

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЯДА РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕСЧАНИКАХ СРЕДНЕУРАЛЬСКОГО СЕГМЕНТА ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА

© 2014 г. А. В. Маслов, Г. А. Мизенс, М. Т. Крупенин

Предуральский краевой прогиб заложился в среднем карбоне и существовал вплоть до раннего триаса [2]. Изучение петрографического и литогеохимического состава выполняющего прогиб терригенного материала позволяет реконструировать главные особенности процесса горообразования и наметить в нем переломные моменты. Среднеуральский сегмент прогиба в этом отношении имеет некоторое преимущество перед другими его ча-

стями, так как здесь в пределах одного широтного профиля можно получить сведения по разным возрастным интервалам.

В 2010 г. нами выполнен отбор представительной коллекции песчаников московско-нижнепермского возраста из ряда естественных разрезов и крупных дорожных выемок в бассейне р. Уфа, в северной части Уфимского амфитеатра (рис. 1). На указанной территории распростране-

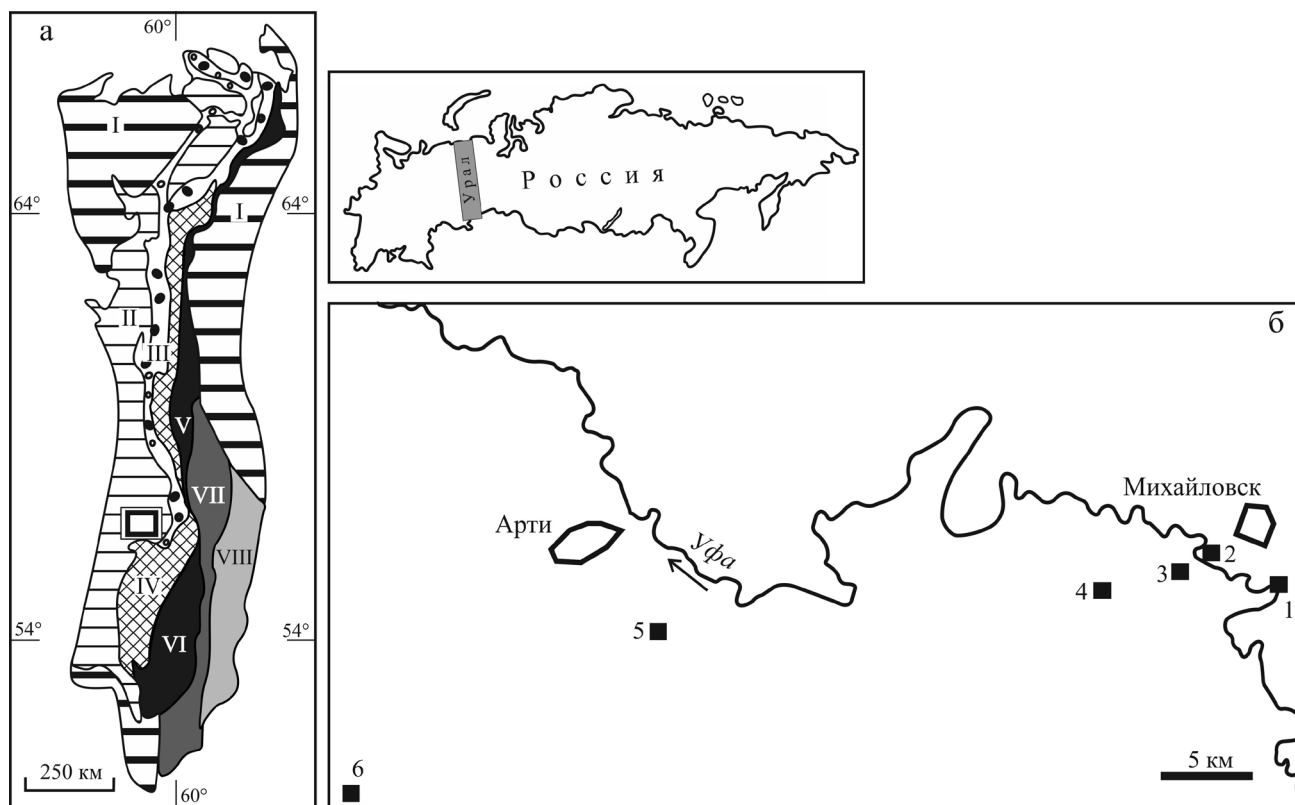
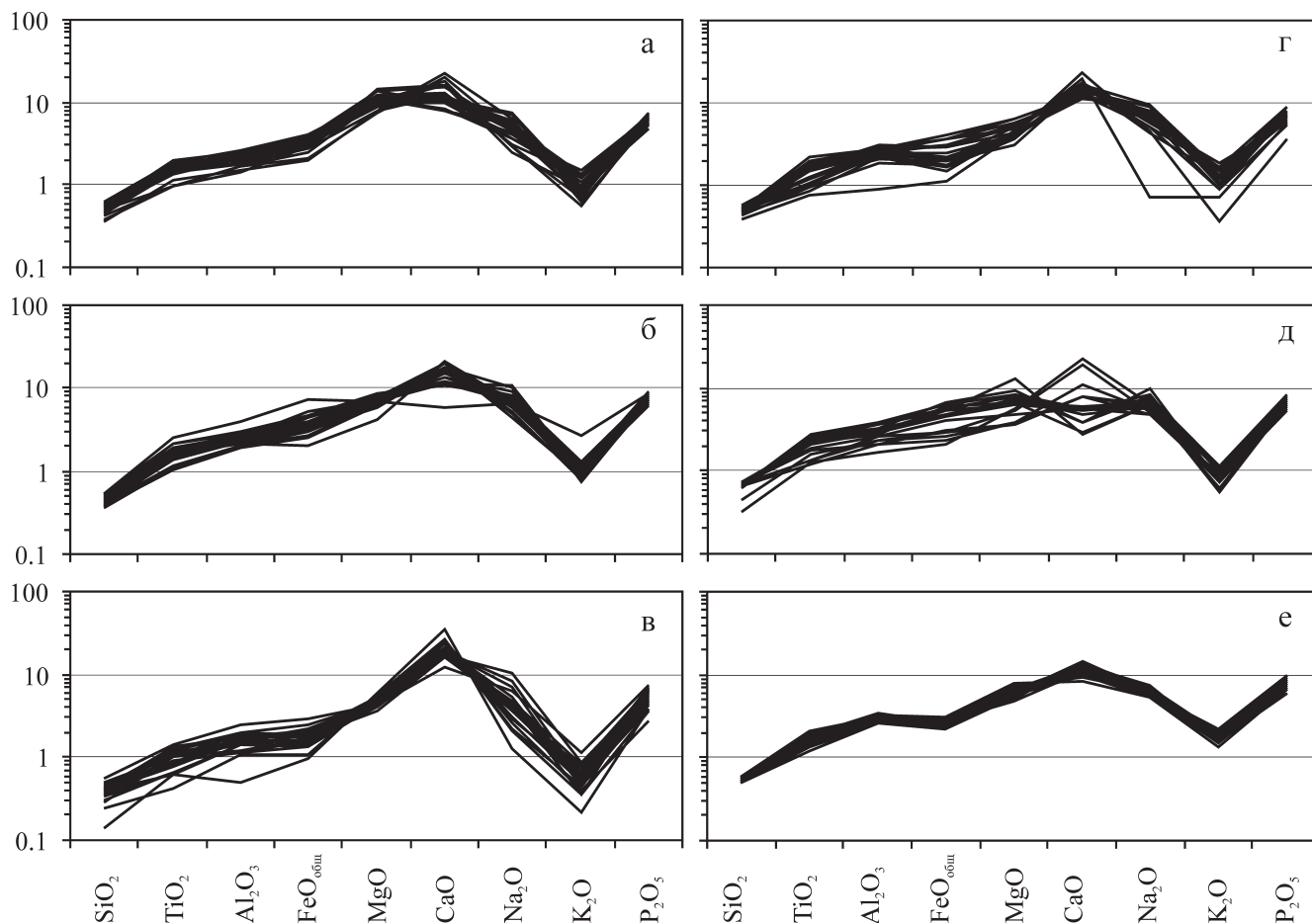


