

## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ КАРБОНАТНЫХ ПЛАТФОРМ НА РУБЕЖЕ РАННЕГО И СРЕДНЕГО КАРБОНА (ЮЖНЫЙ И СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2018 г. Г. А. Мизенс, С. А. Дуб

Детально изучены концентрация и распределение редкоземельных элементов в пограничных нижне-среднекаменноугольных известняках из девяти разрезов восточного склона Южного и Среднего Урала, а также в двух разрезах на западном склоне. Показано, что низкое содержание лантаноидов главным образом свойственно известнякам восточного склона Южного Урала, а высокое – некоторых разрезов Среднего Урала. Среди спектров распределения выделяется несколько разновидностей. Установлено, что в некоторых разрезах у известняков серпуховского и башкирского ярусов характеристики РЗЭ различаются. Для большинства изученных образцов характерна почти одинаковая Eu-аномалия (0.6–0.7), а отрицательные Се-аномалии глубокие почти у всех проанализированных пород (за исключением разрезов на реках Исеть и Кунара). Некоторые особенности распределения лантаноидов отражают также воздействие эндогенных процессов на рассматриваемые карбонаты.

### ВВЕДЕНИЕ

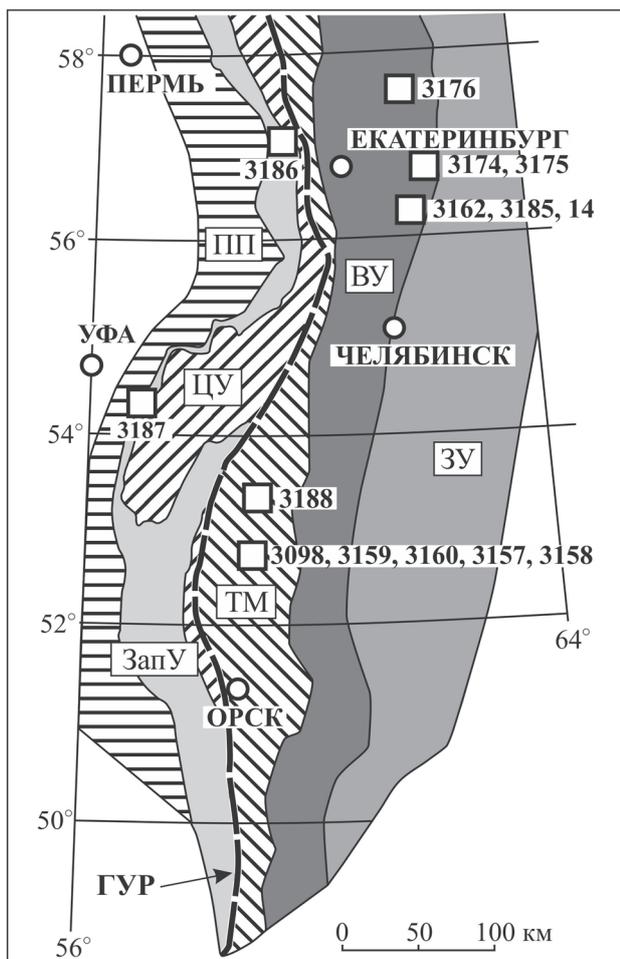
Одним из основных источников редкоземельных элементов (РЗЭ), содержащихся в осадочной породе (в том числе в относительно чистых седиментогенных карбонатах), является морская вода [Тейлор, МакЛеннан, 1988; Дубинин, 1998; Летникова, 2003; Шатров, Войцеховский, 2009; и др.]. Следовательно, характер распределения лантаноидов в таких породах может рассматриваться как индикатор условий среды осадконакопления. В этом отношении интерес представляют известняки, отлагавшиеся в конце раннего и начале среднего карбона в бассейнах Южного и Среднего Урала. На востоке (в современных координатах) они представляли часть протяженной (изолированной) карбонатной платформы [Мизенс и др., 2012], которая существовала в конце раннего карбона на аккреционной окраине Восточно-Европейского континента в остаточном бассейне. В башкирском веке, с началом жесткой, по В.Н. Пучкову [2000], коллизии с Казахстанским континентом, платформа начала распадаться, в ее пределах появились глубоководные, преимущественно сдвиговые бассейны [Мизенс и др., 2012]. В то же время на современном западном склоне Урала ниже- и среднекаменноугольные известняки формировались на окраине эпиконтинентальной Восточно-Европейской платформы.

