Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК [552.52+550.42]:551.735.1 (282.247.111)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-5-13-21

ВИЗЕЙСКИЕ КАРБОНАТНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В БАСЕЙНЕ Р. ИЛЫЧ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ): ЛИТОЛОГИЯ, ИЗОТОПИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

А. Н. Шадрин, А. Н. Сандула

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

anshadrin@geo.komisc.ru, sandula@geo.komisc.ru

В работе приводятся результаты литологических исследований и первые сведения по изотопному составу визейских карбонатных пород восточных разрезов в бассейне р. Илыч на Северном Урале. Изученные породы представлены в основном различными типами известняков (биокластовых, оолитовых, пелитоморфных, комковато-сгустковых и обломочных), иногда в той или иной степени доломитизированных или окремненных. Терригенные породы (тонкозернистые кварцевые песчаники и аргиллиты) присутствуют в виде прослоев и маломощных пачек в нижней части разреза. Соотношения стабильных изотопов углерода и кислорода в рассматриваемых породах чаще всего согласуются со среднестатистическими их значениями в визейских морских карбонатах Восточно-Европейской платформы и Урала. Характер изменения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатных породах соответствует тренду изменения условий осадконакопления в визейский век на восточной окраине карбонатного шельфа Верхнепечорского палеобассейна: глубокое море — мелкое море — островное мелководье.

Ключевые слова: карбонатные отложения, $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, визейский ярус, нижний карбон, Северный Урал.

WISEAN CARBONATE DEPOSITS IN THE ILYCH RIVER BASIN (NORTHERN URALS): LITHOLOGY, ISOTOPES, EVOLUTION OF SEDIMENTATION

A. N. Shadrin, A. N. Sandula

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The paper presents the results of lithological studies and the first data on carbon and oxygen isotope composition in limestones of Visean deposits at the eastern outcrops (Ilych River, Northern Urals). The main part of studied rocks are represented by different types of limestone: bioclastic and oolitic wackestones and grainstones, peloids wackestones and calcareous rudstones. Sometimes limestones are variously dolomitized and silicified. Fine-grained quartz sandstones and claystone occur in the lower part of the studied section.

A total of 144 samples of limestones have been analysed for their carbon and oxygen isotopic values: $\delta^{13}\text{C}_{\text{DPB}} = -2.9...+4.2\text{‰}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = +23...+28.5\text{‰}$. Most of these values are located within Visean marine carbonates of the East European platform and the Urals. Variations in the carbon and oxygen isotopic composition of limestones are in some extent consistent with the revealed trend of changes in the conditions of sedimentation in the Eastern Upper Pechora paleobasin in Visean.

In Visean at the observed area the sedimentation occurred within shallow-water carbonate shelf. The transition from terrigenous to calcareous sedimentation occurred in the period of maximum transgression within Radaevian-Tulian time. It took place gradually with a few short-lived inversions. Similarly this transition was reflected by the isotopes composition. Change curves of average values $\delta^{13}\text{C}$ have the form of a sine wave with an amplitude within $+2.4...+3.9\text{‰}$. Average values of $\delta^{18}\text{O}$ vary linearly from $+23$ to $+27\text{‰}$. Almost until the end of the Mikhailovian time the conditions of sublittoral sedimentation dominated. At this time there was a gradual shallowing of the sea. Concurrently, the value of carbon isotopes become heavier from $+0.9$ to $+3.6\text{‰}$ to the mid-Aleksinian, and later $\delta^{13}\text{C} = +3 \pm 0.25\text{‰}$. At the end of Mikhailovian time the Islands area was formed nearby the Ilych River basin. This change of condition of sedimentation is well reflected in the isotope system of the carbonate rocks. The isotopic composition of carbon have a sharp relief from $+3$ to -2.9‰ and $\delta^{18}\text{O}$ has a small relief from $+26.5$ to $+25\text{‰}$.

Keywords: carbonate deposits, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, Visean, Lower Carboniferous, Northern Urals.