Рис. 1. Геологическая схема Урала (а) и расположение изученных разрезов в бассейне р. Уфа (б).

1 – верхнемосковский подъярус среднего карбона; правый берег р. Уфа, в 2.4 км к ВЮВ от окраины с. Уфимка; 2 – верхнеассельский подъярус нижней перми; правобережье р. Уфа, в 0.5 км к ЮВ от устья р. Серга; 3 – стерлитамакский горизонт сакмарского яруса нижней перми; левобережье р. Уфа, выемка на дороге Михайловск–Арти, в 0.7 км от моста через р. Уфа; 4 – нижнеартинский подъярус нижней перми; выемка на дороге Михайловск–Арти, в 4 км от моста через р. Шарамы (у дер. Шарамы); 5 – верхнеартинский подъярус нижней перми; выемка на дороге Михайловск–Арти, в 1.5 км от моста через р. Арты; 6 – верхнекунгурский подъярус нижней перми; выемка на дороге Арти–Сажино, в 1 км к ЗЮЗ от моста через р. Карзя (в дер. Бол. Карзи).

I – мезозойско-кайнозойские отложения; II – Предуральский прогиб; III–VIII – мегазоны: III – Западно-Уральская, IV – Центрально-Уральская, V – Тагильская, VI – Магнитогорская, VII – Восточно-Уральская, VIII – Зауральская. Контуром показан исследованный район.



**Рис. 2.** Нормированное по ФКП содержание основных породообразующих оксидов в песчаниках московского яруса и нижней перми.

Ярусы: а – московский, б – ассельский, в – сакмарский, г – низы артинского, д – верхи артинского, е – верхи кунгурского.

ны песчано-глинистые толщи нижней перми (ассельского, сакмарского, артинского и кунгурского ярусов), верхнего карбона и московского яруса среднего карбона. Все они относятся к флишевой формации [1]. Верхнекаменноугольные и нижнепермские песчаники по составу мало различаются. У них в целом низкое содержание кварца (10–25%) и полевых шпатов (10–20%), лишь для песчаников московского яруса характерно большее количество кварца (до 40%). Ассельским, сакмарским и артинским, а также московским песчаникам свойственно высокое содержание обломков осадочных пород (кремней, известняков и кварцитовидных песчаников) – до 70–80% – при равном количестве зерен кислых и основных вулканитов. Только некоторые разности верхнесакмарских и артинских пород содержат до 50% основных вулканитов и такое же количество кремней. В составе верхнекаменноугольных и кунгурских песчаников также преобладают обломки осадочных пород (40–60%), однако среди зерен вулканитов несколько больше кислых разностей.

В настоящей работе рассмотрено распределение в песчаниках московского яруса карбона и нижней перми ряда редких и рассеянных элементов (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La–Lu, Hf, Ta, Tl, Pb, Bi, Th и U), позволяющее уточнить особенности вещественного состава упомянутых образований. Определение содержания указанных элементов-примесей выполнено в ИГГ УрО РАН методом ICP-MS (аналитики – Д.В. Киселева, Н.Н. Адамович, Н.В. Чередниченко, О.А. Березикова и Л.К. Дерюгина). Данные об их среднеарифметической, минимальной и максимальной концентрации приведены в табл. 1.

**Валовый химический состав** песчаников разных возрастных интервалов нижней перми и московского яруса достаточно сходен (рис. 2). По сравнению с фанерозойским кратонным песчаником (ФКП, [4]) породы московского яруса существенно обеднены оксидом кремния (среднее содержание  $\text{SiO}_2$  составляет  $0.53 \times \text{ФКП}$ ), тогда как средняя концентрация оксидов магния, кальция и фосфора превышает  $5.0 \times \text{ФКП}$ . Это же свойственно

**Таблица 1.** Среднее, минимальное и максимальное содержание ряда редких и рассеянных элементов в песчаниках разных стратиграфических уровней среднеуральского сегмента Предуральского прогиба (г/т)

