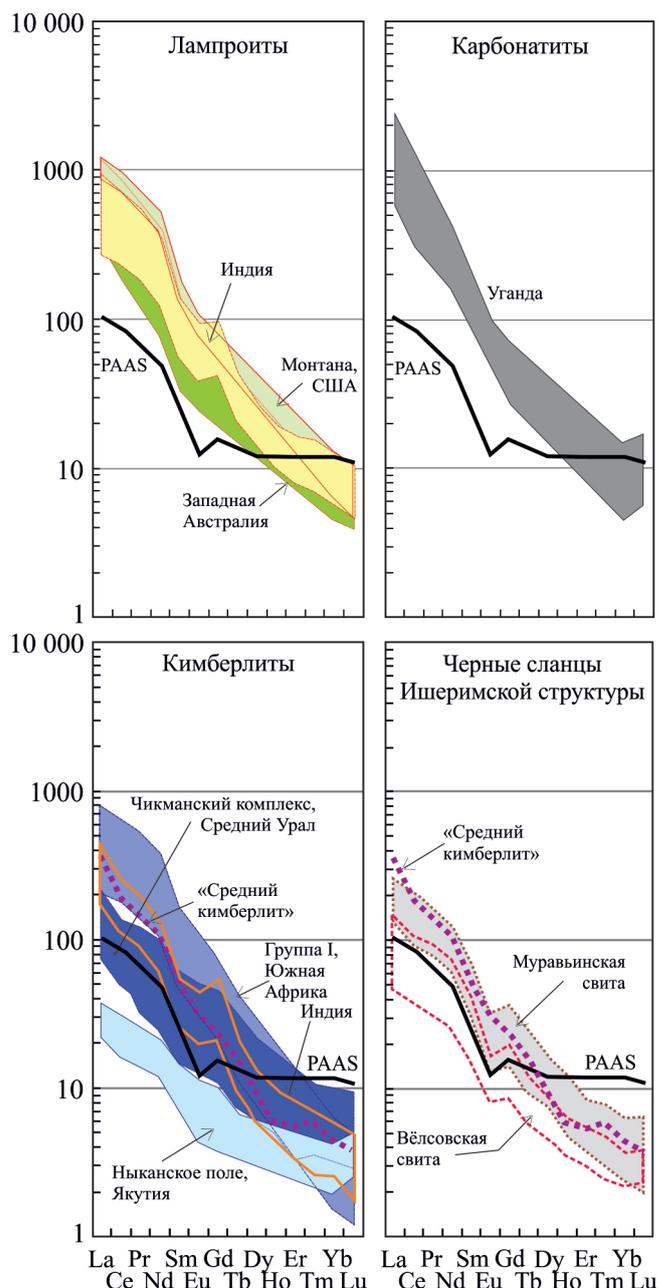


Рис. 6. Нормированное на хондрит распределение РЗЭ в лампроитах, карбонатитах, кимберлитах и черных сланцах муравьинской и вёльсовской свит.

Fig. 6. Normalized to chondrite the REE distribution in lamproites, carbonatites, kimberlites, and black shales of the Muravinsky and Velsovsky formations.

леко расположенные комплексы пород с высокими содержаниями хрома и существенной дифференциацией лантаноидов, сходные по составу с продуктами кимберлитового магматизма.

Такие комплексы в пределах Восточно-Европейской платформы действительно существуют [Носова и др., 2009]. Наиболее ранние из них име-

