

ИЗВЕСТНЯКИ ПОГРАНИЧНОГО СЕРПУХОВСКО-БАШКИРСКОГО ИНТЕРВАЛА НА ЮЖНОМ И СРЕДНЕМ УРАЛЕ. ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ

© 2019 г. Г. А. Мизенс, С. А. Дуб

Рассматривается геохимия известняков пограничного интервала нижнего/среднего карбона по трем разрезам на Восточном и Западном Урале, где указанная граница установлена с наибольшей точностью. Приведена краткая характеристика литологии известняков и проанализированы особенности концентрации и распределения карбонатфильных (Mg, Sr, Mn, Fe) и некоторых литофильных (Al, Ti, Zr, Ba, Li, Sc, Rb, Cr, Co, Ni, Th, U, Mo), а также редкоземельных элементов. Показано, что по характеру распределения малых и отдельных породобразующих элементов наиболее выразительной граница C₁/C₂ является в разрезе “Луговая” на р. Реж, где заметно меняется содержание некоторых из них. Сделан вывод, что глобальный биотический кризис на рубеже серпуховского и башкирского веков, по-видимому, был обусловлен только похолоданием, связанным с оледенением на южном полушарии. На Урале, как и во многих других регионах, на рассматриваемом интервале времени не было значительного перерыва в осадконакоплении.

ВВЕДЕНИЕ

Как было показано А.С. Алексеевым, к рубежу раннего и среднего карбона относится один из восьми фанерозойских биотических кризисов, известный как серпуховско-башкирское малое массовое вымирание [Алексеев, 2000; Алексеев и др., 2001]. Предполагается, что оно связано с резким похолоданием климата и снижением уровня Мирового океана, вызванным максимумом позднепалеозойского оледенения на территории Гондваны. Признаки резкого понижения уровня океана и, соответственно, проявления субглобального перерыва в морских осадочных толщах на западе Восточно-Европейской платформы и на юге Северо-Американской описаны многими исследователями [Ross, Ross, 1988; Alekseev et al., 1996; Mii et al., 2001; Махлина и др., 2001; Наq, Schutter, 2008; и др.]. В последние годы, однако, появилась другая точка зрения в отношении упомянутого перерыва. На основании анализа его характера и распространения Е.В. Артюшков и П.А. Чехович [2011] пришли к выводу, что крупные регрессии и перерывы в осадконакоплении на рубеже нижнего и среднего карбона в некоторых регионах Земного шара были обусловлены поднятиями земной коры континентов, которые через относительно короткое время сменились погружением. Значительного понижения уровня Мирового океана продолжительностью в несколько миллионов лет в башкирском веке не было. Это относится и к территории Восточно-Европейской платформы, которая в серпуховском веке раннего карбона была занята мелководным морем [Proust et al., 1998; Махлина и др., 2001; и др.]. В конце этого века происходило осушение ее западной части, продолжавшееся 3–4 млн лет. В пределах осушен-

ной территории образовался протяженный (450 км) эрозионный врез [Яблоков, 1973; Демченко и др., 1998] со склонами высотой 100–120 м. Поверхность коры достигла высоты, по крайней мере, 150–200 м над уровнем океана. В то же время в восточной части платформы (в том числе на северо-востоке) признаки такого перерыва отсутствуют. Местами имеются лишь следы кратковременных субаквальных перерывов. Тем не менее биотический кризис разных групп фауны здесь имел место [Proust et al., 1998; Кулагина и др., 2001; Чувашов и др., 2002; Кучева, 2011, 2015, 2019; Артюшков, Чехович, 2011; Кучешов и др., 2018; Степанова, 2018].

МАТЕРИАЛ

Для уточнения характера рассматриваемого рубежа на территории Южного и Среднего Урала были выполнены исследования геохимии редких, в том числе редкоземельных, элементов, их распределения в известняках верхней части серпуховского яруса и нижней – башкирского. При этом были использованы данные по трем разрезам, где граница между указанными ярусами установлена с наибольшей точностью. Это разрезы “Бражка” (Бражкин камень) на западном склоне Среднего Урала, “Худолаз-лог” – на восточном склоне Южного Урала и “Луговая” – на востоке Среднего Урала (рис. 1).

Разрез “Худолаз-лог” – в логу на левом берегу р. Худолаз, ниже пос. Чернышевка (рис. 2). Пограничный интервал серпуховского/башкирского ярусов представлен светлыми зернистыми известняками (пакстоунами), в серпуховской части с прослоями строматолитов. Преобладают фасциелловые известняки, сложенные преимущественно