Элемент	Московский ярус	Ассельский ярус	Сакмарский ярус	Низы артинского яруса	Верхи артинского яруса	Верхи кунгурского яруса
Li	<u>17.90 ± 4.43</u> 9.70–28.35	<u>20.86 ± 20.49</u> 10.48–117.71	<u>16.93 ± 4.70</u> 8.96–25.63	<u>23.88 ± 8.52</u> 12.51–41.42	<u>23.12 ± 6.60</u> 11.23–32.69	<u>32.77 ± 8.99</u> 18.21–50.09
Sc	<u>14.19 ± 4.03</u> 8.22–22.21	<u>26.43 ± 27.34</u> 9.12–155.24	<u>8.48 ± 3.28</u> 3.48–17.49	<u>11.63 ± 5.51</u> 3.41–23.25	<u>18.49 ± 6.39</u> 9.74–31.59	<u>15.38 ± 2.93</u> 11.55–21.54
V	<u>80.22 ± 15.89</u> 51.54–107.38	<u>138.53 ± 128.26</u> 47.51–734.59	<u>54.03 ± 16.19</u> 27.10–83.25	<u>81.52 ± 29.59</u> 28.29–134.69	<u>119.68 ± 29.48</u> 70.88–179.64	<u>105.03 ± 18.65</u> 65.32–145.21
Cr	<u>324.83 ± 154.30</u> 129.95–716.22	<u>77.67 ± 72.81</u> 24.99–413.68	<u>83.43 ± 41.19</u> 26.07–190.25	<u>85.28 ± 27.44</u> 42.87–151.44	<u>90.78 ± 17.50</u> 72.15–129.42	<u>139.31 ± 46.93</u> 59.73–244.61
Co	<u>19.96 ± 3.27</u> 12.17–24.87	<u>21.25 ± 18.45</u> 8.40–107.96	<u>10.11 ± 2.90</u> 4.86–14.94	<u>13.46 ± 2.45</u> 6.43–16.66	<u>16.56 ± 2.65</u> 11.84–22.17	<u>14.52 ± 2.03</u> 11.34–18.04
Ni	<u>157.01 ± 64.33</u> 52.22–242.18	<u>27.38 ± 25.35</u> 12.45–144.78	<u>27.20 ± 6.32</u> 17.37–37.01	<u>38.75 ± 11.51</u> 19.40–65.00	<u>30.48 ± 5.03</u> 20.09–36.86	<u>42.03 ± 8.97</u> 28.15–62.89
Cu	<u>26.46 ± 5.46</u> 15.02–37.96	<u>56.95 ± 50.89</u> 14.46–293.69	<u>17.65 ± 5.59</u> 9.42–28.62	<u>31.41 ± 9.75</u> 11.92–45.56	<u>41.96 ± 8.40</u> 23.48–56.58	<u>24.96 ± 4.34</u> 17.16–33.81
Zn	<u>46.75 ± 13.36</u> 21.78–75.46	<u>46.83 ± 44.97</u> 22.31–257.81	<u>29.27 ± 17.85</u> 10.92–95.20	<u>42.28 ± 17.78</u> 19.09–82.17	<u>40.98 ± 9.23</u> 26.56–60.49	<u>26.74 ± 5.57</u> 14.41–35.46
Rb	<u>21.55 ± 6.08</u> 10.57–36.25	<u>17.06 ± 15.03</u> 8.52–87.85	<u>13.38 ± 3.59</u> 6.45–21.35	<u>24.07 ± 6.59</u> 9.86–35.86	<u>20.74 ± 3.41</u> 13.50–25.27	<u>28.77 ± 3.83</u> 19.35–37.11
Sr	<u>397.11 ± 141.78</u> 218.63–808.74	<u>379.04 ± 322.80</u> 216.88–1896.24	<u>428.42 ± 45.20</u> 341.34–514.40	<u>410.37 ± 68.58</u> 311.05–589.08	<u>217.98 ± 40.65</u> 166.02–319.65	<u>327.83 ± 30.71</u> 283.00–435.21
Y	<u>15.39 ± 4.04</u> 9.44–21.92	<u>24.43 ± 22.36</u> 14.82–131.21	<u>15.50 ± 4.69</u> 9.39–27.51	<u>13.97 ± 3.98</u> 7.02–22.41	<u>15.76 ± 4.29</u> 8.63–22.36	<u>16.53 ± 3.83</u> 11.21–23.63
Zr	<u>46.51 ± 8.35</u> 31.74–63.41	<u>41.34 ± 35.72</u> 22.46–208.99	<u>30.08 ± 10.27</u> 6.00–50.77	<u>47.89 ± 12.29</u> 11.15–64.34	<u>57.42 ± 7.33</u> 45.04–77.67	<u>56.86 ± 8.52</u> 41.59–74.61
Nb	<u>3.08 ± 0.50</u> 1.99–3.96	<u>2.59 ± 2.32</u> 1.14–13.50	<u>1.79 ± 0.60</u> 0.64–3.30	<u>2.67 ± 0.61</u> 1.08–3.66	<u>3.13 ± 0.45</u> 2.28–3.78	<u>3.10 ± 0.49</u> 2.20–4.02
Mo	<u>0.39 ± 0.14</u> 0.11–0.64	<u>0.86 ± 1.95</u> 0.17–9.98	<u>0.41 ± 0.11</u> 0.20–0.63	<u>0.56 ± 0.14</u> 0.33–0.92	<u>0.40 ± 0.39</u> 0.04–1.27	<u>0.42 ± 0.25</u> 0.17–1.12
Cs	<u>1.09 ± 0.49</u> 0.43–2.34	<u>1.09 ± 0.85</u> 0.02–4.34	<u>0.63 ± 0.18</u> 0.30–0.94	<u>0.78 ± 0.31</u> 0.05–1.34	<u>0.82 ± 0.44</u> 0.09–1.53	<u>0.85 ± 0.13</u> 0.71–1.18
Ba	<u>548.18 ± 434.64</u> 133.32–1621.60	<u>248.43 ± 230.98</u> 117.53–1093.78	<u>236.28 ± 297.22</u> 61.16–1354.86	<u>453.05 ± 375.03</u> 91.31–1661.92	<u>188.50 ± 40.41</u> 96.25–283.76	<u>290.24 ± 49.87</u> 231.70–485.22
La	<u>15.27 ± 4.21</u> 9.53–22.21	<u>18.90 ± 14.91</u> 10.24–89.17	<u>13.23 ± 4.00</u> 8.56–21.17	<u>14.19 ± 4.24</u> 5.51–21.42	<u>12.92 ± 3.40</u> 8.46–18.63	<u>20.05 ± 5.87</u> 11.11–32.19
Ce	<u>26.54 ± 7.34</u> 15.86–39.80	<u>37.02 ± 30.03</u> 21.12–177.75	<u>23.73 ± 7.14</u> 14.60–37.29	<u>28.01 ± 8.48</u> 8.69–41.96	<u>26.96 ± 5.98</u> 17.95–35.88	<u>42.05 ± 12.87</u> 23.16–69.15
Nd	<u>15.25 ± 4.27</u> 9.80–22.23	<u>21.59 ± 18.66</u> 12.49–109.88	<u>13.28 ± 3.85</u> 7.79–20.67	<u>15.03 ± 4.32</u> 5.28–20.76	<u>15.56 ± 3.69</u> 10.51–21.44	<u>22.32 ± 6.43</u> 11.93–35.19
Sm	<u>3.18 ± 0.90</u> 1.98–4.78	<u>4.86 ± 4.23</u> 2.84–24.90	<u>2.86 ± 0.84</u> 1.66–4.58	<u>3.16 ± 0.91</u> 1.15–4.52	<u>3.52 ± 0.84</u> 2.22–4.98	<u>4.54 ± 1.22</u> 2.42–7.07
Eu	<u>0.92 ± 0.25</u> 0.55–1.43	<u>1.53 ± 1.30</u> 0.92–7.68	<u>0.83 ± 0.25</u> 0.46–1.38	<u>0.96 ± 0.28</u> 0.33–1.42	<u>1.08 ± 0.24</u> 0.71–1.56	<u>1.34 ± 0.36</u> 0.75–2.09
Gd	<u>3.13 ± 0.89</u> 1.79–5.15	<u>4.96 ± 4.41</u> 2.94–25.98	<u>2.95 ± 0.90</u> 1.60–4.76	<u>3.02 ± 0.93</u> 1.22–4.73	<u>3.56 ± 0.73</u> 2.55–4.72	<u>4.10 ± 1.06</u> 2.22–6.18
Yb	<u>1.64 ± 0.47</u> 0.95–2.40	<u>2.44 ± 2.17</u> 1.41–12.73	<u>1.34 ± 0.41</u> 0.77–2.14	<u>1.44 ± 0.49</u> 0.48–2.46	<u>1.77 ± 0.51</u> 0.91–2.75	<u>1.68 ± 0.37</u> 1.23–2.35
Lu	<u>0.25 ± 0.07</u> 0.14–0.41	<u>0.37 ± 0.33</u> 0.22–1.96	<u>0.20 ± 0.06</u> 0.12–0.32	<u>0.22 ± 0.07</u> 0.07–0.38	<u>0.27 ± 0.08</u> 0.13–0.41	<u>0.25 ± 0.06</u> 0.18–0.36
Hf	<u>1.44 ± 0.25</u> 0.94–2.11	<u>1.34 ± 1.11</u> 0.73–6.52	<u>0.91 ± 0.30</u> 0.22–1.53	<u>1.45 ± 0.39</u> 0.34–2.07	<u>1.82 ± 0.25</u> 1.43–2.54	<u>1.80 ± 0.30</u> 1.33–2.39
Ta	<u>0.25 ± 0.14</u> 0.10–0.90	<u>0.31 ± 0.51</u> 0.11–2.59	<u>0.13 ± 0.06</u> 0.03–0.33	<u>0.21 ± 0.05</u> 0.08–0.28	<u>0.23 ± 0.04</u> 0.15–0.30	<u>0.30 ± 0.37</u> 0.16–1.93
Tl	<u>0.23 ± 0.17</u> 0.08–0.79	<u>0.18 ± 0.19</u> 0.05–0.86	<u>0.10 ± 0.04</u> 0.05–0.21	<u>0.10 ± 0.05</u> 0.02–0.27	<u>0.14 ± 0.09</u> 0.07–0.46	<u>0.20 ± 0.10</u> 0.11–0.47
Pb	<u>4.59 ± 0.86</u> 2.72–5.98	<u>3.35 ± 2.71</u> 1.31–15.64	<u>2.50 ± 2.03</u> 0.57–10.21	<u>3.89 ± 1.21</u> 1.90–6.32	<u>3.79 ± 0.92</u> 2.62–6.01	<u>4.12 ± 0.71</u> 2.57–5.64
Bi	<u>0.06 ± 0.06</u> 0.02–0.33	<u>0.09 ± 0.26</u> 0.01–1.27	<u>0.04 ± 0.06</u> 0.01–0.28	<u>0.05 ± 0.05</u> 0.01–0.22	<u>0.06 ± 0.08</u> 0.02–0.39	<u>0.04 ± 0.02</u> 0.01–0.11