ют позднепалеопротерозойский возраст. Этот этап представлен проявлением кимберлитов Кимозеро, Карелия, и лампроитами Кировоградского поля, Украина. В конце мезопротерозоя, около 1200–1100 млн лет назад, фиксируется второй этап кимберлитового магматизма. Мезопротерозойские лампроиты и кимберлиты известны на севере платформы в районе Костамукши, Кухмо и Лентиира, запад Карельского кратона. Возраст их варьирует от 1230 до 1250 млн лет [Носова и др., 2009]. Считая, однако, что “кимберлитовая кластика”/продукты разрушения кимберлитов и им подобных образований не транспортируется на столь существенные расстояния, можно предполагать присутствие таких источников где-то вблизи районов современного распространения отложений муравьинской и вёлсовской свит.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта УрО РАН № 15-18-5-35.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голобурдина М.Н., Лукьянова Л.И., Лепехина Е.Н. (2014) Щелочно-ультраосновные породы района горы Благодать (западный склон Среднего Урала). *Региональная геология и металлогения*, (59), 28-41.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации (2006) 1 : 1 000 000. Третье поколение. Уральская серия. Лист Р-40 (Североуральск). Объясн. зап. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 332 с.
- Магматические горные породы (1988) Ультраосновные горные породы. Отв. ред. Е.Е. Лазько, Е.В. Шарков. М.: Наука, 488 с.
- Мигдисов А.А., Балашов Ю.А., Шарков И.В., Шерстников О.Г., Ронов А.Б. (1994) Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы. *Геохимия*, (6), 789-803.
- Недосекова И.Л. (2012) Возраст и источники вещества Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Урал, Россия): геохимические и изотопные Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf данные. *Литосфера*, (5), 77-95.
- Носова А.А., Кононова В.А., Самсонов А.В., Ушков В.В. (2009) Докембрийские кимберлиты Восточно-Европейского кратона. *Минералогия докембрия. Мат-лы всерос. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН*, 189-193.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В. (2015а) Проявление гренвилльской орогении в рифейских толщах Северного Урала: термодинамические параметры метаморфизма и Sr-Nd изотопные ограничения. *Докл. АН*, **462**(6), 686-691.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В. (2015б) Первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования обломочных цирконов из метапесчаников Ишеримского антиклинария (Северный Урал). *Докл. АН*, **464**(5), 589-593.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). (1993) Екатеринбург: Роскомнедра; ИГГ УрО РАН.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
- Тимофеев П.П. (1994) Аспекты развития учения об осадочных формациях (к теории формационного анализа). *Литология и полезные ископаемые*, (6), 3-22.
- Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. (2009) Новое тело высокоалмазных кимберлитов в Накынском поле Якутской кимберлитовой провинции. *Геология и геофизика*, **50**(3), 227-240.
- Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, **104**, 1-37.
- Fraser K.J., Hawkesworth C.J., Erlank A.J., Mitchell R.H., Scott-Smith B.H. (1985, 1986) Sr, Nd and Pb isotope and minor element geochemistry of lamproites and kimberlites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **76**, 57-70.
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. (2003) Ed. D.R. Lentz. Geological Ass. Canada. GEOText 4, 184 p.
- Haskin L.A., Wildeman T.R., Frey F.A., Collins K.A., Keeley C.R., Haskin M.A. (1966) Rare earths in sediments. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **71**, 6091-6105.
- le Roex A.P., Bell D.R., Davis P. (2003) Petrogenesis of Group I Kimberlites from Kimberley, South Africa: Evidence from Bulk-rock Geochemistry. *J. Petrol.*, **44**, 2261-2286.
- Loubet M., Bernat M., Javoy M., Allegre C.J. (1972) Rare earth contents in carbonatites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **14**, 226-232.
- Muramatsu Y. (1983) Geochemical investigations of kimberlites from the Kimberley area, South Africa. *Geochemical J.*, **17**, 71-86.
- Rao N.V.C., Gibson S.A., Pyle D.M., Dickin A.P. (2004) Petrogenesis of Proterozoic Lamproites and Kimberlites from the Cuddapah Basin and Dharwar Craton, Southern India. *J. Petrol.*, **45**, 907-948.

