

## О СРЕДЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОЗДНЕДЕВОНСКОЙ-РАННЕКАМЕННОУГОЛЬНОЙ КАРБОНАТНОЙ ПЛАТФОРМЕ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН СРЕДНЕГО УРАЛА)

© 2013 г. Г. А. Мизенс, С. А. Сапурин

По берегам р. Реж, в районе с. Першино (западная часть Сосьвинско-Теченской зоны), обнажается разрез верхнедевонских (верхи франа и фамен) и нижнекаменноугольных (турнейский ярус) карбонатных отложений, представляющий собой фрагмент изолированной карбонатной платформы, формировавшийся на аккреционной окраине Восточно-Европейского континента [3]. Шельфовые известняки на рассматриваемой территории известны, по крайней мере, со среднего девона [4–7], следовательно, карбонатное осадконакопление здесь шло продолжительное время, несмотря на меняющиеся события в окружающем пространстве, в том числе, связанные с изменением геодинамической обстановки. Скорее всего, на этой территории существовал относительно устойчивый блок земной коры, служивший фундаментом упомянутой платформы. По мнению В.Н. Пучкова [8], это мог быть микроконтинент (или часть силурийской островной дуги), в пределах которого длительное время сохранялась морская относительно мелководная обстановка.

Рассматриваемый разрез сложен слоистыми известняками. К франскому ярусу относятся известняки серые и светло-серые, местами с розовым оттенком, слоистые, с неровными, реже ровными, слоевыми поверхностями. Органические остатки (строматопороидеи, амфипоры, редко брахиоподы) распределены неравномерно. Нижнефаменский подъярус представлен светлыми, зернистыми породами (иногда гравелитами и конгломератами), в нижней части с отчетливой градационной сортировкой материала и с тонкими прослоями силикатных пород (алевролитов и аргиллитов). Встречаются мелкие брахиоподы, криноидеи. В верхней части известняки становятся более однородными. В их составе присутствуют брахиоподовые ракушники. Верхнефаменский подъярус уже сложен относительно темными породами с ровными поверхностями слоев, с незначительным количеством тонкостворчатой макрофауны. Нижняя часть турнейского яруса (режевской и першинский горизонты) представлена комковатыми, преимущественно темно-серыми до черных породами, часто с неровными плоскостями напластования, с редкими (местами многочисленными) тонкостворчатыми брахиоподами и гастроподами. Верхнетурнейский подъярус (кизеловский горизонт) в нижней части

сложен мелко- и тонкообломочными известняками серыми и темно-серыми, часто с градационной сортировкой, встречается косая слоистость. Присутствуют тонкостенные, реже толстостенные раковины брахиопод, мелкие членики криноидей (иногда многочисленными), остракоды, гастроподы. В верхней части горизонта увеличивается количество брахиопод (в том числе нередки грубые створки раковин), члеников криноидей, вблизи кровли обнаженного интервала членики криноидей обильны и крупные, местами они слагают слои и линзы. Косьвинский горизонт представлен серыми тонкозернистыми и афанитовыми известняками с криноидеями, местами мелкими брахиоподами, редко встречаются одиночные кораллы и гастроподы.

Различия в литологическом составе рассматриваемых известняков сказываются, в какой-то степени, и на распределении редких элементов. В то же время, особенности распределения некоторых из них позволяют судить об условиях и среде осадконакопления, в том числе об окислительно-восстановительных условиях в придонном слое воды. В первую очередь это относится к так называемым “редокс-чувствительным”, особенно мультивалентным элементам, редуцированные разности которых или легко создают соединения с органическим веществом или образуют нерастворимый осадок: например, молибден, уран, ванадий, марганец, кобальт, хром, цинк, кадмий [2, 9, 10, 12, 13, 19, 24 и др.].