Введение

В середине визейского века на северо-восточной окраине Европейской платформы в результате трансгрессии моря терригенное осадконакопление сменилось карбонатным. На территории Верхнепечорского палеобассейна смена была постепенной. Причём, если в центральной и западной его частях накопление терригенных осадков происходило практически до начала алексинского времени, то на востоке осадконакопление стало существенно карбонатным уже в позднерадеевское время [3, 4, 8].

В течение последних лет на территории бассейна р. Илыч визейские отложения были детально изучены. Выявлен общий тренд развития условий осадконакопления и характер фациальных изменений в сред-

нем — позднем визе [9, 10, 11, 13, 14]. Целью данной работы является установление закономерностей распределения соотношений стабильных изотопов кислорода и углерода в визейских карбонатных отложениях на примере крайне восточного и наиболее полного разреза, вскрытого в районе плеса Патракарием, и сопоставление изотопного состава с условиями осадконакопления.

Объекты и методы исследования

Объект исследований — обнажения 89 и 87¹ на р. Илыч (рис. 1). Первое из них располагается по ле-

¹ Номера обнажений даны по В. А. Варсановфеевой [2].

Рис. 1. Схема расположения обнажений (номера обнажений по В. А. Варсанюфьевой [2])

Fig. 1. The scheme of location of outcrops
(after Varsanofieva V. A. [2])

вому берегу реки, в 2 км выше о. Еремей-Шляпа-Ди, напротив устья руч. Патракарием-Вомын-Беж-Ель. Второе — на противоположном берегу, несколько ниже по течению. При этом на закрытый интервал в русле реки приходится порядка 50 м [1, 8, 11].

Литолого-фациальный анализ проводился на основе детального литологического описания разрезов и результатов изучения шлифов (160 шт.), штуфов и пришлифовок пород, данных карбонатного анализа. Определение значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ производилось в 144 пробах карбонатолитов, отобранных совместно с литологическими образцами. Изотопный анализ производился на базе ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН на аналитическом комплексе Flash EA, соединенном с масс-спектрометром Delta V Advantage (аналитик И. В. Смолева). Значения $\delta^{13}\text{C}$ приведены в промилле относительно стандарта PDB, $\delta^{18}\text{O}$ — относительно стандарта SMOW. Ошибка измерений составляет 0.04 и 0.06 ‰ соответственно.

Строение разреза

Изученный разрез сложен различными типами известняков [10, 11, 12, 13], иногда в той или иной степени доломитизированных и окремненных, с единичными прослоями и маломощными пачками тонкозернистых кварцевых песчаников и аргиллитов в нижней части. У всех изученных пород хорошо сохранились первичные структуры и текстуры, структурные компоненты гранулированы слабо. Заметные изменения несут лишь породы, подверженные доломитизации и окремнению.

В разрезе *радаевского горизонта* (C_1v rd) в обн. 89 можно выделить 3 пачки (рис. 2, 3, А).

Первая из них (rd_I, 26.2 м) сложена чередующимися известняками, глинистыми и слабоглинистыми шламовыми, мелкобиокластовыми, несортированными биокластовыми, с конкрециями кремней. Внешне слабоглинистые породы относительно массивны, слоистость в них практически не выражена. Глинистые разности, наоборот, тонкослоистые или волнисто-тонкослоистые, менее прочные и часто разбиваются на тонкие плиточки (рис. 2, D).

В основании второй пачки (rd_II, 3,5 м) залегают кварцевые песчаники, сменяющиеся вверх по разрезу переслаиваемыми черными аргиллитами и извест-

няками с различным содержанием (5–10 %) тонкого терригенного материала. В аргиллитах встречаются мелкие (0.5 см) полуразложившиеся сидеритовые конкреции. На поверхностях наложения наблюдаются следы жизнедеятельности организмов.