Таблица 1. Окончание

Элемент	Московский ярус	Ассельский ярус	Сакмарский ярус	Низы артинского яруса	Верхи артинского яруса	Верхи кунгурского яруса
Th	$2.51 \pm 0.70$ 1.35–4.02	$1.99 \pm 1.75$ 1.00–9.86	$1.34 \pm 0.45$ 0.57–2.14	$2.32 \pm 0.83$ 0.76–3.72	$2.09 \pm 0.47$ 1.23–2.93	$2.52 \pm 0.47$ 1.89–3.42
U	$1.19 \pm 0.22$ 0.86–1.59	$0.81 \pm 0.83$ 0.43–4.71	$0.80 \pm 0.14$ 0.54–1.06	$1.24 \pm 0.18$ 0.95–1.57	$0.76 \pm 0.09$ 0.61–0.92	$0.99 \pm 0.19$ 0.77–1.40
n	26	25	22	19	19	22

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и величина стандартного отклонения, в знаменателе – минимальное и максимальное содержание; n – число проанализированных образцов.

песчаникам ассельского яруса, верхов артинского и кунгурского ярусов. Псаммиты сакмарского и низов артинского ярусов имеют несколько меньшую среднюю концентрацию оксида магния (соответственно  $4.69 \times \text{ФКП}$  и  $4.65 \times \text{ФКП}$ ).

**Особенности распределения редких и рассеянных элементов.** По сравнению с ФКП псаммиты *московского яруса* обладают существенно более высокой (более  $5.0 \times \text{ФКП}$ ) средней концентрацией Sc, V, Cr, Co, Ni и Sr (рис. 3а). Среднее содержание Ba в них составляет  $3.65 \times \text{ФКП}$ . Среднее содержание Y, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb и Lu в песчаниках данного стратиграфического уровня варьирует от  $1.81 \times \text{ФКП}$  до  $2.72 \times \text{ФКП}$ , тогда как для Zr, Hf, Pb и Th этот параметр изменяется от 0.24 до 0.63. Среднее содержание остальных микроэлементов примерно такое же, как и в среднем фанерозойском кратонном песчанике.