По степени насыщенности кислородом придонные воды в современных бассейнах принято подразделять на несколько состояний [23]: оксидное (концентрация кислорода более 2.0 мл/л), дисоксидное (2.0–0.2 мл/л), субоксидное (0.2–0.0 мл/л) и аноксидное (0.0 мл/л). Для характеристики среды древних бассейнов, однако, чаще используются три состояния – оксидное, дисоксидное (с пониженным содержанием кислорода) и аноксидное (бескислородное). Только в таком виде и может быть произведена оценка состояния былой среды с использованием элементов-индикаторов.

На содержание тех или иных из указанных выше элементов, однако, влияет не только среда осадконакопления. На это также обращали внимание многие исследователи, например, Б. Джонс и А. Маннинг [17], Ю.О. Гаврилов и др. [1], А.В. Маслов и др. [2], следовательно, в разных осадочно-

породных бассейнах пригодными для реконструкции среды осадконакопления оказываются разные индикаторы. Так, по данным Ю.О. Гаврилова и др., изучавших меловые битуминозные аргиллиты центральных районов Русской плиты, из рассмотренных индикаторов более или менее согласованные выводы получены только с использованием отношений  $Mo/Mn$ ,  $V/(V + Ni)$  и  $V/Cr$ . По данным А.В. Маслова с соавторами, основанном на рифейских и вендских терригенных отложениях, ни одно из использованных ими соотношений по одиночке (за исключением  $Mo/Mn$ ) не является достоверным показателем окислительно-восстановительных обстановок. Б. Джонс и А. Маннинг на основании изучения верхнеюрских отложений Северного моря и Центральной Англии, пришли к выводу, что лучше всего редокс-условия разграничивают отношения  $U/Th$ ,  $V/Cr$ ,  $Ni/Co$  и аутигенный  $U$ .

Для оценки окислительно-восстановительных состояний придонной воды, существовавших во время формирования карбонатной платформы на Среднем Урале в конце девона и в начале карбона, нами была сделана попытка использовать различные элементы-индикаторы и их соотношения. Но и здесь пригодными оказались только некоторые из них.

В первую очередь это отношение  $V/Cr$ , предложенное В. Эрнстом [11], и часто используемое зарубежными исследователями в качестве индикатора содержания кислорода. Согласно Б. Джонсу и А. Маннингу [17], значение этого отношения более 4.5 указывает на аноксидную обстановку, а менее 2 – на оксидную. Д. Бонд с соавторами [14], несколько раздвигают эти границы (соответственно 5 и 1). В соответствии с данным индикатором, в рассматриваемом (Першинском) разрезе карбонатной платформы сохранялись кислородные условия на протяжении верхнефранского подъяруса и всего фаменского яруса. Здесь отношение  $V/Cr$ , как правило, меньше 1 (табл. 1 рис. 1). Лишь вблизи границы с карбоном это значение возрастает (до 2 и даже 5), что может свидетельствовать о кратковременном обеднении содержания кислорода. В начале карбона опять имело место выраженная оксидная обстановка ( $V/Cr$  меньше 1), а потом постепенно падала концентрация кислорода до конца раннего турне ( $V/Cr$  достигает 6), и далее, опять постепенно, но довольно быстро это значение уменьшается и на протяжении почти всего позднего турне сохраняется кислородная обстановка. Только в самом конце века (в косьвинское время) имело место слабое кратковременное обеднение кислородом.