В третьей пачке (rd_III, 9,3 м), обнажающейся после 7-метрового перерыва¹, наблюдается примерно такое же строение, как и в первой. В известняках присутствуют разноориентированные колонии кораллов *Syringopora*, створки брахиопод (до 5 см), мелкие (до 1—2 мм) членики криноидей, ихнофосилии. Глинистые известняки сильно рассланцованы. Они включают линзы (от 3 × 10 до 15 × 150 см) более прочных, чем вмещающая порода, биокластовых известняков.

Изотопный состав углерода и кислорода в интервале этого горизонта устанавливается в следующих пределах: $\delta^{13}\text{C} = +2.8...+3.5 \text{ ‰}$, а $\delta^{18}\text{O} = +23...+26,8 \text{ ‰}$ (см. таблицу).

Бобриковские отложения (C_{1v} bb) общей мощностью 34.8 м в основном сложены толстонапластованными биокластовыми известняками с кремнями (рис. 2). Упомянутые породы часто содержат заметное количество пелитового терригенного материала (до 10 %), включения мелких (до 1 мм) зерен пирита. Особенно хорошо это видно в основании горизонта (около 4 м), где массивные биокластовые карбонаты переслаиваются с рассланцованными глинистыми известняками. В остальной части разреза глинистых разностей заметно меньше, а толщина их прослоев составляет первые сантиметры. В известняках $\delta^{13}C = +2.4...+3.5 \text{ ‰}$, $\delta^{18}O = +24.7...+27 \text{ ‰}$ (см. таблицу и рис. 3, А).

Отложения *тульского горизонта* (C_{1v}^{tl}) вскрываются в нижней по реке части обн. 89. Видимая их мощность — 22.3 м (рис. 2) [3]. Породы представлены темно-серыми массивными биокластовыми известняками, в некоторых случаях — глинистыми с линзами малоглинистых. Крупные органические остатки обычно редки, но в отдельных прослоях наблюдаются скопления створок брахиопод, члеников криноидей и фрагменты кораллов. Изотопный состав $\delta^{13}C = +3.2...+3.9 \text{ ‰}$, $\delta^{18}O = +25.8...+28.1 \text{ ‰}$ (см. таблицу и рис. 3, А).

Алексинские отложения (C_{IV} al) обнажаются после 50 м перерыва на противоположном (правом) берегу реки, в обн. 87 (рис. 2). По литологическим характеристикам здесь выделяются 4 пачки.

Нижняя пачка (al_I, 27.5 м) сложена плитчатыми (по 0.1—0.3 м) темно-серыми, почти черными полибиокластовыми известняками, слоистыми и массивными, иногда глинистыми, с линзами и желваками кремней (рис. 2, С). Глинистые известняки редки, встречаются лишь в нижней половине пачки и имеют малую мощность 0.02—0.10 м. Повсеместно наблюдается большое количество остатков одиночных и колониальных кораллов, в основном опрокинутых. $\delta^{13}\text{C} = +0.9...+2.6\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = +26.1...+27.2\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, В).

Вторая пачка (al_II, 32 м) характеризуется чередованием биокластовых и доломитизированных биокластовых известняков. В верхней части разреза пач-

¹ На необнаженном интервале, по данным В. А. Варсанофьевой, залегают породы пачки rd II [3].

Рис. 2. Литолого-стратиграфический разрез с кривыми изотопного состава углерода и кислорода в обн. 89 (радаевский, бобриковский, тульский горизонты), 87 (алексинский, михайловский, веневский горизонты) на р. Илыч. Условные обозначения: 1) известняк; 2) доломитизированный известняк; 3) песчаник кварцевый; 4) включения: а — кремнистые стяжения, б — сидеритовые конкреции, с — обломки пород; 5) органические остатки: а — кораллы, б — криноидеи; 6) поверхности размытия. А, В — структурно-текстурные особенности пород визейского возраста в обн. 89 и 87 на р. Илыч: А — известняковый конгломерат (михайловский горизонт, mh_III); В — косая слоистость в известняке (алексинский горизонт, al_IV); С — морфология кремней в известняках в виде линз и псевдоморфоз по органическим остаткам (алексинский горизонт, al_I); D — переслаивание глинистых и слабоглинистых известняков (радаевский горизонт, пачка rd_I). Масштабная линейка — 10 см