В песчаниках *ассельского яруса* величину  $5.0 \times \text{ФКП}$  существенно превышает средняя концентрация Sc, V, Co и Sr (рис. 3б). В интервале  $3.0 < \text{ФКП} < 5.0$  находится содержание таких элементов-примесей, как Eu и Yb. Для Rb, Zr, Nb, Hf, Pb, Th и U средняя концентрация меньше, чем  $0.6 \times \text{ФКП}$ . Барий, церий и тантал присутствуют примерно в сопоставимой со средним фанерозойским кратонным песчаником концентрации, тогда как для остальных элементов-примесей среднее содержание меньше  $3.0 \times \text{ФКП}$ , но больше чем 1.5.

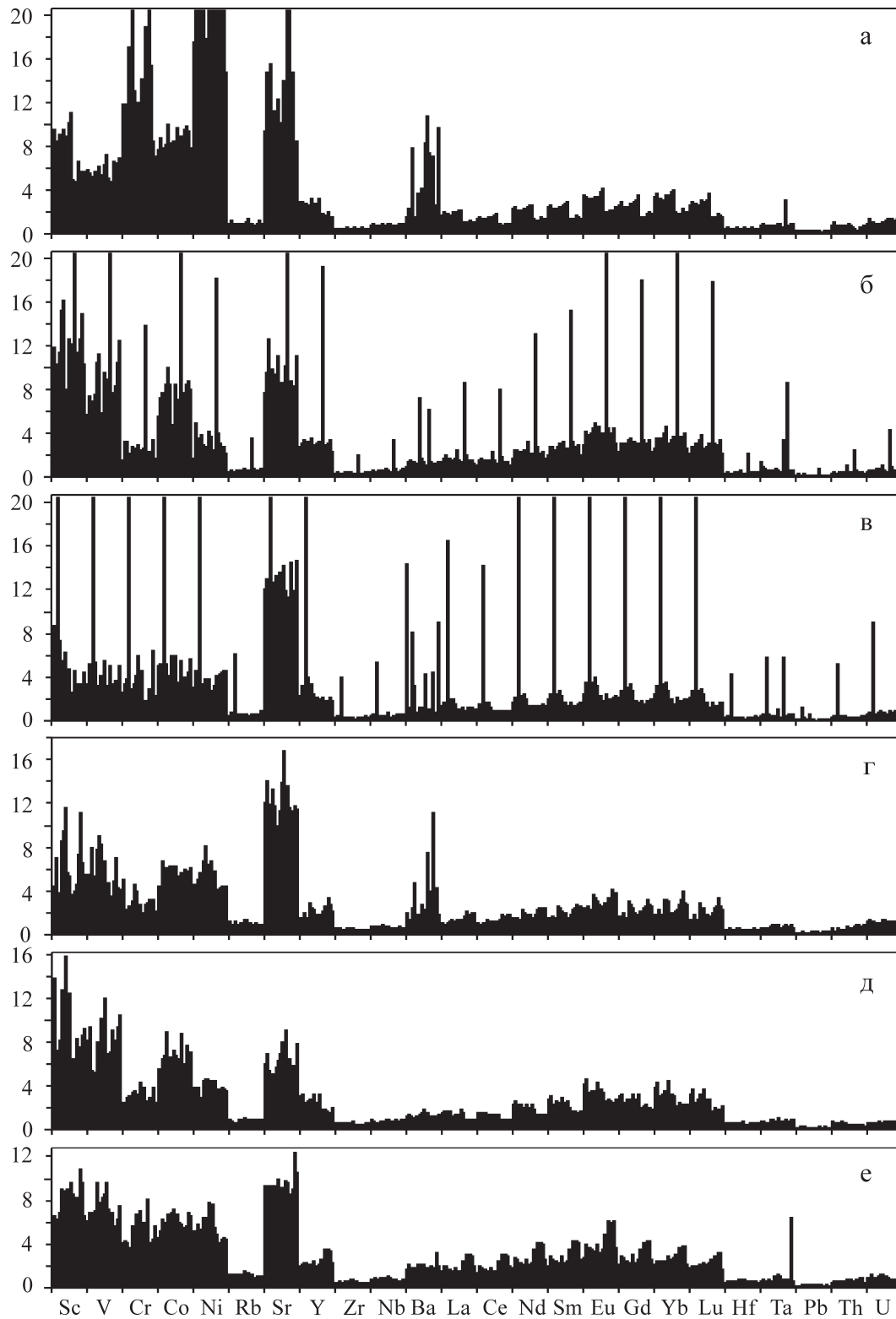
Псаммиты *сакмарского яруса* по своему геохимическому облику отличаются от таковых двух описанных выше стратиграфических интервалов. В них только среднее содержание Sr составляет существенно больше  $5.0 \times \text{ФКП}$  (рис. 3в). Для Sc, V, Co и Ni средняя концентрация варьирует от  $3.0 \times \text{ФКП}$  до  $5.0 \times \text{ФКП}$ . Несколько меньше они для Cr, Y, Ba, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb и Lu, а для La, Ce и U среднее содержание сопоставимо с содержанием их в фанерозойском кратонном песчанике. Существенно понижено в рассматриваемых нами образованиях среднее содержание Rb, Zr, Nb, Hf, Ta, Pb и Th.

В песчаниках *нижней части артинского яруса* спектр элементов со средней концентрацией выше  $5.0 \times \text{ФКП}$  несколько шире, чем в подстилающих образованиях: для Sc, V, Ni и Sr средние значения  $C_{\text{обр}}/C_{\text{ФКП}}$  варьируют от 5.38 до 11.72 (рис. 3г). Такие

элементы, как Nb, Hf, Pb и Th, имеют существенно более низкую (менее  $0.5 \times \text{ФКП}$ ), чем в ФКП, среднюю концентрацию; средняя концентрация Rb, La, Ce, Ta и U сопоставима с содержанием перечисленных элементов в ФКП. Для остальных из анализируемых нами элементов среднее содержание составляет от  $1.5 \times \text{ФКП}$  до  $5.0 \times \text{ФКП}$ .