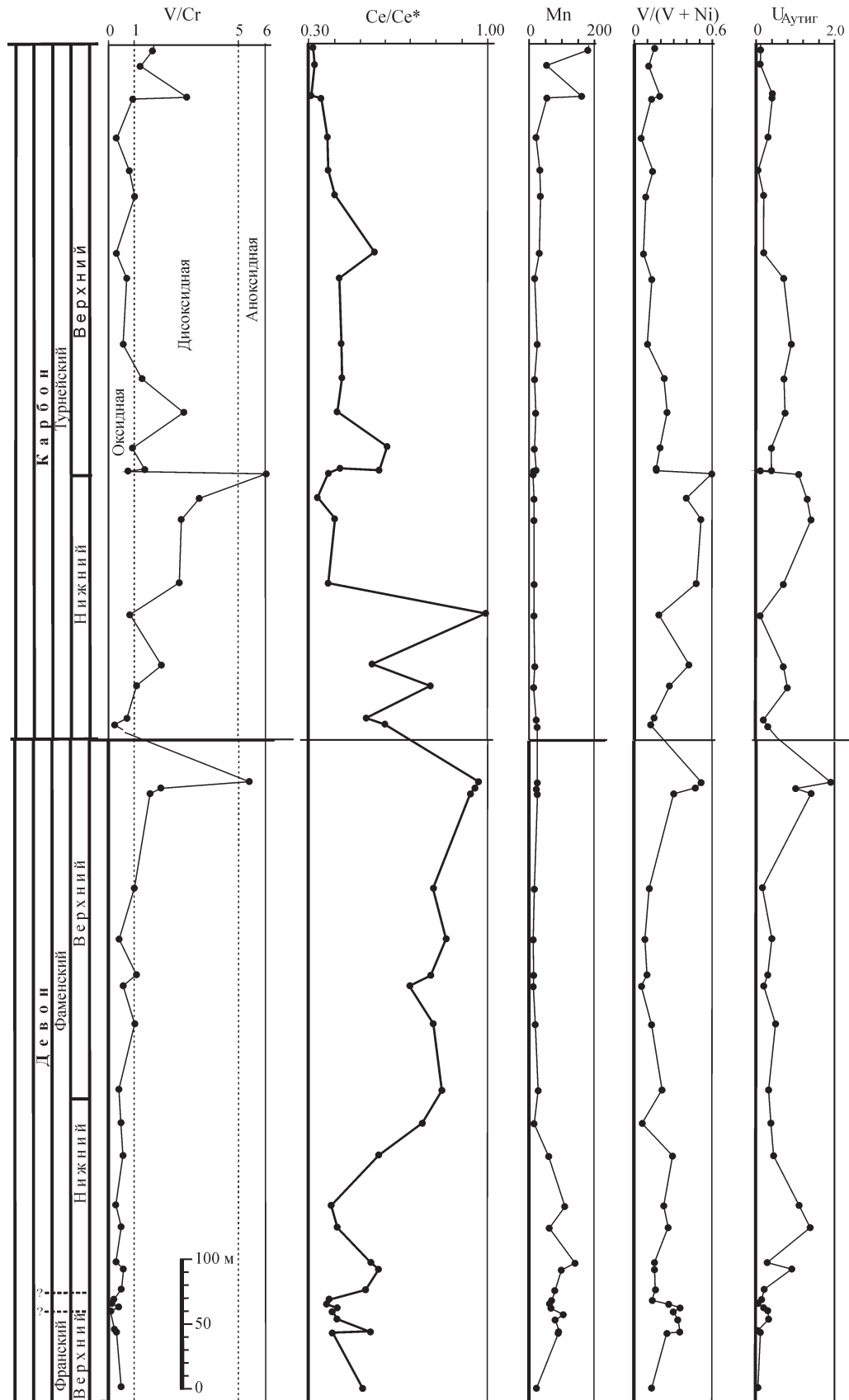
В.Н. Холодов и Р.И. Недумов [9, 10] предложили использовать в качестве индикатора аноксидных обстановок отношение  $Mo/Mn$ . Как было отмечено выше, именно этот индекс удачно работал в отношении докембрийских отложений Западного Урала. По данным В.Н. Холодова и Р.И. Недумова о сероводородном заражении древних водоемов

можно говорить, если указанное отношение превышает 0.01. Применение этого индикатора в разрезе у с. Першино показало, что в девонском интервале обстановки повсюду были кислородными (в том числе во время кельвассеровских событий), отношение  $Mo/Mn$  во всех случаях ниже 0.005. В карбоне ситуация несколько изменилась. Высокие значения этого отношения наблюдаются в интервале першинского горизонта нижнего турне (в его верхней части), сложенного черными битуминозными известняками. Значения, превышающие 0.01 имеют место также в верхнем турне, на уровне косьвинского горизонта (см. рис. 1). Такие значения  $Mo/Mn$  в этих интервалах определяется только существенно повышенным содержанием молибдена.