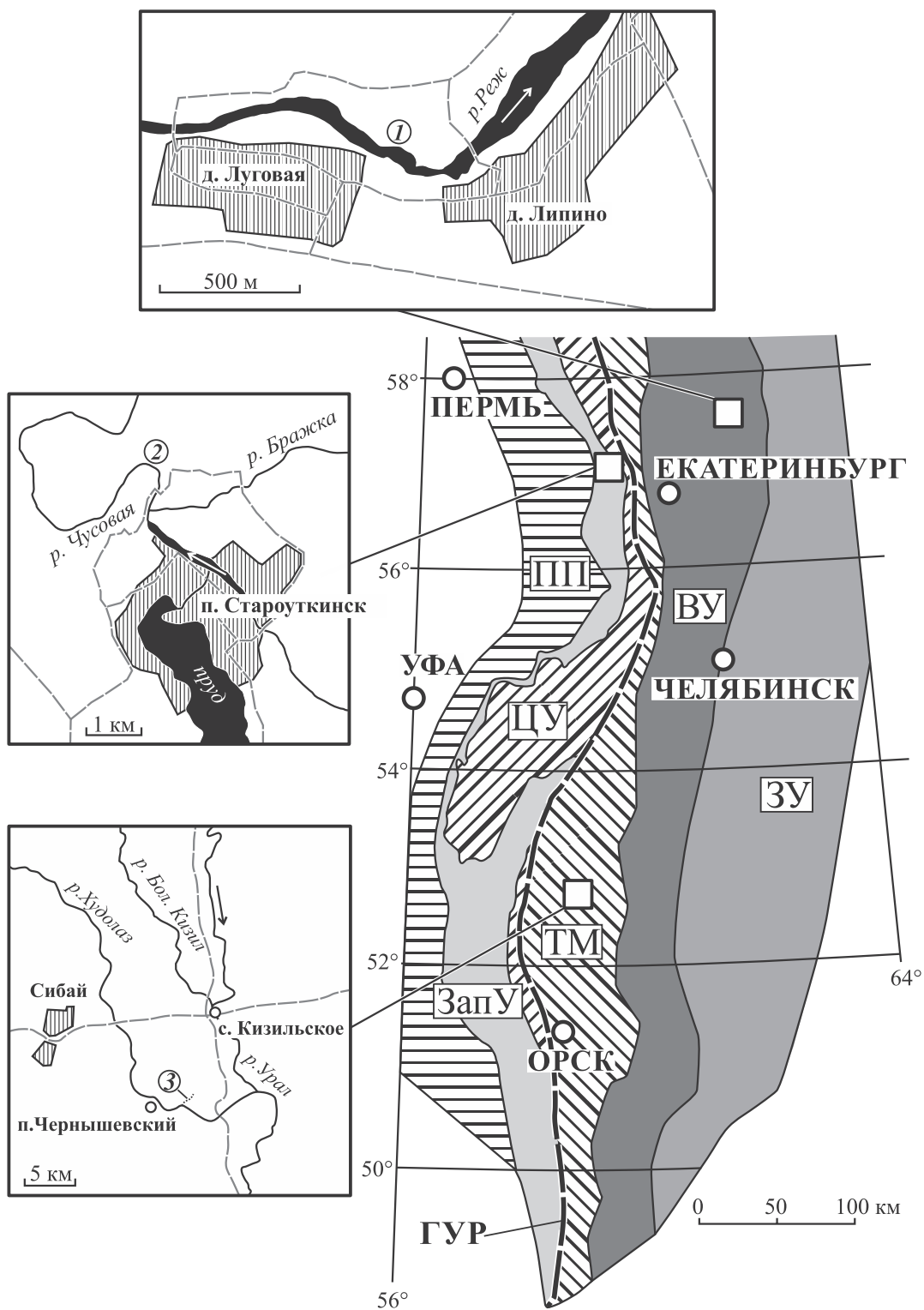


Рис. 1. Местоположение изученных разрезов в современной структуре Урала.

Цифрами в кружках обозначены разрезы: 1 – “Луговая” (3176), 2 – “Бражка” (3186), 3 – “Худолаз-лог” (3159). Мегазоны [Пучков, 2010]: ЗУ – Зауральская, ВУ – Восточно-Уральская, ЦУ – Центрально-Уральская, ЗапУ – Западно-Уральская, ТМ – Тагило-Магнитогорская, ПП – Предуральский прогиб, ГУР – Главный Уральский разлом.

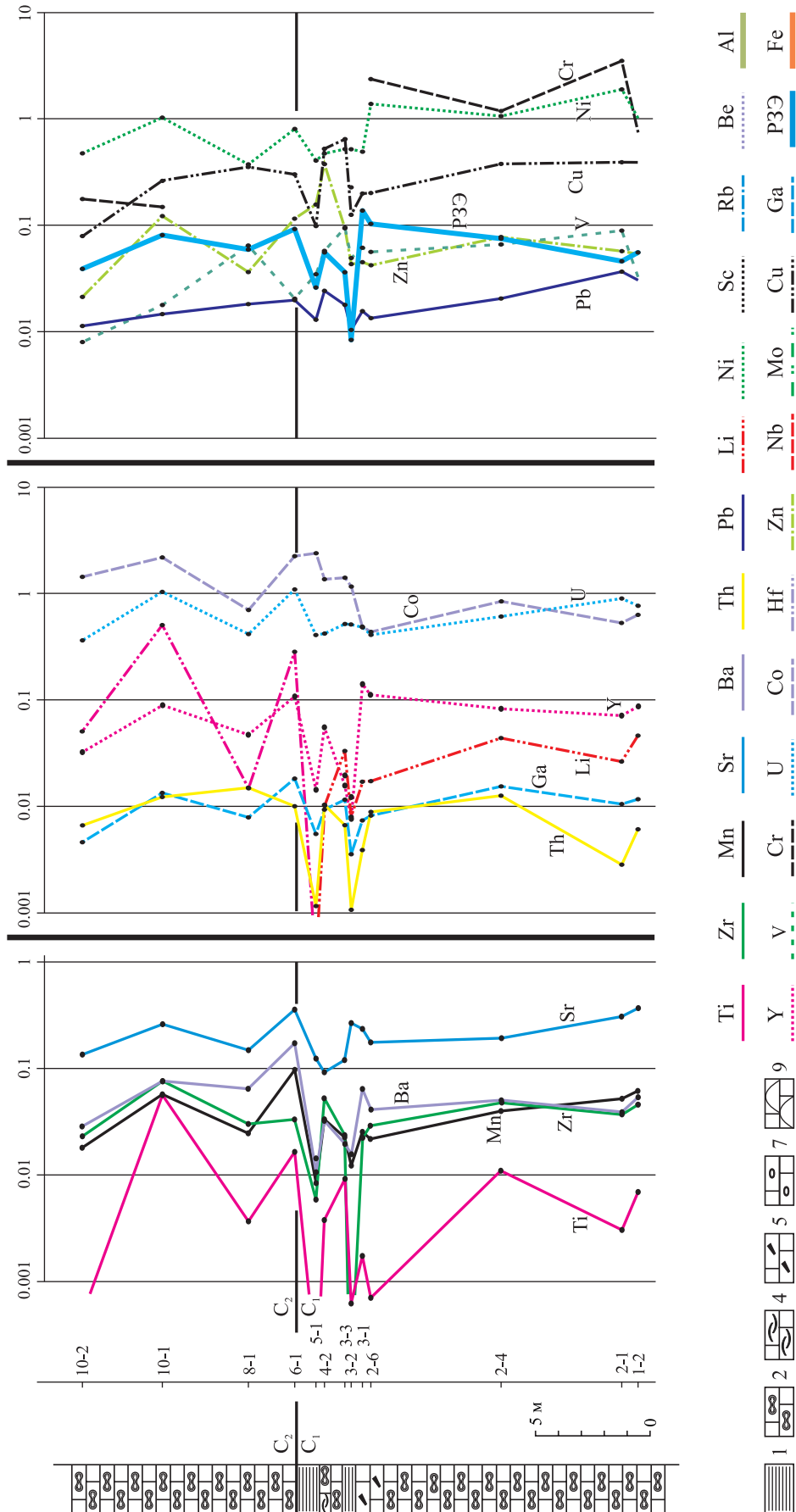


Рис. 2. Содержание редких элементов и суммы редкоземельных в известняках пограничного C_1/C_2 интервала по разрезу “Худолаз”.
 Здесь и на рис. 3, 4 логарифмический масштаб, нормировано по кларку в известняках; 1–6 известняки: 1 – микробиальные (строматолиты), 2 – фасциелловые, 3 – с брахиоподами, 4 – полиблочастовые, 5 – с литокластами, 6 – биоморфные (органогенные постройки).