Если не акцентировать далее внимание на конкретных особенностях распределения элементов-примесей в псаммитах верхов артинского и кунгурского ярусов, а обратиться к сопоставлению геохимического облика песчаников всех исследованных нами уровней, то мы увидим, что можно наметить несколько групп элементов-примесей. Первую группу с концентрацией, как правило, большей, чем в ФКП, от 3 до 10–20 и более раз, составляют такие элементы, как Sc, V, Co и Sr. К группе с существенно меньшим, чем в ФКП, средним содержанием принадлежат Zr, Hf, Pb и Th. Сопоставимой (в большинстве случаев) с ФКП средней концентрацией обладают Rb, Nb, La, Ce, Ta и U. Наконец, Y, Ba, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb и Lu характеризуются средней концентрацией в пределах от  $1.6 \times \text{ФКП}$  до  $4.8 \times \text{ФКП}$  (табл. 2).

Распределение в песчаниках редких и рассеянных элементов в сравнении со средним постархейским австралийским сланцем (РААС, [3]) показано на рис. 4. Не вдаваясь в детали, отметим, что группировка элементов в данной ситуации несколько иная, чем при сопоставлении с ФКП (табл. 3). Так, более 2/3 из рассматриваемых нами редких и рассеянных элементов (Li, V, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Yb, Lu, Hf, Pb, Bi, Th и U) в большинстве случаев присутствуют в песчаниках в средней концентрации менее  $0.5 \times \text{РААС}$ . Это еще раз подтверждает многократно ранее описанный факт взаимосвязи большинства перечисленных микроэлементов с тонкозернистой глинистой фракцией песчаников. Средняя концентрация таких элементов, как Sc, Cr и Eu, сопоставима с их содержанием в РААС, и только стронций характеризуется относительно повышенным содержанием (от  $1.64 \times \text{РААС}$  до  $3.13 \times \text{РААС}$  за исключением песчаников верхней части артинского яруса). Последнее, несомненно, обусловлено тесной взаимосвязью стронция с карбонатной компонентой.

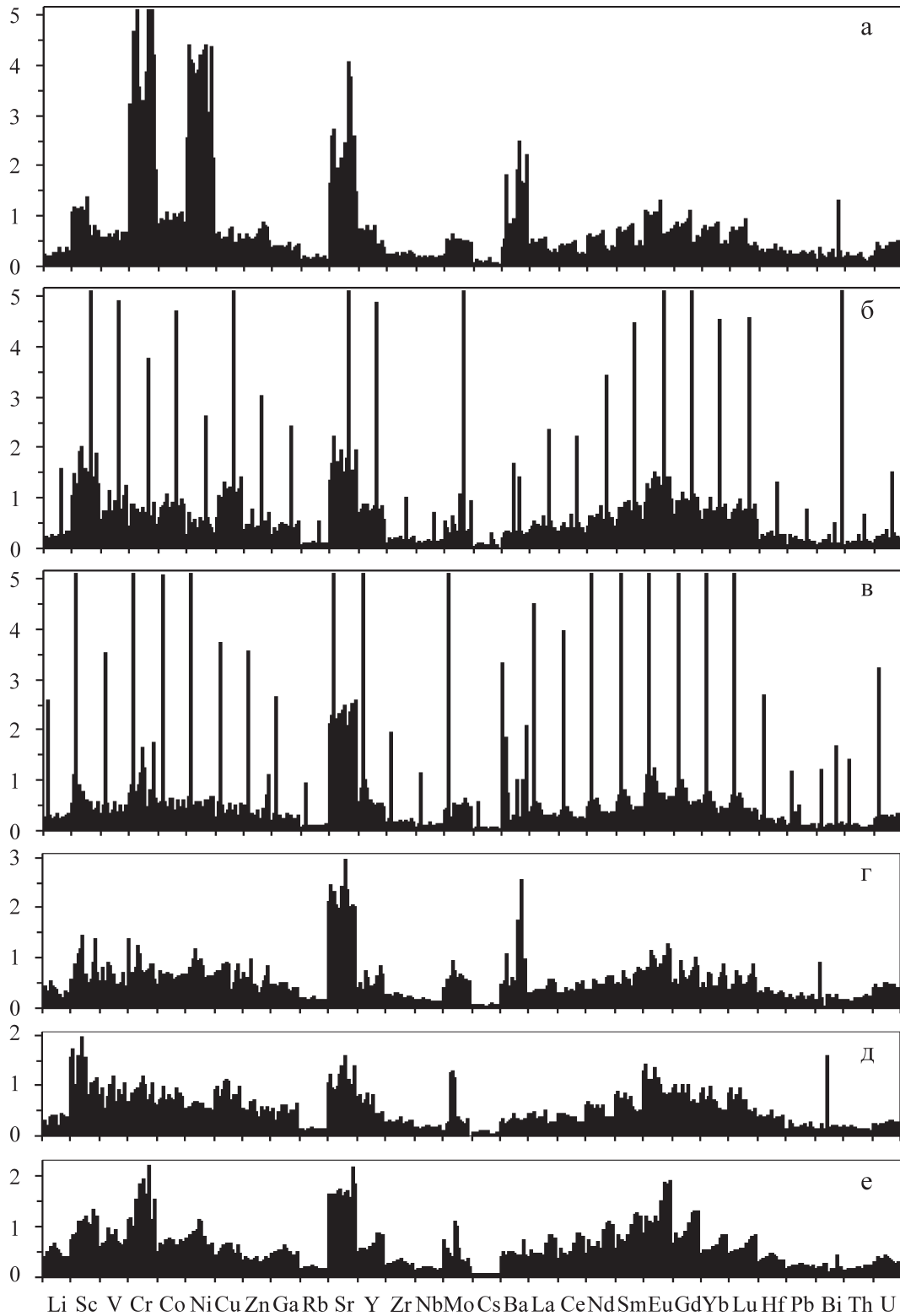


**Рис. 3.** Нормированное по ФКП содержание ряда редких и рассеянных элементов в песчаниках московского яруса и нижней перми.

Количество столбиков в ячейке элемента здесь и далее соответствует количеству изученных образцов.

Ярусы: а – московский, б – ассельский, в – сакмарский, г – низы артинского, д – верхи артинского, е – верхи кунгурского.

**Систематика редкоземельных элементов** (РЗЭ). Средняя величина РЗЭ в песчаниках сред- неуральского сегмента Предуральяского проги- ба изменяется от  $\sim 67 \pm 20$  г/т (сакмарский ярус)



**Рис. 4.** Нормированное по PAAS содержание ряда редких и рассеянных элементов в песчаниках московского яруса и нижней перми.