Б. Джонс и А. Маннинг [17] предлагают использовать также отношение  $Ni/Co$  для определения окислительно-восстановительных условий. По их данным, высокое значение этого индекса (более 7.0) указывает на аноксидную обстановку, в то время как низкое (менее 5.0) – на кислородную. В разрезе Першино абсолютные значения этого отношения очень высокие (в некоторых случаях больше 9), согласно указанной типизации, они свидетельствуют об аноксидных обстановках. В то же время тенденция изменения его вполне согласуется с другими индикаторами. Так, наиболее высокие значения (8.3–8.7) относятся к рубежу фран/фамен, 9–9.5 – к верхней части нижнетурнейского подъяруса, 8.2–9.1 – к верхам турнейского яруса.

Для оценки окислительно-восстановительных обстановок нередко используются отношение  $V/(V+Ni)$ , варьирующее от 0.65–0.7 в осадках, формировавшихся в умеренно бескислородных обстановках до почти 1.0 – в аноксидных [15]. Согласно этому распределению, на рассматриваемой платформе обстановки были кислородными (меньше 0.3–0.4), лишь в образцах из першинской свиты и из кровли фаменского яруса наблюдается некоторое уменьшение содержания кислорода (0.5–0.6). Слабое уменьшение количества этого элемента имело место и в верхах франского яруса (до 0.4).

Известно, что в морской воде с нормальным содержанием кислорода концентрация урана невысокая и относительно постоянная, но в осадках, осаждаемых в аноксидных условиях, она возрастает. При этом наиболее показательным является так называемый аутигенный уран [24], фиксируемый, главным образом, органическим веществом. Содержание такого урана указанные авторы предлагают рассчитывать по формуле: аутигенный  $U = (\text{общий } U) - Th/3$ . По мнению Б. Джонса и А. Маннинга [17], а также Д. Бонда и др. [14], содержание аутигенного урана менее 5 г/т, указывает на кислородную среду, а более 12 – на аноксидную. Данный индикатор также свидетельствует о существовании кислородной обстановки во время осаждения известняков рассматриваемого разреза. Содержание аутигенного ура-



**Рис. 1.** Колебания значений основных геохимических индикаторов окислительно-восстановительной обстановки в придонном слое воды (разрез Першино на р. Реж).

**Таблица 1.** Концентрация малых элементов (г/т) и значения некоторых геохимических индексов в известняках разреза Першино