Fig. 2. Lithologic-stratigraphic section with the curves of the isotopic composition of carbon and oxygen in the outcrop 89 (Radaevian, Bobrikian, Tulian) and 87 (Aleksinian, Mikhailovian, Venevian) on the river Ilych. Legend: 1) limestone; 2) dolomitized limestone; 3) quartz sandstone; 4) a,b,c — inclusions: a — cherts, b — siderite nodules, c — rock fragments; 5) a, b — fossils: a — corals, b — crinoids; 6) erosional surface. A—B — Structural-textural features of the Visean limestones in the outcrop 89 and 87 on the Ilych river: A — calcareous conglomerate (Mikhailovian, mh_III); B — cross bedding of a grainstone (Aleksinian, al_IV); C — morphology of cherty concretions in limestone: lenses and pseudomorphs of organic residues (Aleksinian, al_I); D — interbedding of different degree clayey limestones (Radaevian, member rd_I). Scale — 10 cm

**Результаты анализа изотопного состава углерода и кислорода в визейских породах из обн. 89 и 87
(р. Илыч, Северный Урал)**

The carbon and oxygen isotope value of the Visean rocks from the outcrops #87 and #89 (Ilych river, Northern Urals)

Горизонт, индекс Horizont, index	Пачка / Member	Обр. sample Ил89	δ ¹³ C, ‰ PDB	δ ¹⁸ O, ‰ SMOW	Горизонт, индекс Horizon index	Пачка / member	Обр. Sample Ил89	δ ¹³ C, ‰ PDB	δ ¹⁸ O, ‰ SMOW	Горизонт, индекс Horizon index	Пачка / member	Обр. Sample Ил89	δ ¹³ C, ‰ PDB	δ ¹⁸ O, ‰ SMOW			
радаевский (rd) / radaevskian	I	1—1	3,2	24,4	алексинский (al) / alexinian	II	25	2,4	27,4	михайловский (mh) / mikhaylovian	I	76	3,1	27			
		1-2	3,1	23,2			26	2,6	26,8			77	2,95	27,6			
		2	3,1	23			27	2,9	26,6			78-1	3,2	27,4			
		6-1	3,5	25,4			28	3	28,3			78-2	3	26,6			
		7	3,3	25,7			29	2,4	25,9			79-2	3,1	27,7			
		9	3,4	25,7			30	2,5	26,1			81-1	3,2	26,8			
	III	13-1	3,4	26,1			31	3	26,3			81-2	3,5	27,3			
		16	3,2	25,3			32	3,2	26,4		82-2	3,1	26,3				
		18	3,5	26,8			33	3,1	26,7		83	3,4	27,1				
		19	2,9	25			34	3,1	27,1		84	3,3	26				
		20-1	2,8	26,1			34д	3,2	27,3		85	3,5	27,1				
		20-2	3,1	26,6			35	2,8	25,5		87	2,9	26,3				
		21-1	3	24			36	2,7	25,7		88-1	3,4	26,7				
		21-2	3,4	25,5			38	3,6	27,4		90	3,4	26,6				
		23-2	3,1	26			39	3,2	26,2		91-1	3,35	26,5				
		бобриковский (bb) bobrikian	28-3	2,4			24,7	40	3,5		27,1	91-2	3,4	27,3			
			31-2	3,2			26,1	41	3,6		26,6	92-063	3,05	26,6			
			35	3			26,9	42	2,95		25,9	93-1	3,1	26,8			
38-2	3,1		26,1	45			3,5	26,5	93-2		3	26,7					
40-2	2,4		25,8	46			3,1	26,2	98-1		2,6	26,2					
41-3	2,8		25,4	47			2,4	25,5	98-2		1,1	26					
44	3,2		27	48			3,5	26,1	101		4,2	26,4					
46	3,5		26,6	49			3,4	26,1	102-1		2,3	25,8					
49	3,2		25,8	50			3,6	25,4	102-2		1	24,9					
51	3,9		28,1	51			3,6	25,1	102-3		0,5	25,1					
тульский (tl) tulian	54-3	3,7	27,2	III		53	3	25,6	IV		103-2ВКЛ	-0,3	23,7				
	56-1	3,8	27,7			54	3,5	24,6			103-2ВМ	1,3	24,8				
	58	3,5	25,9			55	3,3	25,1			103-5	1,6	24,9				
	60	3,4	26,4			56	3,3	25,3			105-1	1,65	24,7				
	1	0,9	26,8			57	3,3	25,6			105-2	1,4	25				
	2	1,6	27,2			59	3,3	26,9			106-1	1,45	25				
алексинский (al) / alexinian	I	3	1,9			27,2	IV	60			3,25	26,6	венеvский (vn) / venevskian	I	111	-2	24,55
		5и	1,2			27		61б			3,35	26,9			115-2	-0,8	25
		6	2			26,8		62			3,4	26,6			116	-0,8	25,1
		8	1,2			27		63			3,4	27,2			117-1	-2,6	25,6
		9	2,2	26,4		65		3,6	27,2		117-2	-2,9			25,9		
		10	2,6	26,1		66		3,5	27,2		117-3	-1,7			31,2		
		11	1,5	26,1		67		3,2	27,4		121-1	-1,3			25,5		
		14	2,4	26,8		68		3,7	27,4		121-2	-0,9		27,2			
		15	2,3	27,2		69		3,4	27,4		122-1	-0,5		25,5			
		16	1,2	25		70		3,8	27,3		122-2	-0,2		26,3			
		17	2,3	26,6	71	3,9		27,7	122-3	-0,2	26						
		18	2,5	26,8	72	3,9		28,5	123-1	-1,3	24						
		19	2,5	27,2	73	2,8		26	123-2	-2,3	24,7						
		21	2,2	26,8	73кр	0,2		24,4	125	-1,9	24,6						
		22	2,1	26,4	74-1	3,1		28,4	125-1	-1,9	24,2						
		23	2,5	26,8	75-2	2,9		27,5	125-2	-1,7	25,8						
		24	2,4	26,6	75-3	3,2		27,8	125-3	-0,7	26,3						