### ОБЪЕКТЫ И МАТЕРИАЛ

В целях уточнения упомянутой информации было проанализировано поведение РЗЭ в известняках из девяти разрезов восточного склона Южного и Среднего Урала (шести и трех соответственно; рис. 1). На Южном Урале это обнажения 3157

и 3158 (левобережье р. Бол. Кизил, в 4.5 км выше с. Кизильское), 3098 (на левом берегу р. Худолаз напротив д. Чернышевка), 3159 и 3160 (левобережье р. Худолаз, в 2.5 км ниже упомянутой деревни) и 3188 (верховья руч. Таштуй, левого притока р. Янгелька). На р. Бол. Кизил пограничный серпуховско-башкирский интервал разреза обнажается в бортах двух небольших логов – южного (3157) и северного (3158), отстоящих друг от друга на 100 м. В северном логу вскрыты породы верхней части серпуховского и основания башкирского ярусов [Кулагина и др., 2001; Kulagina et al., 2009]. В южном – обнажаются породы предположительно верхней части серпуховского яруса общей видимой мощностью 10–12 м. В обн. 3098 (разрез Чернышевка) опробованный интервал (8–10 м) относится к серпуховскому ярусу [Степанова и др., 2013]. Наиболее полный фрагмент верхов серпуховского – низов башкирского ярусов (около 45 м) представляет собой обнажение 3159, расположенное в правом борту левого притока (лога) р. Худолаз [Сапурин, Степанова, 2016]. На левом берегу реки, в 300 м ниже устья лога, вскрыты известняки видимой мощностью 5–6 м, относящиеся к верхам серпуховского яруса (обн. 3160). Разрез на руч. Таштуй (3188) представляет верхнюю часть серпуховского яруса. Его видимая мощность 20–22 м.

На Среднем Урале опробованы разрезы на правобережье р. Исеть выше г. Каменск-Уральский (карьер “Уралнеруд” – обн. 3162 и 3185 + 14), на левом берегу р. Реж напротив д. Луговая (обн. 3176) и в старом карьере на правобережье р. Кунара (правом притоке р. Пышма), около д. Попово (3174 и 3175). Пограничный интервал (около 10 м) серпуховского и башкирского ярусов в карьере “Уралнеруд” опробован 2 раза. Верхи серпуховского яру-



**Рис. 1.** Расположение опробованных разрезов на Южном и Среднем Урале.

Восточный склон Южного Урала: Чернышевка (3098), Худолаз (3160), Худолаз-лог (3159), Большой Кизил (3157 и 3158), Таштуй (3188); восточный склон Среднего Урала: Исетский карьер правобережный (3162 и 3185), Кунара (3174 и 3175), Луговая (3176); западный склон Среднего Урала: Бражка (3186); западный склон Южного Урала: Аскын (3187). Мегазоны [Пучков, 2010]: ЗУ – Зауральская, ВУ – Восточно-Уральская, ЦУ – Центрально-Уральская, ЗапУ – Западно-Уральская, ТМ – Тагило-Магнитогорская, ПП – Предуральский прогиб, ГУР – Главный Уральский разлом.

са в этом разрезе представлены слоистыми известняками, выше залегают массивные известняковые брекчии ключевской свиты башкирского яруса [Степанова и др., 2001; Чувазов и др., 2002; Мизенс и др., 2012]. На р. Реж серпуховская часть разреза представлена массивными известняками, основание башкирского яруса сложено слоистыми органогенно-обломочными карбонатами (калькаренидами). Мощность опробованного интервала около 20 м. В карьере на р. Кунара (3174 и 3175) слоистые известняки (серпуховский ярус) перекрываются известняковой брекчией (башкирский ярус). Отсюда взято всего три образца.

Опробованы также два разреза на западном склоне Урала. Здесь из пограничного интервала отобраны образцы в скале Бражка (Бражка), на правом берегу р. Чусовая ниже пос. Староуткинск (обн. 3186) и на юге – в верховьях р. Аскын (левого притока р. Инзер), выше дачного поселка Аскын (3187). В обоих разрезах кровля серпуховского яруса сложена брахиоподовым ракушняком, низы башкирского – микрозернистой породой с плохо выраженной слоистостью. На самой границе имеются признаки небольшого размыва.

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Концентрация и распределение РЗЭ<sup>1</sup> в пределах опробованных карбонатных разрезов изменчивые. Тем не менее некоторые закономерности вполне уверенно прослеживаются. Так, содержание лантаноидов в целом в рассматриваемых известняках колеблется от 0.4 до 14.0 г/т, в отдельных случаях даже до 30.0 г/т и более. При этом низкое содержание в основном свойственно известнякам восточного склона Южного Урала (средние значения по разрезам от 0.9 до 2.7 г/т, лишь в одном из разрезов на р. Бол. Кизил – 4.4 г/т, а на р. Худолаз около д. Чернышевка – 5.5 г/т). Относительно низкая (в среднем 3.9 г/т) и равномерная (1.7–7.7 г/т) концентрация РЗЭ наблюдается и в разрезе 3176 (р. Реж) на Среднем Урале, в то время как в известняках, вскрытых карьером на р. Исеть (обн. 3185), имеют место значительные колебания этой величины (1.4–31.2 г/т, в среднем 13.1 г/т), что, возможно, определяется неравномерной примесью частиц вулканического пепла, прослой которого присутствуют в данном разрезе [Мизенс и др., 2017]. Кроме того, на этом уровне отмечаются существенная доломитизация и окремнение пород, а также высокая концентрация железа и марганца, что могло повлиять на содержание лантаноидов [Стрекопытов и др., 1999; Дубинин, 1998]. Сходная ситуация обнаруживается и в обн. 3175 на р. Кунара. Здесь в одной из проб концентрация РЗЭ достигает 65.3 г/т (при этом содержание SiO<sub>2</sub> в ней составляет 23.2%). Таким образом, вероятнее всего, высокие значения  $\Sigma$ РЗЭ в некоторых известняках обусловлены вторичными процессами. На западном склоне Урала в известняках обоих разрезов средняя концентрация лантаноидов относительно невысокая (Бражка – 4.9 г/т, Аскын – 4.7 г/т), однако колебания суммарных значений довольно заметные. Например, в разрезе Бражка концентрация меняется от 1.7 до 8.8 г/т, причем наиболее высокая (5.5–8.8 г/т) относится к породам башкирского яруса.