#### REFERENCES

- Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, **104**, 1-37.
- Fraser K.J., Hawkesworth C.J., Erlank A.J., Mitchell R.H., Scott-Smith B.H. (1985, 1986) Sr, Nd and Pb isotope and minor element geochemistry of lamproites and kimberlites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **76**, 57-70.
- Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. (2003) Ed. D.R. Lentz. Geological Ass. Canada. GEOText 4, 184 p.
- Goloburдина M.N., Luk`yanova L.I., Lepехina E.N. (2014) Alkaline-ultramafic rocks of the Blagodat' Mountains region (western slope of the Middle Urals). *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, **59**, 28-41. (In Russian)
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii (2006) 1 : 1 000 000. Tret'e pokolenie. Ural'skaya seriya. List R-40 (Severoural'sk). Ob'yasn. zap. [State Geological Map of the Russian Federation 1 : 1 000 000. The third generation. The Ural series. Sheet P-40 (Severoural'sk). Explained. Note]. St.Petersburg, Kartfabrika VSEGEI, 332 p. (In Russian)
- Haskin L.A., Wildeman T.R., Frey F.A., Collins K.A., Keeley C.R., Haskin M.A. (1966) Rare earths in sediments.

- J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **71**, 6091-6105.
- le Roex A.P., Bell D.R., Davis P. (2003) Petrogenesis of Group I Kimberlites from Kimberley, South Africa: Evidence from Bulk-rock Geochemistry. *J. Petrol.*, **44**, 2261-2286.
- Loubet M., Bernat M., Javoy M., Allegre C.J. (1972) Rare earth contents in carbonatites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **14**, 226-232.
- Magmaticheskie gornye porody. Ul'traosnovnye gornye porody.* (1988) (Otv. red. E.E. Laz'ko, E.V. Sharkov) [Magmatic rocks. Ultrabasic rocks. (Eds: E.E. Laz'ko, E.V. Sharkov)]. Moscow, Nauka Publ., 488 p. (In Russian)
- Migdisov A.A., Balashov Yu.A., Sharkov I.V., Sherstennikov O.G., Ronov A.B. (1994) The abundance of rare-earth elements in the main lithological types of rocks of the sedimentary cover of the Russian Platform. *Geokhimiya*, (6), 789-803. (In Russian)
- Muramatsu Y. (1983) Geochemical investigations of kimberlites from the Kimberley area, South Africa. *Geochemical J.*, **17**, 71-86.
- Nedosekova I.L. (2012) Age and sources of matter of the Ilmen-Vishnevogorsk alkaline complex (Ural, Russia): Geochemical and isotope Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf data. *Litosfera*, (5), 77-95. (In Russian)
- Nosova A.A., Kononova V.A., Samsonov A.V., Ushkov V.V. (2009) *Minerageniya dokembriya. Materialy Vseros. konf.* [Minerageny Precambrian. Materials All-Russian. Conf.]. Petrozavodsk.; KarNTs RAN, 189-193. (In Russian)
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Gerdes A., Maslov A.V. (2015b) The first results of U-Pb (LA-ICP-MS) destination of detrital zircons from metasediments of the Ishirim anticlinorium (Northern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **464**(5), 589-593. (In Russian)
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Maslov A.V. (2015a) Manifestation of Grenville orogeny in the Riphean strata of the Northern Urals: thermodynamic parameters of metamorphism and Sr-Nd isotopic constraints. *Dokl. Akad. Nauk*, **462**(6), 686-691. (In Russian)
- Rao N.V.C., Gibson S.A., Pyle D.M., Dickin A.P. (2004) Petrogenesis of Proterozoic Lamproites and Kimberlites from the Cuddapah Basin and Dharwar Craton, Southern India. *J. Petrol.*, **45**, 907-948.
- Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrii, paleozoi)* (1993) [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg, Roskomnedra; IGG UrO RAN. (In Russian)
- Taylor S.R., MakLennan S.M. (1988) *Kontinental'naya kora: ee sostav i evolyutsiya* [Continental crust: its composition and evolution]. Moscow, Mir Publ., 384 p. (In Russian)
- Timofeev P.P. (1994) Aspects of the development of the theory of sedimentary formations (to the theory of formational analysis). *Litol. Polezn. Iskop.*, (6), 3-22. (In Russian)
- Tolstov A.V., Minin V.A., Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Razumov A.N. (2009) A new body of high-diamond-bearing kimberlites in the Nakynsky field of the Yakut kimberlite province. *Geol. Geofiz.*, **50**(3), 227-240.