но проблематичными водорослями рода *Fasciella*, в меньшей степени биокластами кальцимикробов, комками цианобактериальной слизи. Встречаются полибиокластовые разности, в которых форменные элементы представлены фораминиферами, обломками зеленых и красных водорослей, мшанок, раковин брахиопод, реже кальцимикробами и члениками криноидей. Граница нижнего и среднего карбона проводится в кровле верхнего строматолитового пласта. Перекрывающие этот пласт известняки содержат смешанную серпуховско-башкирскую ассоциацию фораминифер [Степанова, Кучева, 2006]: *Asteroarchaediscus ovoides* (Rausser-Chernousova), *Neoarchaediscus postrugosus* (Reitlinger), *Eolasiodiscus donbassicus* Reitlinger, *Endothyranopsis sphaerica* (Rausser-Chernousova et Reitlinger), *Janischewskina* sp., *Bradyina* sp., *Ikenisiformis mirifica* (Brazhnikova), *Eostaffella ex gr. postmosquensis* Kireeva, *Plectostaffella varvariensis* (Brazhnikova et Potievskaya). Встречаются также редкие разрозненные раковины крупных продуктид. В известняках практически отсутствует терригенная примесь, содержание доломита незначительно (до 3.7%).

Разрез “Луговая” – р. Реж, левый берег, напротив д. Луговая (рис. 3). Серпуховская часть разреза представлена известняками массивными светло-серыми микрозернистыми, с рассеянными раковинами брахиопод, члениками криноидей, фораминиферами, биокластами мшанок, известковых водорослей и кальцимикробов, а также разнообразными литокластами (интракластами). Местами встречаются остатки красных водорослей, находящиеся предположительно в прижизненном положении, в окружении инкрустационного цемента, что может указывать на биогермную природу известняков. Среди фораминифер преобладают [Дуб и др., 2019] *Eolasiodiscus donbassicus*, *Monotaxinoides transitorius* Brazhnikova et Yartseva и другие представители лазиодисцид, встречаются архедисциды, *Eostaffella pseudoovoidea*, *E. postmosquensis*, *Eostaffellina subsphaeroidea* Melnikova, здесь же определены конодонты *Gnathodus bilineatus bollandensis* и *Lochria mononodosa* (Rhodes, Austin et Druce). К некоторым уровням худолазовского горизонта приурочены банковые скопления брахиопод *Latiproductus* sp., *Striatifera striata* (Fischer), *Productus productus* Martin, в пределах чернышевского горизонта встречаются редкие *Avonia* sp., *Echinonchus* sp. В подошве башкирского яруса литологические характеристики пород меняются. Известняки становятся более темными, отчетливо слоистыми и зернистыми – от мелко- до грубозернистых, иногда с зернами гравийной размерности. Несколько возрастает роль члеников криноидей, биокластов мшанок (вероятно, переотложенных) и интракластов, повышается степень микритизации зерен, в то время как сам набор форменных

элементов в целом остается прежним. Фиксируется некоторое увеличение количества кремнезема. Комплекс фораминифер в отложениях выше границы смешанный, содержит как башкирские виды, так и серпуховские [Мизенс и др., 2007]. Среднекаменноугольный возраст определяется присутствием конодонтов *Declinognathodus noduliferus* (Ellison et Graves), *D. lateralis* (Higgins et Bouckaert), также встречающихся в ассоциации с серпуховскими формами. В основании среднего карбона присутствуют немногочисленные брахиоподы *Neochonetes* sp., *Linoproductus postovatus* Semichatova, *Alphachoristites cf. bisulcatiformis* (Semichatova). Микроскопические исследования показывают, что серпуховские известняки по сравнению с башкирскими в большей степени преобразованы вторичными (гипергенными?) процессами.

Разрез “Бражка” – р. Чусовая, правый берег, ниже пос. Староуткинск (рис. 4). В верхней части серпуховского яруса залегают коричневато-серые доломитизированные мелкодетритовые известняки (литокластовые грейнстоуны), которые перекрываются брахиоподовым (стриатиферовым) ракушняком, мощностью от 1.0 до 1.5 м. Нижние 0.5 м ракушняка сложены светлыми известняками с массовым скоплением *Striatifera striata* и редкими *Productus concinnus* Sow., верхняя часть – темно-серыми известняками с многочисленными крупными толстостворчатыми *Striatifera grandicula* Kalashnikov, редкими *Striatifera striata* и *Productus concinnus* [Кучева, 2010, 2011]. Кровля ракушняка неровная, мелкобугорчатая. Выше залегают породы башкирского яруса, представленные мелкодетритовыми известняками (1.3 м) с редкими обломками колоний сиригнопор, одиночных ругоз, члеников криноидей и створок брахиопод размером 1–2 см, встречаются фораминиферы, обрывки водорослей. Здесь появляются *Plectostaffella varvariensis*, *Pl. jakhensis* Reitlinger, *Pl. karsaklensis* Kulagina, а несколько выше по разрезу – *Pl. bogdanovkensis* Reitlinger, что позволяет уверенно проводить границу между ярусами [Степанова, 2018]. На расстоянии 1.0 м от кровли ракушняка встречаются единичные мелкие *Striatifera* sp. indet, мелкие хонетиды и пеллециподы. Далее следуют тонко/микрозернистые известняки без видимых органических остатков, мощностью 10.2–10.5 м. Достоверных следов размыва брахиоподового ракушняка не видно, хотя можно предположить срезы макушки у отдельных раковин. Однако это может свидетельствовать лишь о некоторой остановке в процессе осадконакопления, об образовании своего рода твердого дна.