NN	V	Cr	Mn	Co	Ni	Mo	Th	U	V/Cr	Mo/Mn	Ni/Co	V/(V+Ni)	Ce/Ce*
3025-2	0.40	0.77	25.28	0.46	2.73	0.01	0.005	0.06	0.51	0.0005	5.98	0.13	0.51
3025-9	1.15	3.70	91.55	0.54	3.29	0.01	0.08	0.14	0.31	0.0002	6.08	0.26	0.39
3025-10	4.04	21.55	92.12	0.88	7.32	0.18	0.29	0.08	0.19	0.0020	8.33	0.36	0.54
3025-14	1.77	36.45	105.6	0.67	4.08	0.08	0.19	0.38	0.05	0.0008	6.04	0.30	0.39
3025-16	2.60	21.33	63.38	0.80	7.03	0.04	0.26	0.06	0.12	0.0007	8.75	0.27	0.37
3025-12	4.46	106.2	80.99	1.20	8.81	0.03	0.15	0.40	0.04	0.0004	7.32	0.34	0.41
3025-15	2.08	5.43	70.49	0.63	3.74	0.07	0.08	0.27	0.38	0.0009	5.92	0.36	0.41
3025-17	1.40	6.34	68.66	1.25	8.48	0.01	0.001	0.16	0.22	0.0002	6.78	0.14	0.38
3025-19	1.60	3.27	79.41	1.17	7.98	0.02	0.125	0.23	0.49	0.0002	6.82	0.17	0.52
3025-23	1.52	2.43	100.2	1.03	7.75	0.01	0.14	0.95	0.62	0.0001	7.49	0.16	0.57
3025-24	1.50	4.86	145.4	1.58	7.97	0.02	0.020	0.31	0.31	0.0001	5.05	0.16	0.54
3025-29	4.19	8.69	64.43	1.60	11.4	0.20	0.90	1.38	0.48	0.0031	7.12	0.27	0.41
3025-31	3.63	10.79	110.4	1.97	12.1	0.10	0.020	1.10	0.34	0.0009	6.17	0.23	0.39
3025-35	3.68	6.30	58.03	1.49	8.37	0.02	0.002	0.44	0.58	0.0003	5.62	0.30	0.57
3025-36	0.73	1.49	16.70	1.11	9.43	0.02	0.05	0.38	0.48	0.0014	8.48	0.07	0.74
3025-39	2.62	7.26	27.84	1.47	9.56	0.02	0.019	0.28	0.36	0.0009	6.49	0.21	0.81
3025-44	1.50	1.45	19.04	1.28	9.39	0.01	0.018	0.48	1.03	0.0007	7.32	0.14	0.78
3025-47	0.60	0.99	14.37	1.30	9.54	0.01	0.001	0.16	0.61	0.0001	7.32	0.06	0.69
3025-48	1.02	0.96	16.20	1.36	9.22	0.02	0.002	0.25	1.06	0.0012	6.77	0.10	0.77
3025-51	1.21	3.12	17.30	1.47	11.8	0.02	0.001	0.39	0.39	0.0014	8.04	0.09	0.83
3025-55	1.39	1.43	16.81	1.40	10.2	0.02	0.04	0.19	0.97	0.0012	7.26	0.12	0.78
3025-64	4.60	2.86	25.44	1.47	10.0	0.08	0.06	1.41	1.61	0.0032	6.83	0.31	0.92
3025-65	10.5	1.85	23.88	1.57	9.75	0.06	0.06	1.96	5.67	0.0027	6.20	0.52	0.95
3027-1	12.7	4.59	13.35	1.30	12.3	1.21	0.10	1.42	2.77	0.0907	9.41	0.51	0.40
3027-3	10.2	2.93	13.25	1.59	15.2	0.38	0.001	1.25	3.48	0.0286	9.51	0.40	0.33
3027-6	14.8	1.72	9.90	1.11	9.78	0.09	0.01	1.06	8.61	0.0096	8.78	0.60	0.37
3027-7	2.04	1.48	19.64	1.32	9.82	0.07	1.015	0.45	1.38	0.0037	7.43	0.17	0.42
3027-10	2.65	2.98	12.69	1.24	10.9	0.01	0.018	0.45	0.89	0.0004	8.80	0.19	0.61
3027-13	3.64	1.24	19.66	1.19	10.9	0.01	0.008	0.75	2.93	0.0004	9.12	0.25	0.39
3027-13	3.64	1.30	20.07	1.50	11.3	0.01	0.008	0.76	2.80	0.0002	7.56	0.24	0.44
3027-17	2.71	2.10	15.26	1.62	9.22	0.11	0.04	0.73	1.29	0.0073	5.68	0.23	0.43
3027-20	1.11	1.78	23.17	1.35	9.89	0.06	0.02	0.93	0.62	0.0024	7.30	0.10	0.43
3027-27	1.83	2.46	16.56	1.71	12.3	0.04	0.02	0.68	0.75	0.0026	7.21	0.13	0.42
3027-29	0.86	2.51	30.89	1.63	11.6	0.01	0.010	0.24	0.34	0.0001	7.09	0.07	0.56
3027-33	1.10	1.07	36.80	1.38	11.1	1.01	0.018	0.22	1.03	0.0276	8.06	0.09	0.40
3027-35	1.47	1.80	34.36	1.60	9.30	0.04	1.01	0.13	0.82	0.0010	5.80	0.14	0.37
3027-38	0.56	1.60	20.30	1.44	11.6	1.01	0.03	0.36	0.35	0.0500	8.02	0.05	0.37
3027-41	1.62	1.79	53.35	1.40	11.2	1.01	0.026	0.39	0.90	0.0190	8.00	0.13	0.34
3028-1	3.26	1.08	162.3	1.40	12.8	1.01	0.05	0.44	3.02	0.0063	9.16	0.20	0.27
3028-8	1.36	1.10	55.52	1.32	10.9	1.01	0.080	0.13	1.24	0.0183	8.23	0.11	0.32
3028-11	1.96	1.17	180.2	1.41	10.1	1.01	0.07	0.12	1.68	0.0056	7.18	0.16	0.30
3028-12	0.17	0.11	7.08	0.12	1.03	0.01	0.004	0.02	1.64	0.0003	8.74	0.14	0.36
3012-2	6.47	3.19	21.78	1.31	7.09	0.02	0.03	1.03	2.03	0.0011	5.43	0.48	0.94
3012-8	0.99	2.40	23.85	1.00	7.08	0.04	0.026	0.28	0.41	0.0016	7.08	0.12	0.59
3013-9	1.05	1.55	20.01	1.07	5.99	0.03	0.012	0.18	0.68	0.0013	5.59	0.15	0.47
3013-13	2.42	2.24	13.00	1.44	6.61	0.06	0.019	0.82	1.08	0.0044	4.60	0.27	0.78
3013-15	5.08	2.39	17.49	1.08	6.91	0.05	0.04	0.70	2.13	0.0031	6.40	0.42	0.55
3013-20	1.41	1.85	14.98	1.31	6.08	0.03	0.05	0.15	0.76	0.0023	4.65	0.19	0.99
3013-24	8.59	3.15	15.97	1.27	6.25	0.04	0.03	0.73	2.72	0.0026	4.98	0.58	0.37
3013-29	1.20	1.65	11.53	1.27	5.87	0.05	0.02	0.37	0.72	0.0044	4.61	0.17	0.57