<sup>1</sup> Определение РЗЭ выполнено в лаборатории ФХМИ Института геологии и геохимии УрО РАН методом ICP MS (аналитики Д.В. Киселева, Н.В. Чередниченко, Л.К. Дерюгина).

Низкая концентрация РЗЭ может быть связана с высокой скоростью осадконакопления и крайне низким содержанием железа и марганца (в частности, Mn, как правило, всего несколько десятков грамм на тонну). В мелководной, богатой кислородом среде на фоне низкой скорости осадконакопления происходит обогащение осадка РЗЭ путем

осаждения их из морской воды на оксигидроксидах железа и марганца [Дубинин, 1998; Стрекопытов и др., 1999].

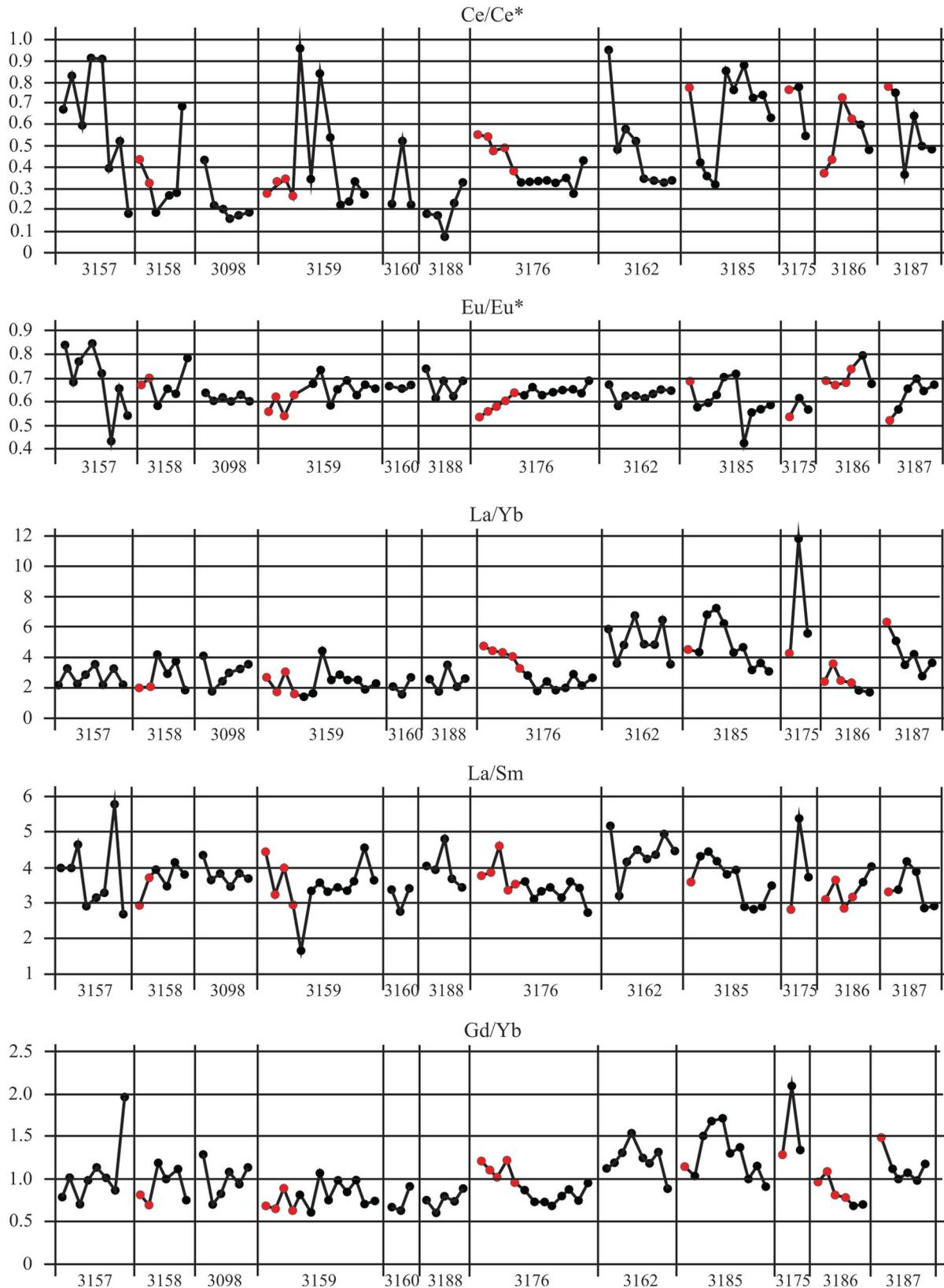
Особенности распределения лантаноидов (нормированных на хондрит) в изученных пограничных  $C_1/C_2$  известняках наглядно видны в табл. 1 и на рис. 2–4. При этом обращает на себя внимание,