Таким образом, в разрезе “Бражка” на границе серпуховского и башкирского ярусов по литологическим признакам отмечается кратковременный субаквальный перерыв в осадконакоплении (твердое дно). В разрезе “Луговая” имеет место некото-

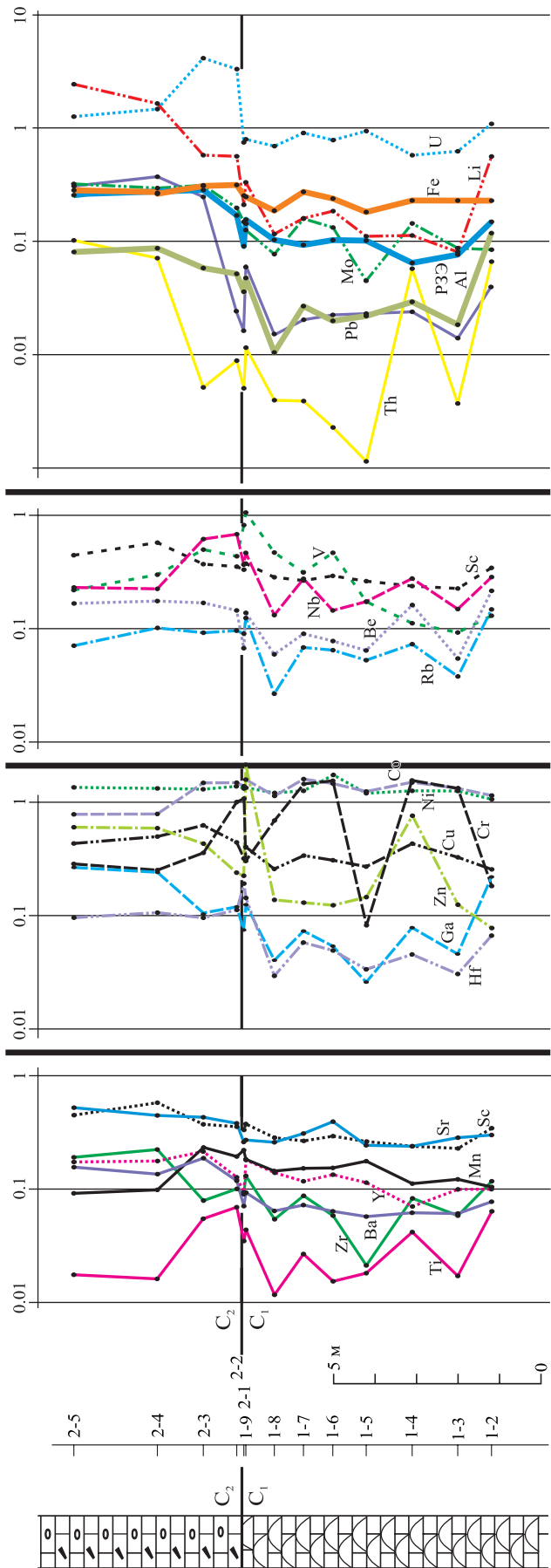


Рис. 3. Содержание редких элементов и суммы редкоземельных, а также алюминия и железа в известняках пограничного C_1/C_2 интервала по разрезу “Луговая”.

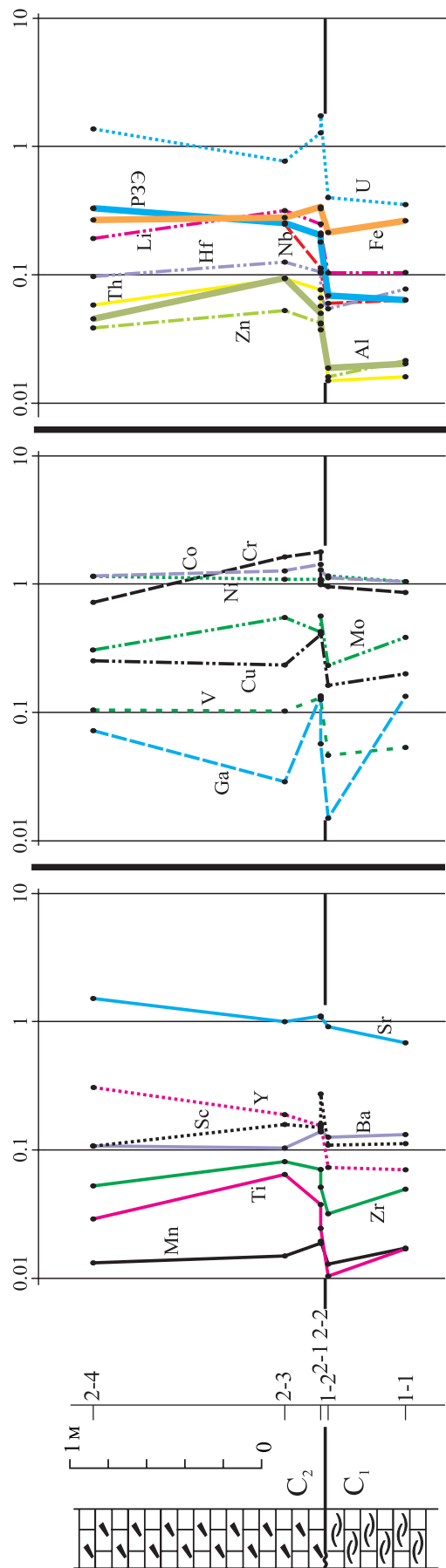


Рис. 4. Содержание редких элементов и суммы редкоземельных, а также алюминия и железа в известняках пограничного C_1/C_2 интервала по разрезу “Бражка”.

Таблица 1. Содержание основных типоморфных элементов и Th, U, Al, Fe, Σ PЗЭ в известняках пограничного интервала