Примечание. Анализы проводились И. В. Смолевой в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Note. Analyses were conducted in the «Geonauka» (The Center for Collective Use) of the IG Komi SC UB RAS by I. V. Smoleva.

Рис. 3. Диаграммы распределения изотопного состава углерода и кислорода в известняках из обн. 89, 87 на р. Илыч: А — радаевского (C_{1rd}), бобриковского (C_{1bb}), тульского (C_{1tl}); В — алексинского (C_{1al}); С — михайловского (C_{1mh}); D — веневского (C_{1vn}) горизонтов

Fig. 3. Carbon and oxygen isotope ratios of limestones from the outcrops #89 and #87 on the Ilych river: A — Radaevskian (C_{1rd}), Bobrikian (C_{1bb}), Tulian (C_{1tl}), B — Aleksinian (C_{1al}); C — Mikhailovian (C_{1mh}); D — Venevian (C_{1vn}) horizons

ки встречаются прослои (~ 0.5 см) сильно выветрелых глинистых известняков. Породы плитчатые (по 0.3–1 м), серые, с тонкой горизонтальной, реже линзовидной и градиционной слоистостью, обусловленной распределением биокластового материала. Колонии кораллов часто опрокинуты. В темно-серых разностях нередки ихнофоссилии. $\delta^{13}C = +2.1...+3.6\text{‰}$, $\delta^{18}O = +25.5...+28.3\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, В).