**Таблица 1.** Средние, минимальные и максимальные содержания редкоземельных элементов и величин важнейших коэффициентов РЗЭ в известняках

Элемент	Разновидность спектров РЗЭ					
	Восточный склон Южного Урала (А)		Восточный склон Среднего Урала (Б)			Западный склон Южного и Среднего Урала (В)
	Разрезы 3098, 3158, 3159, 3160, 3188	Разрез 3157	Разрез 3176	Разрезы 3162, 3185, 14 (четвертая разновидность)	Разрезы 3162-6, 3185, 3175 (пятая разновидность)	
La	<u>0.761</u> 0.047–2.226	<u>0.146</u> 0.099–0.263	<u>0.935</u> 0.424–2.042	<u>3.758</u> 1.891–9.236	<u>0.343</u> 0.158–0.570	<u>1.024</u> 0.343–1.850
Ce	<u>0.352</u> 0.047–0.993	<u>0.190</u> 0.071–0.246	<u>0.789</u> 0.259–1.809	<u>3.516</u> 1.177–8.257	<u>0.528</u> 0.247–0.828	<u>1.133</u> 0.317–1.960
Pr	<u>0.133</u> 0.008–0.392	<u>0.027</u> 0.015–0.041	<u>0.179</u> 0.078–0.337	<u>0.755</u> 0.314–1.689	<u>0.069</u> 0.034–0.100	<u>0.214</u> 0.063–0.384
Nd	<u>0.605</u> 0.033–1.859	<u>0.115</u> 0.064–0.166	<u>0.758</u> 0.335–1.355	<u>3.088</u> 1.374–6.806	<u>0.278</u> 0.133–0.399	<u>0.926</u> 0.263–1.806
Sm	<u>0.132</u> 0.009–0.406	<u>0.023</u> 0.016–0.029	<u>0.165</u> 0.075–0.283	<u>0.632</u> 0.269–1.405	<u>0.055</u> 0.028–0.090	<u>0.198</u> 0.054–0.379
Eu	<u>0.035</u> 0.001–0.097	<u>0.007</u> 0.004–0.011	<u>0.039</u> 0.023–0.065	<u>0.142</u> 0.068–0.326	<u>0.012</u> 0.007–0.017	<u>0.050</u> 0.017–0.111
Gd	<u>0.213</u> 0.012–0.691	<u>0.042</u> 0.033–0.059	<u>0.235</u> 0.108–0.421	<u>0.826</u> 0.394–1.795	<u>0.073</u> 0.034–0.103	<u>0.273</u> 0.107–0.630
Tb	<u>0.033</u> 0.002–0.095	<u>0.005</u> 0.003–0.007	<u>0.035</u> 0.016–0.060	<u>0.121</u> 0.058–0.252	<u>0.010</u> 0.004–0.015	<u>0.042</u> 0.017–0.096
Dy	<u>0.247</u> 0.019–0.705	<u>0.038</u> 0.025–0.057	<u>0.258</u> 0.122–0.435	<u>0.829</u> 0.395–1.640	<u>0.064</u> 0.038–0.093	<u>0.305</u> 0.124–0.733
Ho	<u>0.063</u> 0.004–0.175	<u>0.011</u> 0.006–0.018	<u>0.065</u> 0.032–0.110	<u>0.188</u> 0.086–0.357	<u>0.014</u> 0.009–0.021	<u>0.077</u> 0.036–0.188
Er	<u>0.211</u> 0.016–0.552	<u>0.043</u> 0.028–0.069	<u>0.216</u> 0.106–0.351	<u>0.591</u> 0.270–1.112	<u>0.046</u> 0.029–0.066	<u>0.259</u> 0.131–0.620
Tm	<u>0.030</u> 0.002–0.076	<u>0.006</u> 0.003–0.008	<u>0.031</u> 0.015–0.052	<u>0.083</u> 0.035–0.166	<u>0.006</u> 0.003–0.010	<u>0.036</u> 0.018–0.085
Yb	<u>0.197</u> 0.013–0.455	<u>0.038</u> 0.025–0.058	<u>0.204</u> 0.100–0.325	<u>0.554</u> 0.256–1.157	<u>0.041</u> 0.024–0.061	<u>0.225</u> 0.129–0.519
Lu	<u>0.031</u> 0.003–0.075	<u>0.006</u> 0.003–0.010	<u>0.034</u> 0.018–0.053	<u>0.087</u> 0.035–0.157	<u>0.006</u> 0.004–0.009	<u>0.036</u> 0.020–0.086
Сумма РЗЭ	<u>3.042</u> 0.411–8.549	<u>0.698</u> 0.44–1.022	<u>3.943</u> 1.728–7.665	<u>15.171</u> 6.950–31.204	<u>1.547</u> 0.753–2.217	<u>4.800</u> 1.713–8.835
$La_n/Yb_n$	<u>2.527</u> 1.428–4.268	<u>2.680</u> 2.071–3.429	<u>2.988</u> 1.846–4.626	<u>4.807</u> 2.993–7.133	<u>5.980</u> 4.310–11.659	<u>3.286</u> 1.837–4.155
$La_n/Sm_n$	<u>3.590</u> 1.637–4.756	<u>3.934</u> 2.896–5.710	<u>3.462</u> 2.704–4.543	<u>3.954</u> 2.824–4.895	<u>3.935</u> 2.703–5.356	<u>3.381</u> 2.828–4.155
$Gd_n/Yb_n$	<u>0.841</u> 0.600–1.282	<u>0.930</u> 0.702–1.131	<u>0.918</u> 0.692–1.219	<u>1.218</u> 0.875–1.660	<u>1.477</u> 1.145–2.082	<u>0.989</u> 0.682–1.483
LREE/HREE	4.27	4.23	3.77	3.25	2.66	3.42
Eu/Eu*	<u>0.63</u> 0.54–0.78	<u>0.68</u> 0.43–0.84	<u>0.62</u> 0.53–0.69	<u>0.61</u> 0.56–0.65	<u>0.62</u> 0.41–0.71	<u>0.67</u> 0.52–0.80
Ce/Ce*	<u>0.33</u> 0.08–0.83	<u>0.69</u> 0.40–0.91	<u>0.39</u> 0.28–0.56	<u>0.46</u> 0.31–0.72	<u>0.77</u> 0.58–0.88	<u>0.56</u> 0.37–0.78