		NN	Ti	Zr	Mn	Sr	Ba	Th	U	Al	Fe	Σ PЗЭ	
р. Худолоз	C ₂	3159-10-2	Н. о.	0.465	15.084	73.144	1.507	0.012	3.303			1.043	
		3159-10-1	33.390	1.535	48.288	142.367	4.097	0.022	5.066	70.340	2111.5	2.181	
		3159-8-1	2.061	0.597	19.837	78.690	3.367	0.027	1.560			1.57	
		3159-6-1	9.811	0.668	82.691	198.076	9.443	0.018	5.208	105.430	2448.1	2.488	
	C ₁	3159-5-1	Н. о.	0.112	6.786	66.042	0.552	0.002	5.530				0.684
		3159-4-2	2.229	1.089	28.033	49.542	1.746	0.019	3.131				1.508
		3159-3-3	5.598	0.474	18.776	64.192	1.043	0.012	3.239				0.966
		3159-3-2	0.352	Н. о.	10.078	145.360	0.817	Н. о.	2.681				0.216
		3159-3-1	1.048	0.441	21.226	127.336	3.445	0.007	1.119				3.706
		3159-2-6	0.399	0.581	17.930	95.080	2.165	0.016	0.994				2.804
		3159-2-4	6.659	0.960	33.276	103.838	2.654	0.023	1.959				2.004
		3159-2-1	1.778	0.734	43.360	167.115	2.047	0.005	1.208	39.922	1820.4		1.223
		3159-2-1a	4.124	0.918	50.931	199.985	2.828	0.011	1.455				1.489
р. Реж (Луговая)	C ₂	3176-2-5	10.299	3.794	75.338	276.794	8.167	0.179	2.869	639.229	2513.3	6.866	
		3176-2-4	9.503	4.423	80.645	235.673	7.084	0.127	3.343	691.626	2388.3	7.056	
		3176-2-3	32.710	1.561	195.788	228.738	9.818	0.009	9.286	462.481	2747.1	7.665	
		3176-2-2	41.204	1.996	160.457	201.319	6.188	0.016	7.534	410.445	2817.0	4.541	
		3176-2-1	20.532	1.811	182.460	138.058	3.703	0.009	1.693	283.428	2255.2	2.408	
	C ₁	3176-1-9	26.218	2.623	152.508	145.151	4.894	0.021	1.813	380.115	2197.5	4.185	
		3176-1-8	6.873	1.069	119.266	139.083	3.335	0.007	1.574	81.118	1658.0	2.777	
		3176-1-7	16.247	1.750	125.541	165.938	3.789	0.007	2.077	214.668	2437.1	2.479	
		3176-1-6	9.053	1.178	126.645	210.726	3.345	0.004	1.784	156.475	2131.9	2.766	
		3176-1-5	10.751	0.414	145.609	130.431	2.988	0.002	2.153	174.613	1613.2	2.758	
		3176-1-4	25.099	1.654	91.630	126.942	3.240	0.110	1.314	234.739	2056.3	1.728	
		3176-1-3	10.079	1.148	100.856	152.875	3.216	0.006	1.420	143.938	2004.1	2.041	
		3176-1-2	37.900	2.325	86.754	158.770	4.030	0.118	2.479	937.379	2043.1	3.995	
Бражка	C ₂	3186-2-4	17.550	1.063	11.054	809.604	5.724	0.105	3.125	356.962	2387.8	8.835	
		3186-2-3	39.036	1.631	12.587	534.882	5.499	0.168	1.750	745.911	2499.0	6.839	
		3186-2-2	22.976	1.418	15.686	594.713	7.332	0.137	2.912	391.868	3020.1	5.472	
		3186-2-1	14.934	1.031	16.362	583.967	7.880	0.103	3.976	325.331	2927.2	4.829	
	C ₁	3186-1-2	6.311	0.640	10.764	489.577	6.626	0.027	0.918	145.943	1907.5	1.841	
3186-1-1		10.262	0.998	14.493	367.285	7.000	0.029	0.810	157.285	2367.9	1.713		
Пределы обнаружения		0.0509	0.0011	0.0028	0.0033	0.0001	0.00001	0.0004					
Кларки		600	20	830	540	53	1.8	2.3	8000	9000	27		

Примечание. Здесь и в табл. 2 кларки указаны по [Интерпретация..., 2001].

рая смена литотипов известняков, но явных признаков перерыва нет. В разрезе “Худолоз” предполагать перерыв практически невозможно, но фациальная неоднородность отложений (чередование фасциелловых известняков и микробиалитов в верхней части серпуховского яруса) указывает на некоторое колебание уровня моря.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация редких и редкоземельных элементов в изученных известняках, как правило, невысокая, в большинстве случаев ниже и значительно ниже кларка [Интерпретация..., 2001] в карбонатных породах (табл. 1, 2; см. рис. 2–4). При этом наибольший интерес представляет содержа-

ние редкоземельных, карбонатфильных (Mg, Sr, Mn, Fe) и некоторых литофильных (Al, Ti, Zr, Ba, Li, Sc, Rb, Cr, Co, Ni и др.) элементов. Кроме того, обращают на себя внимание такие малые элементы, как Th, U, Mo. По содержаниям литофильных элементов (отражающих прежде всего количество терригенной примеси) можно судить о тектонических обстановках осадконакопления [Летникова, 2005; Юдович, Кетрис, 2011], по концентрации редкоземельных элементов – о редокс-параметрах среды (в случае “ультрачистых” известняков) [Webb, Kamber, 2000; Дубинин, 2004], а соотношения карбонатфильных элементов нередко используются для оценки постседиментационных преобразований пород [Kaufman et al., 1993; Семихатов и др., 2004].