на в них не превышает 2 г/т, а чаще всего оно меньше 1. Лишь в верхах фамена (1.4–1.9 г/т), в верхней части першинского горизонта нижнего турне (1.1–1.4 г/т) и в низах фамена (0.9–1.3 г/т) можно предположить несколько пониженное, по сравнению с общим фоном, содержание кислорода.

Как убедительно показали Р. Мюррэй с соавторами [20, 21], Дж. Паттан и др. [22] и другие исследователи, концентрация церия в осадочных породах также зависит от условий осадконакопления в бассейне. Увеличение содержания этого элемента указывает на окислительную обстановку, в то время

как уменьшение – на восстановительные или бескислородные условия. В аноксидных/субоксидных условиях нерастворимый  $\text{Ce}^{4+}$  переходит в растворимый  $\text{Ce}^{3+}$ , в то время как в среде богатой кислородом растворимый  $\text{Ce}^{3+}$  окисляется до нерастворимого  $\text{Ce}^{4+}$ . Согласно П. Вилде с соавторами [25] в ходе трансгрессии в придонной воде количество кислорода уменьшается, и отрицательная Се-аномалия в осадке усиливается, во время регрессии, наоборот – отрицательная Се-аномалия уменьшается или становится положительной, так как, придонная вода получает больше кислорода. Следовательно, положительная Се-аномалия указывает на преобладание окислительных обстановок и на падение уровня моря. Отрицательная – на восстановительные обстановки и на подъем уровня моря. Во время *регрессии*, если климат изменялся от неледникового до ледникового, количество Се сильнее растёт, и слабее – если климат был уже ледниковым. Во время *трансгрессии* максимальное уменьшение Се-аномалии произойдет, если климат изменился от ледникового до неледникового, а минимальное уменьшение произойдет если климат был уже неледниковым. Таким образом, Се-аномалия более чувствительна к изменениям уровня моря, которые происходят во время изменений в климате, чем во время интервалов климатической стабильности. Предполагается [16, 18], что многие фаменские и турнейские события могут быть объяснены короткопериодическими колебаниями уровня моря, связанными с оледенением на Гондване, в том числе трансгрессией на уровне конодонтовой зоны *P. marginifera*, среднефаменской регрессией, отмеченной в различных частях Лавруссии.