Примечание. В числителе – среднearифметическое содержание, в знаменателе – минимальное и максимальное содержание, г/т.  $LREE/HREE = (La_n/Sm_n)/(Gd_n/Yb_n)$  – средние. А–В см. на рис. 2.





**Рис. 3.** Величины цериевой и европиевой аномалий, соотношение легких и тяжелых лантаноидов в изученных разрезах.

Здесь и на рис. 4 стратиграфическая последовательность в разрезах (от более древних к более молодым) показана по направлению справа налево. Черные точки относятся к известнякам серпуховского яруса, красные – башкирского.

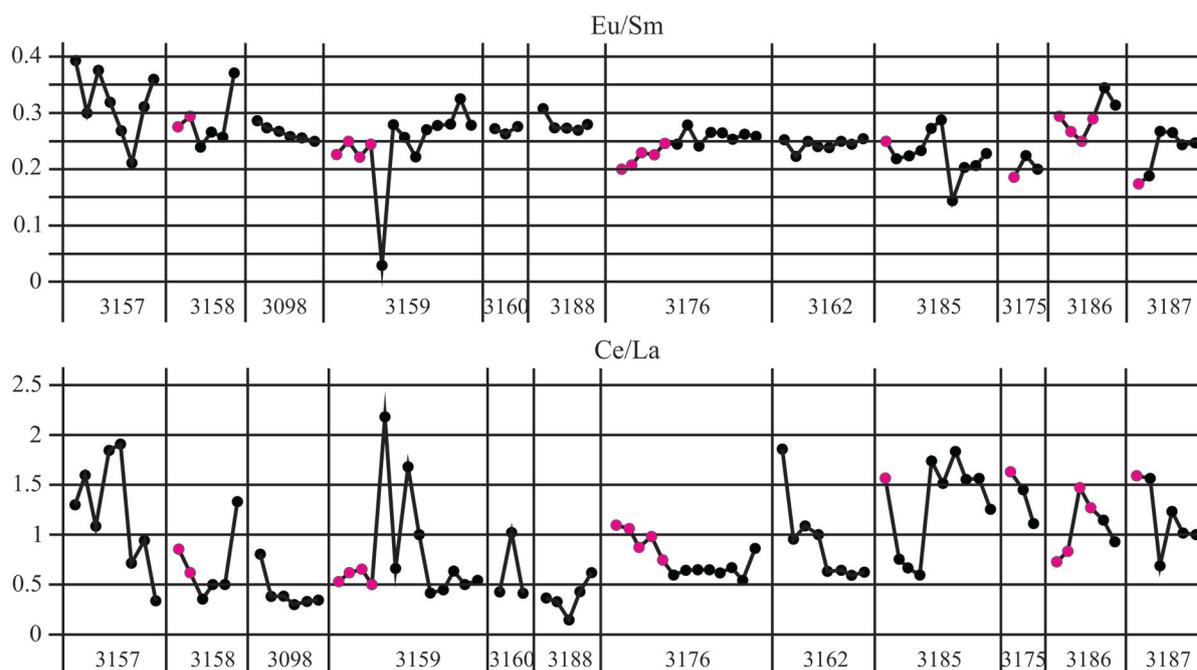


Рис. 4. Коэффициенты, отражающие эндогенное воздействие на осадочные породы.