Таблица 2. Элементы, отражающие состав питающих провинций

	NN	Cr	Ni	Co	V	Cu	Zn	Pb	Sn	Be	Y	Nb	Rb	Sc	Li	Mo	
р. Худолаз	С ₃	3159-10-2	1.905	5.636	0.576	0.405	0.544	0.181	0.103	Н. о.	Н. о.	0.656	Н. о.	Н. о.	Н. о.	0.352	0.09
		3159-10-1	1.641	12.826	1.702	2.269	1.773	0.395	0.130	0.073	Н. о.	1.795	0.015	0.032	0.554	3.536	0.095
		3159-8-1	Н. о.	4.446	0.654	0.675	2.455	1.488	0.164	Н. о.	Н. о.	0.931	0.008	Н. о.	Н. о.	0.102	Н. о.
		3159-6-1	2.941	9.931	1.784	2.149	2.048	0.451	0.180	0.052	Н. о.	2.164	0.020	0.056	0.657	1.952	0.098
	С ₁	3159-5-1	Н. о.	4.883	0.650	2.976	0.658	0.769	0.116	Н. о.	Н. о.	0.277	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	0.292
		3159-4-2	Н. о.	5.645	0.672	7.125	3.560	1.287	0.221	Н. о.	Н. о.	1.108	Н. о.	0.011	Н. о.	0.071	0.065
		3159-3-3	Н. о.	6.240	0.832	1.777	4.442	2.141	0.160	Н. о.	Н. о.	0.310	0.019	0.115	Н. о.	0.231	0.021
		3159-3-2	Н. о.	6.270	0.818	0.814	0.855	1.099	0.093	Н. о.	Н. о.	0.147	Н. о.	Н. о.	Н. о.	0.055	Н. о.
		3159-3-1	Н. о.	5.951	0.768	0.851	1.372	1.379	0.142	Н. о.	Н. о.	2.817	Н. о.	Н. о.	Н. о.	0.118	0.011
		3159-2-6	26.106	16.756	0.649	0.805	1.369	1.236	0.121	Н. о.	Н. о.	2.223	Н. о.	Н. о.	Н. о.	0.119	0.469
		3159-2-4	12.629	12.483	0.979	1.494	2.620	1.488	0.182	Н. о.	Н. о.	1.651	0.031	0.102	0.020	0.305	0.205
		3159-2-1	38.932	23.051	1.448	1.093	2.677	2.044	0.330	0.041	Н. о.	1.412	0.031	Н. о.	0.075	0.18	0.467
		3159-2-1a	8.337	12.328	1.232	1.004	2.657	0.722	0.276	0.024	0.037	1.746	0.022	0.034	0.380	0.321	0.062
р. Реж (Луговая)	С ₃	3176-2-5	3.097	16.374	1.268	4.146	2.915	13.284	2.661	0.070	0.100	3.429	0.069	0.356	0.897	16.465	0.159
		3176-2-4	2.715	15.861	1.258	5.626	3.421	12.892	3.237	0.148	0.106	3.484	0.067	0.507	1.157	10.996	0.146
		3176-2-3	3.882	15.631	2.403	9.519	4.302	9.429	2.146	0.055	0.101	4.309	0.185	0.459	0.733	3.884	0.155
		3176-2-2	10.883	16.566	2.401	8.152	3.006	5.197	0.203	0.058	0.087	2.514	0.202	0.478	0.705	3.841	0.098
		3176-2-1	11.809	15.936	2.237	15.652	2.175	4.841	0.141	0.045	0.040	1.769	0.109	0.448	0.662	1.409	0.074
	С ₁	3176-1-9	3.199	16.422	2.592	20.107	2.772	47.456	0.545	0.053	0.084	3.618	0.141	0.631	0.746	2.299	0.062
		3176-1-8	7.467	14.633	1.854	8.863	1.763	2.984	0.130	0.021	0.035	2.743	0.039	0.131	0.564	0.789	0.038
		3176-1-7	15.608	15.317	2.540	5.947	2.321	2.806	0.176	0.038	0.054	2.308	0.079	0.344	0.532	1.082	0.079
		3176-1-6	16.839	20.939	2.322	8.853	2.098	2.680	0.194	0.040	0.046	2.690	0.043	0.322	0.579	1.246	0.066
		3176-1-5	0.836	14.338	1.971	3.276	1.825	3.191	0.199	0.020	0.038	2.289	0.052	0.260	0.519	0.753	0.022
		3176-1-4	16.890	15.189	2.396	2.118	2.942	16.681	0.209	0.050	0.098	1.386	0.083	0.367	0.473	0.759	0.072
		3176-1-3	14.291	15.124	2.140	1.759	2.205	2.717	0.120	0.036	0.032	1.969	0.044	0.184	0.448	0.543	0.043
		3176-1-2	2.008	12.770	1.861	2.432	1.735	1.731	0.348	0.036	0.127	1.980	0.084	0.726	0.682	3.76	0.042
Бражка	С ₂	3186-2-4	7.940	13.587	1.827	1.984	1.711	1.580	0.246	0.145	Н. о.	6.108	0.098	0.262	0.215	1.329	0.154
		3186-2-3	17.842	12.999	1.999	1.930	1.586	0.625	0.305	0.054	Н. о.	3.780	0.074	0.774	0.317	2.183	0.274
		3186-2-2	19.528	12.890	2.261	2.479	2.744	3.003	0.356	0.090	Н. о.	3.125	0.034	0.324	0.298	1.709	0.211
		3186-2-1	10.838	12.257	2.044	2.390	2.896	1.255	0.258	0.050	Н. о.	3.215	0.031	0.245	0.549	1.458	0.282
	С ₁	3186-1-2	10.441	13.759	1.774	0.877	1.102	0.323	0.092	0.029	Н. о.	1.471	0.018	0.060	0.218	0.714	0.115
3186-1-1	9.474	12.287	1.662	1.013	1.357	2.943	0.177	0.088	Н. о.	1.418	0.019	0.058	0.225	0.724	0.192		
	Пределы обнаружения	0.0319	0.0226	0.0002	0.0277	0.0023	0.0083				0.0002	0.0001		0.074	0.0239	0.0075	
	Кларки	11	12	1.6	19	6.8	22	8.8	–	0.6	20	0.3	5	2	6.9	0.5	

Концентрация таких элементов, как Mn, Ti, Zr, Ba, в известняках из всех трех разрезов в целом очень низкая, а их распределение относительно равномерное. Например, в обнажении на р. Худолаз содержание Zr, Mn, Ba составляет всего 0.02–0.08 от кларков, а титана – даже меньше 0.01. Только содержание стронция относительно более высокое (как правило, 0.2–0.5 от кларка). В разрезе “Луговая” количество всех указанных элементов несколько более высокое (Zr, Mn, Ba около 0.08–0.30, титана 0.02–0.08, стронция чаще всего 0.5–0.7 от кларка в известняках). Причем характерно, что содержания циркония, бария, стронция в интервале башкирского яруса несколько выше, чем в таковом серпуховского. В обнажении “Бражка” на западном склоне концентрации Zr, Mn, Ba, Ti в пределах 0.02–0.10 от кларков-

вых, причем здесь очень низкое содержание марганца (около 0.02) в отличие от такового предыдущих двух разрезов, где оно составляет около 0.05 (“Худолаз”) и больше 0.10 (“Луговая”), а содержание титана в интервале башкирского яруса более высокое, нежели серпуховского. Содержание стронция здесь около кларкового в известняках (около 1.00). В целом для всех трех разрезов характерно относительно высокое содержание стронция, однако только в известняках разреза западного склона Урала оно находится на уровне кларка. Таким образом, распределение всех элементов этой группы относительно равномерное в пределах пограничного интервала серпуховского и башкирского ярусов во всех трех разрезах. Лишь содержание титана в разрезе “Бражка” более высокое – на уровне башкирского яруса.