Ярусы: а – московский, б – ассельский, в – сакмарский, г – низы артинского, д – верхи артинского, е – верхи кунгурского.

до  $108 \pm 31$  г/т (верхи кунгурского яруса). Средняя величина  $(La/Sm)_{PAAS}$  в псаммитах *московско-*

*го яруса* составляет  $0.71 \pm 0.06$ . Тот же параметр для  $(Gd/Yb)_{PAAS}$  составляет  $1.14 \pm 0.09$  при хорошо

**Таблица 2.** Сопоставление содержания редких и рассеянных элементов в песчаниках среднеуральского сегмента Предуральяского прогиба с содержанием их в ФКП

Элемент	Московский ярус	Ассельский ярус	Сакмарский ярус	Низы артинского яруса	Верхи артинского яруса	Верхи кунгурского яруса
Sc	7.10	10.53	4.24	5.82	9.24	7.69
V	5.35	7.58	3.60	5.43	7.98	7.00
Cr	10.83	2.12	2.78	2.84	3.03	4.64
Co	7.98	7.06	4.04	5.38	6.62	5.81
Ni	19.63	2.81	3.40	4.84	3.81	5.25
Rb	0.86	0.56	0.54	0.96	0.83	1.15
Sr	11.35	9.02	12.24	11.72	6.23	9.37
Y	2.26	2.94	2.28	2.05	2.32	2.43
Zr	0.44	0.33	0.29	0.46	0.55	0.54
Nb	0.77	0.53	0.45	0.67	0.78	0.77
Ba	3.65	1.47	2.11	3.02	1.26	1.93
La	1.48	1.55	1.28	1.38	1.25	1.95
Ce	1.19	1.40	1.06	1.26	1.21	1.89
Nd	1.81	2.13	1.58	1.79	1.85	2.66
Sm	1.95	2.47	1.75	1.94	2.16	2.79
Eu	2.72	3.74	2.43	2.83	3.18	3.94
Gd	2.17	2.84	2.05	2.10	2.47	2.85
Yb	2.68	3.30	2.19	2.37	2.90	2.75
Hf	0.46	0.36	0.29	0.47	0.59	0.58
Pb	0.24	0.15	0.13	0.20	0.20	0.22
Th	0.63	0.42	0.33	0.58	0.52	0.63
U	1.08	0.59	0.73	1.13	0.69	0.90

Примечание. Черная заливка – элементы с  $K_k > 5.0$ , темно-серая заливка – элементы с  $K_k$  от 3.0 до 5.0, светло-серая заливка – элементы с  $K_k$  от 1.5 до 3.0; обычный шрифт – элементы с  $K_k$  от 0.7 до 1.5, жирный курсив – элементы с  $K_k < 0.7$ .

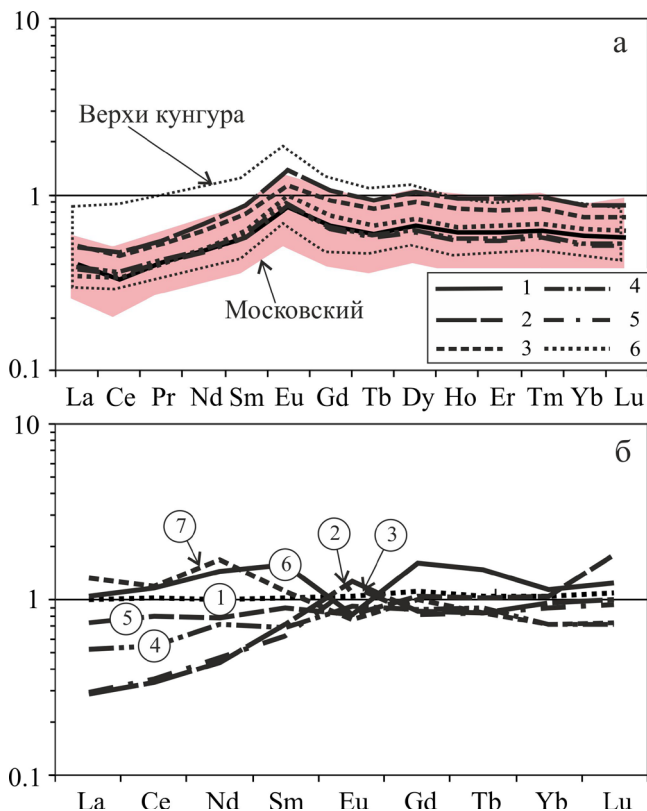
выраженной положительной относительно РААС европиевой аномалии ( $1.37 \pm 0.10$ ). В песчаниках ассельского яруса величина положительной европиевой аномалии несколько выше ( $1.46 \pm 0.07$ ), а среднее значение  $(La/Sm)_{РААС}$  несколько ниже, чем в песчаниках московского яруса ( $0.59 \pm 0.08$ ). Примерно такие же значения  $(La/Sm)_{РААС}$ ,  $(Gd/Yb)_{РААС}$  и  $(Eu/Eu)_{РААС}$  характерны для песчаников других рассматриваемых в настоящей работе стратиграфических уровней. Нормированные по РААС спектры распределения РЗЭ в песчаниках московского яруса и нижней перми (по средним параметрам) показаны на рис. 5а. Здесь же приведены области распределения спектров РЗЭ по частным анализам для московского яруса и пород верхней части кунгурского яруса. На рис. 5б представлены нормированные по РААС спектры распределения РЗЭ в разных типах магматических образований архея-мезокайнозоя (по данным [4]). Сравнение рисунков позволяет сделать вывод о том, что в составе псаммитов, как это следует и из данных микропетрографического изучения, присутствует существенная доля продуктов размыва основных магматических образований.