что среди спектров РЗЭ отчетливо выделяется несколько разновидностей (см. рис. 2, табл. 1). Одну из них представляют разрезы восточного склона Южного Урала (3098, 3158, 3159, 3160, 3188). Характерными для нее являются низкое содержание лантаноидов – в среднем 3.0 г/т (по разрезам 1.7–4.4 г/т) и глубокая цериевая аномалия (чаще всего в интервале 0.2–0.4). Другую разновидность представляет разрез 3157, также расположенный на Южном Урале. В отличие от остальных разрезов этого региона здесь значительно более низкое содержание лантаноидов (в среднем 0.7 г/т) и существенно более пологая аномалия церия (чаще всего 0.4–0.9, в среднем 0.7). Кроме того, аномалия европия очень изменчивая. К третьей разновидности относится спектр лантаноидов из разреза 3176 на Среднем Урале, для которого характерны выдержанность свойств и сходство с разрезами Южного Урала. Более сложными являются четвертая и пятая разновидности. Они относятся к разрезу Исетского карьера (3162-2, 3, 4, 4а, 5, 7; 3185-1, 2, 3; 14-1, 2, 2а и 3162-6; 3185-4, 8, 9, 10 соответственно) и характеризуется своеобразным наклоном кривых (у четвертой разновидности  $La_n/Yb_n = 3.0–7.1$ , в среднем 4.8;  $Gd_n/Yb_n = 0.8–1.6$ , в среднем 1.2, у пятой – 4.3–11.7, в среднем 6.0; 1.1–2.1, в среднем 1.5 соответственно). Однако у спектра четвертой разновидности имеется заметная аномалия церия (0.31–0.72), в то время как у пятой она слабо выражена (0.58–0.88). К последней относится и карьер на р. Кунара (3174, 3175). Шестую разновидность спектров представляют два разреза Западного Урала (3186 и 3187). Правда, это в некоторой степени условно,

так как в целом они мало отличаются от восточноуральских. В то же время имеются небольшие различия между ними – в том числе по наклонам кривых и европиевой аномалии. У известняков из обн. 3186 отношение  $Gd_n/Yb_n = 0.7–1.1$  (в среднем 0.8), а  $La_n/Yb_n = 1.8–3.5$  (в среднем 2.4), в то время как в обн. 3187 – 1.0–1.5 (в среднем 1.14) и 2.7–6.2 (в среднем 4.2) соответственно.  $Eu/Eu^* = 0.67–0.79$  (в среднем 0.71) и 0.51–0.70 (в среднем 0.62).

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Как следует из описанных характеристик, у известняков серпуховского и башкирского ярусов в некоторых случаях прослеживаются несколько различные свойства лантаноидов. Наиболее отчетливо это видно в разрезе 3176 (Средний Урал), а также в разрезах западного склона Урала – 3186 и 3187 (см. рис. 3, 4). Примечательно, что указанные разрезы характеризуются более или менее отчетливо выраженными перерывами в осадконакоплении. В то же время на востоке Южного Урала в наиболее полном разрезе на р. Худолаз (3159) упомянутые различия гораздо менее выражены. Между соседними обнажениями на р. Бол. Кизил (3157 и 3158) также отмечаются существенные различия в значениях концентрации РЗЭ, что наталкивает на мысль о временном промежутке между этапами формирования представленных в этих логах отложений. Однако это может быть связано и с тектоникой.

Как в свое время отметила Е.Ф. Летникова [2003], контролирующими факторами в распределении РЗЭ являются глубина бассейна и ско-