Среди других элементов в разрезе “Худолаз” низкие содержания (в пределах 0.01–0.10 от кларка) характерны для Th, Ga, Li, Y, Zn, Pb, V. Содержание Cu доходит до 0.5, а таковое Co, U, Ni, Cr близко к кларку в известняках. В породах башкирского интервала содержание лития несколько выше, чем в карбонатах серпуховского яруса, а содержание Ni, Cr, наоборот, в башкирских известняках ниже. Сумма РЗЭ низкая – общая концентрация ее составляет всего 0.07–0.10 от кларка.

В известняках разреза “Луговая” распределение малых элементов немного иное. Как и на р. Худолаз, содержание Cu 0.5–0.6 от кларкового. В то же время содержание Hf и Ga на уровне серпуховского яруса составляет 0.06–0.08 от кларка, башкирского 0.1–0.3. Концентрация Zn, Cr, Nb, V изменчивые – от 0,1 до 1, в то время как многие другие элементы распределены более равномерно: Sc – 0.5–0.8; Co, Ni – 1.0–1.1; Be, Rb около 0.07–0.20 от кларка. У нескольких элементов концентрация на уровне башкирского яруса существенно больше, чем в интервале серпуховского. Это Th, Pb, Mo, Li, U, а также сумма РЗЭ и Al. Так, содержание тория меняется от 0.001 до 0.1 от кларка, у свинца возрастает от 0.02 до 0.50, у молибдена от 0.06 до 0.50, у лития от 0.1 до 1.3, урана от 0.8 до 1.5. Содержание РЗЭ меняется от 0.08 до 0.50, алюминия от 0.01 до 0.10. В то же время содержание железа устойчивое – 0.4–0.5 от кларкового.

В разрезе “Бражка” нет существенного отличия в распределении указанных элементов. Концентрация Ga, V тоже на уровне 0.05–0.10 от кларка в известняках; Cu, Mo – 0.5–0.8; Ni, Co, Cr – около 1.0. Заметной разницы в содержании перечисленных элементов в интервалах серпуховского и башкирского ярусов нет. Такая разница, однако, наблюдается в отношении Zn (0.02–0.03 и 0.05–0.06 от кларка), Th (0.02–0.03 и 0.07–0.10), Hf (0.08–0.09 и 0.1–0.2), Nb (0.08 и 0.1–0.5), Li (0.1 и 0.4–0.5), U (0.6–0.7 и 0.9–1.2), а также РЗЭ (0.08 и 0.2–0.5) и Al (0.02–0.03 и 0.07–0.10). Содержание Fe устойчивое, как и в карбонатах разреза “Луговая” (0.4–0.5 от кларка в известняках).

Таким образом, из элементов этой группы только концентрации Ni, Co, Cr, U являются близкими к кларковым в известняках во всех трех разрезах. Концентрация меди также везде на уровне 0.5–0.6 от кларка. В разрезе “Худолаз” содержание всех элементов относительно одинаковое на уровне как серпуховского яруса, так и башкирского, только лития несколько больше в верхней части разреза. В то же время в известняках разреза “Луговая” на уровне башкирского яруса (по сравнению с серпуховским) существенно выше концентрация таких элементов, как Th, Pb, Mo, Li, U, а также Al и сумма РЗЭ, а концентрации Hf и Ga ниже. В разрезе “Бражка” в башкирском интервале более высокая концентрация характерна для Al, Th, Zn, Hf, Nb,

Li, U, V, Y, Co, Cu, Mo, Sc, Cr. Однако это изменение выражено менее ярко. Содержание РЗЭ в разрезах “Луговая” и “Бражка” меняется от 0.08 (в серпуховских известняках) до 0.50 (в башкирском интервале). Концентрация Fe в пределах обоих разрезов и независимо от серпуховско-башкирской границы устойчивая в отношении кларка (0.4–0.5). На востоке Южного Урала, в разрезе “Худолаз” (3159), увеличение содержания малых элементов выражено значительно слабее. Некоторое возрастание на границе C_1/C_2 наблюдается только для Li, Co, U.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По характеру распределения малых и отдельных пороодообразующих элементов наиболее выразительной граница C_1/C_2 является в разрезе “Луговая” на р. Реж, где заметно меняется содержание некоторых из них. Скорее всего, это связано с некоторым изменением обстановки осадконакопления, возможно даже с существованием пробела в геологической летописи на этом уровне и, соответственно, со сменой литотипа известняков – массивные микрозернистые известняки серпуховского яруса на указанном рубеже сменяются отчетливо слоистыми и зернистыми – от мелко- до грубозернистых. На западном склоне Урала, в разрезе “Бражка”, увеличение содержания на рубеже C_1/C_2 тоже характерно для многих малых элементов, а также Al и РЗЭ. Здесь это обусловлено кратковременным субаквальным перерывом типа “твердого дна”, после которого также произошла смена литотипа пород – брахиоподовый ракушняк сменился мелкодетритовыми известняками.

В целом более высокие концентрации литофильных элементов в породах башкирского яруса могут свидетельствовать о возрастании роли источников терригенного материала на рубеже раннего и среднего карбона, возможно, в связи с попаданием их в области размыва из-за понижения уровня моря. Хоть это понижение, по всей видимости, было не очень значительным, в разрезах с признаками перерыва в осадконакоплении разница в геохимических параметрах выражена отчетливо (разрез “Луговая” и в меньшей степени “Бражка”). В разрезе “Худолаз-лог”, напротив, не отмечается существенных изменений в геохимии известняков, что подтверждает наше предположение о том, что он является достаточно полным разрезом пограничного ниже-среднекаменноугольного интервала.

Таким образом, глобальный биотический кризис на рубеже серпуховского и башкирского веков, по-видимому, был обусловлен только похолоданием, связанным с оледенением на южном полушарии. На Урале, как и во многих других регионах, на рассматриваемом интервале времени не было значительного перерыва в осадконакоплении.

Все имеющиеся данные указывают на то, что перерыв был малоамплитудным и непродолжительным. В то же время предполагается, что средняя глобальная температура во время пика оледенения понизилась на 10–15° [Mory et al., 2008; Алексеев, Реймерс, 2010]. Существование холодного климата с начала башкирского века подтверждают и результаты исследования изотопного состава кислорода в раковинах брахиопод (Mii et al., 2001; Grossman et al., 2002, 2008).