Среди индикаторов, использованных для характеристики среды осадконакопления на рассматриваемой карбонатной платформе, аномалия церия, по-видимому, является наиболее показательной (см. рис. 1). Так, на рубеже франа и фамена проявляется сильная отрицательная аномалия, свидетельствующая о трансгрессии, очевидно связанной с верхним Кельвасеровским событием. Выше этой границы, в низах фамена, аномалия становится менее глубокой, и потом опять глубокой, что отражает глобальную регрессию, известную на этом уровне по многим регионам и последующую за ней трансгрессию. В дальнейшем, на протяжении почти всего фамена, наблюдается постепенное уменьшение величины отрицательной аномалии, почти до полного ее исчезновения, что, по-видимому, отражает постепенное уменьшение глубины бассейна. На границе девона и карбона и в начале карбона снова имеет место колебание аномалии церия, вероятно, связанные с колебаниями глубины бассейна, с многофазными Хангенбергскими событиями. Значительное увеличение величины отрицательной аномалии церия наблюдается в битуминозных известняках верхней части нижнетурнейско-

го подъяруса, в интервале, где почти все индикаторы окислительно-восстановительной среды указывают на дисоксидную обстановку. Кизеловский горизонт (верхнетурнейский подъярус) характеризуется менее глубокими отрицательными аномалиями, что, по-видимому, отражает некоторое обмеление бассейна, но не такое сильное, как во второй половине фамена, а в самом конце турнейского яруса, на уровне косьвинского горизонта, снова имела место трансгрессия, здесь наблюдаются выраженные отрицательные аномалии церия.

Таким образом, полученные данные о геохимии известняков показали, что среда осадконакопления в бассейне не оставалась постоянной, хотя большей частью придонные воды были насыщены кислородом. Некоторое обеднение имело место лишь на рубежах фран/фамен, девон/карбон, в конце турне, а на уровне першинского времени турнейского века это обеднение было наиболее существенным, хотя признаки аноксидных условий здесь тоже отсутствуют. Устойчивое развитие кислородных обстановок на рассматриваемой платформе можно объяснить палеогеографическим положением – вблизи континентальной окраины, по аналогии с известным верхнедевонским разрезом Wolayer Glacier в Карнийских Альпах [14].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00561) и интеграционного проекта УрО, СО и ДВО РАН № 12-С-5-1014.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гаврилов Ю.О., Щенетова Е.В., Барабошкин Е.Ю., Щербина Е.А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: седиментология и геохимия // Литология и полезные ископаемые 2002. № 4. С. 359–380.
2. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Петров Г.А. К оценке редокс-обстановок рифейских и вендских бассейнов осадконакопления западного склона Урала // Литосфера. 2003. № 2. С. 75–93.
3. Мизенс Г.А., Кулешов В.Н., Степанова Т.И., Кучева Н.А. Изотопный состав и условия образования верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений восточного склона Среднего Урала // Ленинградская школа литологии: мат-лы Всерос. литолог. совещ. Т. 2. С-Пб.: СПбГУ, 2012, С. 60–62.
4. 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.
5. Плюснина А.А., Арбанова Е.С., Поташко М.А., Степанова Т.И. Литолого-минералогическое изучение разрезов нижнего карбона Урала для целей корреляции и палеогеографии // Литологические методы при детальном расчленении и корреляции осадочных толщ. Новосибирск: Наука, 1990. С. 132–140.
6. Постоялко М.В., Плюснина А.А., Арбанова Е.С. и др. Турнейские отложения карбона по р.Реж (разрез