рость накопления карбонатов, а также физико-химические и геодинамические особенности обстановок седиментогенеза. Последние отражаются в отношении LREE/HREE<sup>2</sup>. Для пород пассивной континентальной окраины указанное отношение, по данным Е.Ф. Летниковой, находится в пределах 6–4, активной континентальной окраины – 4–2, для осадков океанических островов – менее 2. На основании этих выводов все изученные известняки относятся к породам активной континентальной окраины (отношение LREE/HREE в пределах 2–4; см. табл. 1). Лишь образцы южноуральских известняков восточного склона попадают на границу пассивной и активной окраины (LREE/HREE = 4.23 и 4.27). Таким образом, полученные выводы не в полной мере согласуются с геологическими данными. В частности, предполагается, что карбонаты восточного склона Урала осаждались в остаточном бассейне, который в свое время образовался на активной окраине, следовательно, все разрезы восточного склона Урала должны были характеризоваться отношением LREE/HREE на уровне 4–2. В то же время карбонаты западного склона Урала по геологическим данным являются эпиконтинентальными образованиями и могут быть сопоставлены с отложениями, принадлежащими пассивной окраине континента. Однако по соотношению LREE/HREE они тоже попадают в поле активной окраины (2.66 и 3.42). По мнению указанного автора [Летникова, 2003], слабо наклонные кривые распределения РЗЭ с легким обогащением LREE в целом характерны для карбонатных отложений окраин континентов и микроконтинентов (как пассивных, так и активных).

Для большинства изученных образцов характерна практически одинаковая (0.6–0.7) Eu-аномалия (см. рис. 2, 3). Лишь в некоторых разрезах (в основном на востоке Среднего Урала) встречаются и более глубокие (до 0.5), а в разрезах Большой Кизил на Южном Урале и Бражка на западном склоне – единичные образцы с аномалиями 0.7–0.8. Такие значения Eu/Eu\* в целом характерны для карбонатных пород окраин континентов в фанерозое [Летникова, 2003]. Предполагается, что подобная ситуация связана с источниками материала для терригенной примеси в карбонатных породах, которым было свойственно наличие Eu-минимума.

Другим элементом, свидетельствующим о том, что основным источником РЗЭ для карбонатов служила морская вода, является церий. Концентрация этого элемента в осадочных породах хорошо отражает окислительно-восстановительную обстановку на дне бассейна и в верхних слоях осадка [Балашов, 1976]. Подавляющее большинство изученных карбонатов характеризуется существенными отрицательными цериевыми аномалиями. Тако-

вые характерны как раз для отложений, сформировавшихся в равновесии с морской водой [Юдович, Кетрис, 2011]. Известно, что в кислородной среде последняя теряет Ce, который в такой обстановке меняет валентность (III на IV) и легко переходит в нерастворимые соединения, абсорбируемые Fe-Mn-гидроксидами [Дубинин, 1998]. Таким образом, спектр РЗЭ в нормально-морских карбонатах, формирующихся в пределах большинства карбонатных платформ, характеризуется унаследованным от воды дефицитом церия. В большинстве случаев в изученных нами объектах (как в восточноуральских, так и в западных) подобная картина тоже наблюдается. Однако для ряда проб (принадлежащих разрезам на реках Исеть и Кунара), как отмечалось ранее, характерна не очень глубокая аномалия церия (0.62–0.95), свидетельствующая о близких к восстановительным обстановкам осадконакопления. Это наблюдение подтверждается и литологическими особенностями пород (в первую очередь наличием большого количества органического вещества пленочного типа). О том, что источником РЗЭ в рассматриваемых известняках в значительной степени была морская вода, свидетельствуют также вогнутая (корытообразная) форма кривой распределения [Балашов, 1976] и низкая сумма РЗЭ.

Некоторые особенности распределения лантаноидов (а именно коэффициенты Eu/Eu\*, Eu/Sm, Ce/La) могут быть использованы также для оценки эндогенного воздействия на осадочные образования [Шатров, Войцеховский, 2013]. Так, нормированное по хондриту отношение Eu/Eu\* характеризует поступление глубинного вещества в зону седиментогенеза за счет гидротермальных и вулканических процессов, флюидомассопереноса, при разрушении и выветривании базитов и гипербазитов [Балашов, 1985; Тейлор, МакЛеннан, 1988; Гурвич, 1998; Лисицын, 2000]. Отсюда среднее значение Eu/Eu\* для осадочных пород фанерозоя составляет 0.61–0.70. С этой величиной в полной мере согласуются и данные по рассматриваемым нижне-среднекаменноугольным известнякам (см. рис. 3, 4). Коэффициент Eu/Sm может служить индикатором проницаемости земной коры для восходящих флюидных потоков, поскольку его колебания обусловлены утонением коры в эпохи максимальных трансгрессий и перестройки структурных планов территорий [Шатров и др., 2008]. Этими авторами предложены значения коэффициента, характеризующие высокую (больше 0.30), среднюю (0.25) и слабую (0.20) проницаемость коры. Большая часть проанализированных каменноугольных известняков восточного (и даже западного) склона Урала характеризуются значениями 0.25 (см. рис. 4), отвечающими средней проницаемостью коры. Лишь небольшое количество образцов (разрезы 3157 – Южный Урал восточный склон и 3186 – за-

<sup>2</sup> (La<sub>n</sub>/Sm<sub>n</sub>)/(Gd<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub>).