Исследования выполнены в рамках темы № 0393-2016-0022 государственного задания ИГГ УрО РАН и темы № 0393-2018-0028 (комплексная программа фундаментальных исследований УрО РАН 18-5-5-11).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.С. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4: Геология. 2000. № 5. С. 6–14.
- Алексеев А.С., Дмитриев В.Ю., Пономаренко А.Г. Эволюция таксономического разнообразия. М.: ГЕОС, 2001. 126 с.
- Алексеев А.С., Реймерс А.Н. Климат каменноугольного периода и его динамика на Восточно-Европейской платформе и западном склоне Урала. Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья // Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. П.А. Софроницкого. Пермь: ПГУ, 2010. С. 16–18.
- Артюшков Е.В., Чехович П.А. Изменения уровня моря и быстрые движения земной коры в платформенных областях в позднем палеозое // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 10. С. 1567–1592.
- Демченко А.С., Демченко Б.М., Сычкин Н.М. Современный взгляд на тектоническое строение центральной части Русской плиты // Геол. вестн. Центральных районов России. 1998. № 2–3. С. 5–17.
- Дуб С.А., Мизенс Г.А., Кулешов В.Н., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Николаева С.В., Мельничук О.Ю., Петров О.Л. Граница нижнего и среднего карбона в разрезах Южного и Среднего Урала: изотопный состав углерода и кислорода в известняках // Литосфера. 2019. В печати.
- Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 4. С. 339–358.
- Интерпретация геохимических данных / Е.В. Скляр, Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская и др. М.: Интернет Инжиниринг, 2001, 288 с.
- 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.
- Кулешов В.Н., Седаева К.М., Горожанин В.М., Горожанин Е.Н. Гипостратотип башкирского яруса каменноугольной системы (р. Аскын, Башкортостан): литология, изотопные особенности ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) и условия образования карбонатных пород // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. № 6. С. 41–64.
- Кучева Н.А. Изменения состава сообществ брахиопод в пограничных отложениях нижнего и среднего карбона на примере разреза “Бражка” (западный склон Среднего Урала) // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. Вып. 157. С. 30–37.
- Кучева Н.А. Изменения состава сообществ брахиопод в разрезе “Бражка” как отражение срединнокаменноугольного биотического события (Западный склон Среднего Урала) // Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. Вып. 158. С. 21–26.
- Кучева Н.А. Распространение брахиопод в пограничных отложениях нижнего и среднего карбона разреза Бражка (западный склон Среднего Урала) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2015. Т. 90, вып. 2. С. 35–50.
- Кучева Н.А. Влияние серпуховско-башкирского события на разнообразие брахиопод Среднего и Южного Урала // Литосфера. 2019. В печати.
- Летникова Е.Ф. Геохимическая специфика карбонатных отложений различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана // Литосфера. 2005. № 1. С. 70–81.
- Махлина М.Х., Алексеев А.С., Горева Н.В., Исакова Т.Н., Друцкой С.Н. Средний карбон Московской синеклизы (южная часть). Т. 1. Стратиграфия. М.: Научный мир, 2001. 244 с.
- Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Коровко А.В. Фациальные особенности обломочных пород башкирского яруса на восточном склоне Среднего Урала // Ежегодник-2006. Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. Вып. 154. С. 94–100.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Подковыров В.Н., Бартли Дж., Давыдов Ю.В. Юдомский комплекс стратотипической местности: С-изотопные хемостратиграфические корреляции и соотношение с вендом // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12, № 5. С. 3–29.
- Степанова Т.И. Фораминиферы пограничных отложений нижнего и среднего карбона разреза Бражка (западный склон Среднего Урала) // Бюлл. МОИП. 2018. № 4. С. 31–53.
- Степанова Т.И., Кучева Н.А. Разрез “Худолаз” – стратотипизированных субрегиональной схемы нижнекаменноугольных отложений восточного склона Урала // Литосфера. 2006. № 1. С. 45–75.
- 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.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
- Яблоков В.С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки (в рифее–палеозое Русской платформы). М.: ГИН АН СССР, 1973. Вып. 248. 212 с.
- Alekseev S.A., Kononova L.I., Nikishin A.M. The Devonian and Carboniferous of the Moscow Syncline (Russian Platform): stratigraphy and sea-level changes // Tectonophysics. 1996. V. 268. P. 149–168.

- Grossman E.L., Bruckschen P., Mii H.-S., Chuvashov B.I., Yancey T.E., Veizer J.* Carboniferous paleoclimate and global change: isotopic evidence from the Russian Platform // Стратиграфия и палеогеография карбона Евразии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 61–71.
- Grossman E.L., Yancey T.E., Jones T.E., Bruckschen P., Chuvashov B.I., Mazzullo S.J., Mii H.-S.* Glaciation, aridification, and carbon sequestration in the Permo-Carboniferous: The isotopic record from low latitudes // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008. V. 268. P. 222–233.
- Haq B.U., Schutter S.R.* A chronology of Paleozoic sea-level changes // *Science*. 2008. V. 322, iss. 5898. P. 64–68.
- Kaufman A.J., Jacobsen S.B., Knoll A.H.* The Vendian record of Sr and C isotopic variations in seawater: Implications for tectonics and paleoclimate // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1993. V. 120, iss. 3–4. P. 409–430.
- Mii H.-S., Grossman E.L., Yancey T.E., Chuvashov B., Egorov A.* Isotope records of brachiopod shells from the Russian Platform – evidence for the onset of Mid-Carboniferous glaciation // *Chem. Geol.* 2001. V. 175. P. 133–147.
- Mory A.J., Redfern J., Martin J.R., Fielding C.R., Frank T.D., Isbell J.L.* A review of Permian-Carboniferous glacial deposits in Western Australia: Special Paper // Geological Society of America. 2008. V. 441. P. 29–40.
- Proust J.N., Chuvashov B.I., Vennin E., Boissesu T.* Carbonate platform drowning in a foreland setting: the Mid-Carboniferous platform in Western Urals (Russia) // *J. of Sedimentary Res.* 1998. V. 68, no. 6. P. 1175–1188.
- Ross C.A., Ross J.R.P.* Late Paleozoic transgressive-regressive deposition // *Sea-Level Changes: An Integrative Approach*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. / ed. by C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.S.C. Kendall, H. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagoner: Spec. Publ. The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. 1988. V. 42. P. 227–247.
- Webb G.E., Kamber B.S.* Rare earth elements in Holocene reefal microbialites: a new shallow seawater proxy // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2000. V. 64. P. 1557–1565.