**Таблица 3.** Нормированное по РААС среднее содержание ряда редких и рассеянных элементов в песчаниках разных стратиграфических уровней среднеуральского сегмента Предуральяского прогиба

Элемент	Московский ярус	Ассельский ярус	Сакмарский ярус	Низы артинского яруса	Верхи артинского яруса	Верхи кунгурского яруса
Sc	7.10	10.53	4.24	5.82	9.24	7.69
V	5.35	7.58	3.60	5.43	7.98	7.00
Cr	10.83	2.12	2.78	2.84	3.03	4.64
Co	7.98	7.06	4.04	5.38	6.62	5.81
Ni	19.63	2.81	3.40	4.84	3.81	5.25
Rb	0.86	0.56	0.54	0.96	0.83	1.15
Sr	11.35	9.02	12.24	11.72	6.23	9.37
Y	2.26	2.94	2.28	2.05	2.32	2.43
Zr	0.44	0.33	0.29	0.46	0.55	0.54
Nb	0.77	0.53	0.45	0.67	0.78	0.77
Ba	3.65	1.47	2.11	3.02	1.26	1.93
La	1.48	1.55	1.28	1.38	1.25	1.95
Ce	1.19	1.40	1.06	1.26	1.21	1.89
Nd	1.81	2.13	1.58	1.79	1.85	2.66
Sm	1.95	2.47	1.75	1.94	2.16	2.79
Eu	2.72	3.74	2.43	2.83	3.18	3.94
Gd	2.17	2.84	2.05	2.10	2.47	2.85
Yb	2.68	3.30	2.19	2.37	2.90	2.75
Hf	0.46	0.36	0.29	0.47	0.59	0.58
Pb	0.24	0.15	0.13	0.20	0.20	0.22
Th	0.63	0.42	0.33	0.58	0.52	0.63
U	1.08	0.59	0.73	1.13	0.69	0.90

Примечание. Обозначения – см. табл. 2.

**Вариации среднего содержания элементов-примесей в сводном разрезе среднеуральского сегмента Предуральяского прогиба.** Нормированное среднее содержание редких и рассеянных элементов в песчаниках московско-кунгурского интервала по их содержанию в ФКП (рис. 6а) позволяет видеть, что значительная часть рассмотренных нами в настоящей статье микроэлементов (например, барий и европий) не испытывают каких-либо существенных вариаций снизу вверх по разрезу. К элементам с заметными вариациями нормированного по ФКП среднего содержания (при отчетливом минимуме на сакмарском уровне) относятся Sc, V и Co. Для Sr, напротив, максимальное среднее содержание наблюдается в псаммитах сакмарского и низов артинского ярусов. Никель и хром обнаруживают ярко выраженную тенденцию к снижению нормированного по ФКП среднего содержания от песчаников московского яруса к нижнепермским образованиям. Это же наблюдается и при анализе среднего содержания указанных элементов-примесей, нормированных по РААС (см. рис. 6б). Пик нормированного по РААС среднего содержания Sr приходится на сакмарский ярус. Для Sc, Eu и ряда других элементов максимальные значения данного параметра наблюдаются в песчаниках ассельского яруса.

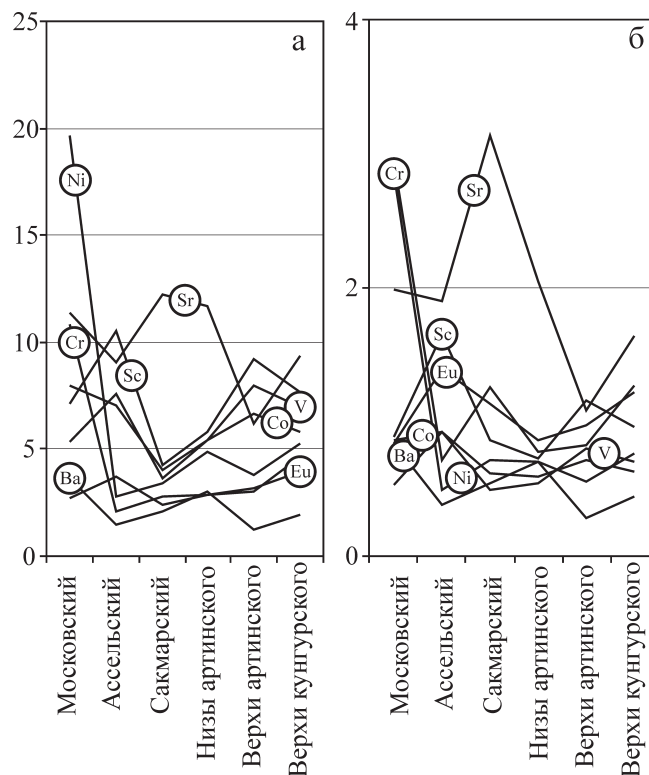


**Рис. 5.** Нормированные по PAAS средние спектры распределения РЗЭ в песчаниках разных ярусов (а) и различных типах магматических образований (б).

Ярусы: 1 – московский, 2 – ассельский, 3 – сакмарский, 4 – низы артинского, 5 – верхи артинского, 6 – верхи кунгурского. Цифры в кружках: 1 – фанерозойские кратонные сланцы, 2 – мезокайнозойские базальты, 3 – палеозойские базальты, 4 – мезокайнозойские андезиты, 5 – мезокайнозойские фельзиты, 6 – фанерозойские граниты, 7 – архейские граниты, все по [4].

Приведенные выше данные можно рассматривать как первый этап анализа общих особенностей распределения широкого спектра редких и рассеянных элементов в терригенных породах, выполняющих Предуральский прогиб. Такие исследования, несомненно, следует продолжить и для других сегментов указанной общеуральской структуры. Это, возможно, позволит получить общее представление о геохимическом облике выполняющих прогиб осадочных образований, особенностях его изменения в различных сегментах (седиментационных ваннах) и, следовательно, даст ключ к более детальной реконструкции процессов их формирования.

Из первичного анализа распределения элементов примесей следует несколько важных выводов, позволяющих уточнить особенности формирования палеозойского Урала: 1) в московском веке в горной области уже размывались массивы ультраосновных



**Рис. 6.** Особенности распределения в песчаниках сводного разреза среднеуральского сегмента Предуральского прогиба среднего содержания ряда редких и рассеянных элементов, нормированных по ФКП (а) и PAAS (б).

пород; позже, однако, существенного значения в качестве источников обломочного материала на рассматриваемой широте они не имели; 2) среди магматических пород в области сноса на протяжении всего времени существования прогиба доминировали базальтоиды; 3) кислые магматические породы наиболее активно размывались в кунгуре.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта УрО РАН № 12-С-5-1014 “Субдукционные и орогенные осадочные бассейны Северной Евразии: индикаторные литологические и изотопно-геохимические характеристики отложений, минералогия”.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мизенс Г.А. Верхнепалеозойский флиш Западного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 230 с.
2. Мизенс Г.А. Об этапах формирования Предуральского прогиба // Геотектоника. 1997. № 5. С. 33–46.
3. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
4. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.