Верхняя часть разреза (пачки al_III и al_IV мощностью соответственно 15.2 и 20.9 м) прослеживается после необнаженного интервала мощностью в 12 м. Литологически она практически однородна. Это плитчатые (по 0.1–1.5 м) серые полибиокластовые известняки. Текстура пород обычно массивная, реже горизонтально-, а также косослоистая (рис. 2, В). В составе пород встречается большое количество органических остатков. Крупные колонии *Lithostrotion* находятся в опрокинутом положении. Породы пачки al_III отличаются наличием кремней черного цвета, уплотненной, иногда линзовидной формы размером до 10 см. В пачке al_IV встречен пласт (2.5 м), нацело сложенный грубым криноидно-биокластовым материалом, а в её кровле в известняках отмечены микроразмывы. Для пород пачки al_III $\delta^{13}C = +3.0...+3.6\text{‰}$, а $\delta^{18}O = +24.6...+25.6\text{‰}$, а для пачки al_IV $\delta^{13}C = +3.2...+3.7\text{‰}$, $\delta^{18}O = +26.6...+27.4\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, В).

Отложения *михайловского горизонта* ($C_{1v mh}$) вскрываются после 7.5 м необнаженного участка. Его разрез, по литологическим данным, можно разделить на 4 пачки (рис. 2).

Нижняя пачка (mh_I, 19.3 м) сложена серыми несортированными биокластовыми известняками. Мощность пластов — 0.1–0.5 м, при этом в основании пачки преобладают маломощные, а ближе к кровле — более толстые разности. Характерно наличие тонкой горизонтальной и (редко) волнистой слоистости. В нижней части пачки залегает серия (~ 5 м) сильно доломитизированных мелкобиокластово-шламовых из-

вестняков с кремнями. Выше них породы сложены более грубым биокластовым материалом, а в целом наблюдается ритмичное чередование полибиокластовых и криноидно-полибиокластовых известняков с небольшими (до 2 см) створками брахиопод и единичными обломками кораллов. На последних 7 м пачки криноидно-биокластовые известняки часто налегают с разрывом на подстилающие породы. Значения $\delta^{13}C$ в известняках колеблются в пределах $+2.8...+3.9\text{‰}$, а $\delta^{18}O = +26.0...+28.5\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, С).

После 2 м необнаженного участка начинается разрез второй пачки (mh_II, 18 м). Она образована серыми толстоластовыми (до 2 м) крупно-, грубо-биокластовыми и оолитовыми известняками. В грубо-биокластовых разностях хорошо заметна косая слоистость с падением на северо-восток. Снизу вверх по разрезу наблюдается увеличение количества крупного биокластового материала. $\delta^{13}C = +2.9...+3.5\text{‰}$, а $\delta^{18}O = +26.0...+27.3\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, С).

Третья пачка (mh_III, 18.3 м) обнажается после перерыва в 1 м. В её составе большую роль играют серые биокластовые известняковые песчаники и карбонатные псефитолиты [13]. В составе органогенного материала преобладает криноидный лом, а в некоторых прослоях — створки брахиопод. Известняковые конгломераты (рис. 2, А) формируют два слоя мощностью 0.7 и 0.3 м на десятом и четырнадцатом метре пачки. Количество галек в составе первого пласта увеличивается от 20 % в основании до 80 % в кровле, а во втором пласте они распределены равномерно при количестве около 80 %. Диаметр обломков достигает 0.1 м, форма — круглая и эллипсоидальная. По составу это более или менее темные (относительно цвета матрикса) биокластовые известняки (иногда слоистые), фрагменты колоний кораллов. Внутри некоторых галек наблюдаются более мелкие окатыши. Часть обломков в одной плоскости сечения овальные, в другой — изогнутые. Матрикс базальный, грубо-биокластовый криноидный известняк. В породах этой пач-

ки $\delta^{13}\text{C} = +2.6...+3.4\text{‰}$, а $\delta^{18}\text{O} = +26.2...+27.3\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, С).

Четвертая пачка (mh_IV, 10.4 м) характеризуется наиболее сложным составом. Это микрозернистые породы с неокатанными обломками гравийной размерности, тонкослоистые глинистые, биокластовые и косослоистые оолитовые известняки, известняковая конглобрекция. Преобладают породы с мелким и тонким размером компонентов. Для них характерна тонкая горизонтальная слоистость. Часто пласты с размывом залегают на подстилающих породах. $\delta^{13}\text{C} = -0.3...+4.2\text{‰}$, а $\delta^{18}\text{O} = +23.7...+26.4\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, С).