падный склон Среднего Урала) соответствуют высокой проницаемости коры ( $Eu/Sm$  больше 0.30). Значение  $Ce/La$  характеризует соотношение гидрогенного и гидротермального воздействия на осадки Мирового океана. Для гидрогенных образований его значение больше 2, для гидротермальных – менее 2 [Волков, Дубинин, 1987; Бутузова, 1998]. Однако, как отмечают В.А. Шатров и Г.В. Войцеховский [2013], для осадочных образований на площади платформ вариации значений  $Ce/La$  обусловлены воздействием на породу глубинных флюидов, а не низкотемпературных гидротерм. Таким образом, в нашем случае ( $Ce/La$  устойчиво менее 2) речь может идти именно о глубинных флюидах.

*Исследования выполнены в рамках темы № АААА-А18-118053090044-1 государственного задания ИГГ УрО РАН и темы № АААА-А18-118052590031-9 (комплексная программа фундаментальных исследований УрО РАН 18-5-5-11).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
- Балашов Ю.А. Изотопно-геохимическая эволюция мантии и коры Земли. М.: Наука, 1985. 224 с.
- Бутузова Г.Ю. Масштабы влияния гидротермальной деятельности на осадочный процесс в Красном море // Докл. РАН. 1998. Т. 360, № 3. С. 368–372.
- Волков И.И., Дубинин А.В. Редкоземельные элементы в гидротермальных накоплениях железа и марганца в океане // Литология и полезные ископаемые. 1987. № 6. С. 40–56.
- Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Научный мир, 1998. 340 с.
- Дубинин А.В. Редкоземельные элементы в процессах раннего диагенеза осадков Тихого океана // Литология и полезные ископаемые 1998. № 4. С. 346–354.
- Кулагина Е.И., Пазухин В.Н., Кочеткова Н.М., Синицына З.А., Кочетова Н.Н. Стратотипические и опорные разрезы башкирского яруса карбона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2001. 139 с.
- Летникова Е.Ф. Распределение РЗЭ в карбонатных отложениях различных геодинамических типов (на примере Южного складчатого обрамления Сибирской платформы) // Докл. РАН. 2003. Т. 393, № 2. С. 235–240.
- Лисицын А.П. Современные гидротермальные системы мирового океана // Смирновский сборник. М.: РАЕН, 2000. С. 32–76.
- Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Дуб С.А., Кузнецов А.Б. Граница нижнего и среднего карбона на востоке Урала по изотопно-геохронологическим данным // Докл. РАН. 2017. Т. 477, № 1. С. 61–66.
- Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А. Восточные зоны Среднего Урала в карбоне (эволюция бассейнов осадконакопления и особенности палеотектоники) // Литосфера. 2012. № 4. С. 107–126.
- Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Гилем, 2000. 146 с.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Сапуринов С.А., Степанова Т.И. Микробийные образования в пограничных серпуховско-башкирских отложениях на восточном склоне Южного Урала (р. Худозлаз) // Ежегодник-2015. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 163. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 31–36.
- Степанова Т.И., Кулагина Е.И., Кучева Н.А., Мизенс Г.А., Пазухин В.Н. Разрез “Чернышевка” на р. Худозлаз (восточный склон Южного Урала) // Ежегодник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. С. 32–38.
- Степанова Т.И., Кучева Н.А., Школин А.А. Новые материалы по стратиграфии и аммоноидеям верхнесерпуховских отложений на р. Исети // Эволюция жизни на Земле: мат-лы II Международ. симп. Томск: Томск. госун-т, 2001. С. 233–236.
- Стрекопытов С.В., Дубинин А.В., Волков И.И. Общие закономерности поведения редкоземельных элементов в пелагических осадках Тихого океана // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 2. С. 133–145.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Чувашиев Б.И., Черных В.В., Иванова Р.М. Пограничные башкирско-московские отложения бассейна реки Исеть // Путеводитель геологических экскурсий по карбону Урала. Ч. 2. Среднеуральская экскурсия. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 68–101.
- Шатров В.А., Войцеховский Г.В. Применение лантаноидов для реконструкций обстановок осадкообразования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // Геохимия. 2009. № 8. С. 805–824.
- Шатров В.А., Войцеховский Г.В. Лантаноиды и высокоподвижные элементы в осадочных и метаосадочных образованиях как показатели тектонической активности фундамента в платформенных условиях // Геохимия. 2013. № 3. С. 245–255.
- Шатров В.А., Сиротин В.И., Войцеховский Г.В., Беляева Е.Е. Лантаноиды – индикаторы воздействия тектонической активности фундамента на геохимию осадочных пород чехла (на примере Воронежской антеклизы) // Докл. РАН. 2008. Т. 423, № 5. С. 672–673.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
- Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Nikolaeva S.V., Kochetova N.N., Zainakaeva G.F., Gibshman N.B. Serpukhovian and Bashkirian bioherm facies of the Kizil Formation in the South Urals, Carboniferous Type Sections in Russia and Potential Global Stratotypes // Southern Urals Session: Proc. Int. Field Meeting Ufa–Sibai. Ufa: OOO Dizain Poligraf Servis, 2009. P. 78–96.