- “Першино”) // Новые данные по геологии Урала, Западной Сибири и Казахстана. Свердловск: ИГиГ УрО АН СССР, 1990. С. 74–94.
7. *Постоялко М.В., Кучева Н.А., Степанова Т.И., Ширшова Д.И.* Фаунистическая характеристика отложений фаменского и турнейского ярусов в разрезе “Першино” // Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала. Екатеринбург: Минприроды РФ, Комприроды по Свердловской обл., ОАО УГСЭ, 1999. С. 114–136.
  8. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 145 с.
  9. *Холодов В.Н., Недумов Р.И.* О геохимических критериях появления сероводородного заражения в водах древних водоемов // Изв. АН. СССР. Сер. геол. 1991. № 12. С. 74–82.
  10. *Холодов В.Н., Недумов Р.И.* О применении молибденового модуля к реконструкции газового состава вод меловой Атлантики // Докл. АН. 2005. Т. 400, № 2. С. 250–253.
  11. *Эрнст В.* Геохимический анализ фаций. Л.: Недра, 1976. 127 с.
  12. *Adelson J.M., Helz G.R., Miller C.V.* Reconstructing the rise of recent coastal anoxia; molybdenum in Chesapeake Bay sediments // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2001. V. 65. P. 237–252.
  13. *Algeo T.J., Maynard J.B.* Trace-element behavior and redox facies in core shales of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems // *Chem. Geol.* 2004. V. 206. P. 289–318.
  14. *Bond D., Wignall P.B., Racki G.* Extent and duration of marine anoxia during the Frasnian-Famennian (Late Devonian) mass extinction in Poland, Germany, Austria and France // *Geol. Mag.* 2004. V. 41 (2), P. 173–193.
  15. *Hatch J.R., Leventhal J.S.* Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone Wabaunsee County, Kansas, USA // *Chem. Geol.* 1992. V. 99. P. 65–82.
  16. *House M.R.* Strength, timing, setting and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 2002. V. 181. P. 5–25.
  17. *Jones B., Manning D.A.C.* Composition of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones // *Chem. Geol.* 1994. V. 111. P. 111–129.
  18. *Kalvoda, J.* Late Devonian-Early carboniferous foraminiferal fauna: zonation, evolutionary events, paleobiogeography and tectonic implications. *Folia, Geologia,* 39, Masaryk University, Brno, Czech Republic. 2002. 213 p.
  19. *Morford J.L., Emerson S.* The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1999. V. 63, P. 1735–1750.
  20. *Murray R.W., Buchholz ten Brink M.R., Jones D.L. et al.* Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology* 1990. V. 18, № 3. P. 268–271.
  21. *Murray R.W., Buchholz ten Brink M.R., Brumsack H.J. et al.* Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behavior of Ce/Ce\*: results from ODP leg 127 // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1991. V. 55. P. 2453–2466.
  22. *Pattan J.N., Pearce N.J.G., Mislankar P.G.* Constraints in using Cerium-anomaly of bulk sediments as an indicator of paleo bottom water redox environment: A case study from the Central Indian Ocean Basin // *Chem. Geol.* 2005. V. 221. P. 260–278.
  23. *Tyson R.V., Pearson T.H.* Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview // *Modern and ancient continental shelf anoxia / R.V. Tyson and T.H. Pearson (Eds.).* *Geol. Soc. London.* 1991. Spec. Publ. № 58. P. 1–24.
  24. *Wignall P.B., Myers K.J.* Interpreting the benthic oxygen levels in mudrocks, a new approach // *Geology.* 1988. V. 16. P. 452–455.
  25. *Wilde P., Quinby-Hunt M.S., Erdtmann B-D.* The whole-rock cerium anomaly: a potential indicator of eustatic sea-level changes in shales of the anoxic facies // *Sed. Geology.* 1996. № 101. P. 43–53.