Нижняя граница *венецкого горизонта* (C_{1v} vn) литологически четко выражена. Это слой (0.2 м) черных глинистых пород, глубоко вымытых в глубь скалы, перекрытых почти черным горизонтально-слоистым шламовым известняком (0.1 м), местами с псевдообломочными структурами. По литологии в разрезе горизонта выделяются 2 пачки (рис. 2).

Нижняя пачка (vn_I, 23 м) сложена известняками, аналогичными описанным в пачке mh_IV. Это биокластовые, пелитоморфные, обломочные и оолитовые разности. Кроме того, здесь играют значительную роль комковато-стустковые известняки. Чередование пород различного литологического состава образует три трансгрессивно-регрессивных циклита с эрозионными границами. Основание циклитов сложено литокластово-грубобиокластовыми известняками, которые постепенно сменяются биокластовыми известняковыми песчаниками и оолитовыми известняками с ярко выраженной разнонаправленной косой слоистостью (мощность серий — 30—40 см, а в кровле пачки — 10 см, падение слоев — на СВ и ЮВ) или линзовидно-наслоенными водорослево-биокластовыми и биокластовыми известняками, волнисто-и горизонтально-слоистыми, с текстурами микроразмывов. Эти породы, в свою очередь, сменяются горизонтально-слоистыми тонкозернистыми известняками. Изотопный состав пород¹ заметно отличается, все значения изотопного состава углерода находятся в отрицательной области, $\delta^{13}\text{C} = -2.9...-0.8\text{‰}$, а $\delta^{18}\text{O} = +24.6...+25.9\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, D).

Верхняя пачка (vn_II, 25 м) представлена чередующимися доломитизированными светло-серыми известняками, биокластово-оолитовыми, водорослевыми и биокластовыми, с окатанными органическими остатками. Мощность пластов изменяется в пределах 0.7—1.5 м. По всему объему пачки наблюдаются серии (по 15 см) с горизонтальной, косой и, реже, разнонаправленной косой слоистостью. В кровле пластов с косой слоистостью часто наблюдаются следы биотурбации. $\delta^{13}\text{C} = -2.3...-0.2\text{‰}$, а $\delta^{18}\text{O} = +24.0...+27.2\text{‰}$ (см. таблицу и рис. 3, D).

Характер распределения значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$

В изученном разрезе визейских карбонатных отложений $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ варьируют в пределах $-2.9...+4.2\text{‰}$, а $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = +23...+28.5\text{‰}$ (рис. 2).

¹ На данном интервале и далее шаг опробования несколько более разреженный.

Как можно заметить, область полученных значений находится за пределами поля осадочных морских карбонатов ($\delta^{13}\text{C} = -2...+2\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} > +30\text{‰}$) [6]. В то же время среднестатистический состав стабильных изотопов визейских карбонатных отложений, полученный из брахиопод и слабоизмененных карбонатов Восточно-Европейской платформы и Урала [15, 16, 18], имеет следующий состав: $\delta^{13}\text{C} = 0...+5\text{‰}$ (PDB) и $\delta^{18}\text{O} = +26...+29.8\text{‰}$ (SMOW²). Таким образом, большая часть полученных нами данных попадает в это поле.

Характер изменения соотношения изотопов углерода и кислорода в карбонатных породах восточной полосы выходов на р. Илыч в некоторой степени согласуется с выявленным трендом изменения условий осадконакопления [9, 10, 11]. Так, начиная со второй половины радаевского времени поступление терригенного материала с платформы в Верхнепечорский палеобассейн ослабло, что, вероятно, соответствует трансгрессии Верхнепечорского моря, продолжавшейся до раннетульского времени. Одновременно с этим в осадке существенно повысилась доля карбонатов. В обн. 89, в радаевском интервале, отмечены лишь единичные пласты кварцевых песчаников. Состав радаевско-тульских пород остается практически неизменным. Это преимущественно почти черные, часто глинистые, несортированные шламово-биокластовые, мелкобиокластовые и шламовые известняки с кремнями. Однако снизу вверх по разрезу постепенно уменьшается количество глинистого материала, а с основания бобриковского горизонта — конкреций кремня. Вместе с указанными изменениями меняется и состав стабильных изотопов (рис. 3, А). Так, кривая изменения средних значений $\delta^{13}\text{C}$ имеет синусовидную форму. Её минимальные значения ($+2.4\text{‰}$) наблюдаются на интервале развития большого количества кремней, а максимальные ($+3.5...+3.9\text{‰}$) — с их незначительным количеством. Средние значения $\delta^{18}\text{O}$ практически прямолинейно увеличиваются от $+24$ до $+27\text{‰}$.

Отложения алексинского времени формировались в условиях уменьшения глубины морского бассейна. Их нижняя часть (пачка al_I) имеет несколько сходный состав с отложениями тульского горизонта (C_{1v} tl), но глинистые известняки в них образуют лишь небольшие по мощности (2—10 см) прослои. Среди биокластовых разностей большую роль играют известняки с более сортированным детритом, причем крупные органогенные остатки могли быть принесены с мелководных участков, возможно во время крупных штормов (большинство колоний кораллов захоронено в опрокинутом положении). Таким образом, отложения данного интервала, по всей видимости, сформированы в более мелководных условиях, чем тульские, но все же ниже базиса действия штормовых волн. Ещё более мелководными являются породы пачки al_II. Это обстоятельство обусловило уменьшение количества кремнезема в её составе, формирование чередующихся в разрезе тонкослоистых, линзовидных и градиационных текстур пород. Изменения условий осадконакопления фиксируются и в очерта-

² Пересчитано по формуле $\delta^{18}\text{OSMOW} = 1.03091 \delta^{18}\text{OPDB} + 30.91\text{‰}$ [17].

ниях изотопных кривых (рис. 2). Среднее значение $\delta^{13}\text{C}$ в пределах пачек al_I и al_II плавно увеличивается от +0.9 до +3.6 ‰. Кривая распределения изотопного состава кислорода имеет ступенчатый характер в пределах значений +25.5...+28.3 ‰, что обусловлено, скорее всего, наличием доломитовых пород в составе этих пачек.

Произошедшее обмеление морского бассейна привело к установлению условий открытого мелководья, господствовавшего с середины алексинского до середины михайловского времени. По данным Н. В. Калашникова [5], отложения зоны отмелей были образованы на отдаленных от берега участках. Здесь отлагались преимущественно биокластовые осадки, сложенные почти целиком скелетными остатками кораллов, криноидей, брахиопод, мшанок, гастропод и др. Детрит часто окатан. К этой зоне приурочено также накопление криноидно-оолитовых песков. Породы содержат признаки течений и волнения — текстуры косой слоистости. В изученном разрезе хорошо заметно, как менялась гидродинамическая активность. Если в пачках al_III и al_IV биокластовые известняки в основном имеют массивную и тонкую горизонтально-слоистую текстуры, а косая слоистость встречается лишь в редких случаях, то выше по разрезу, в пачках mh_I — mh_II, преобладают косослоистые биокластово-оолитовые известняки. Мощность косых серий (до 1.5 м), тип слоистости (косая однонаправленная) и следы микроразмывов в кровле косослоистых пластов свидетельствуют о формировании подвижных подводных валов и баров вдольбереговыми течениями с участием поперечных волновых движений [7]. В интервале пачек al_I — mh_II значения изотопного состава углерода в породах остаются на одном уровне — $\delta^{13}\text{C} = +3.0...+3.4$ ‰, однако изменив изотопный состав кислорода (рис. 2): в пачке al_IV изотопы кислорода постепенно утяжеляются до уровня +28 ‰, а с подошвы михайловского горизонта к кровле пачки mh_II значение $\delta^{18}\text{O}$ снова пилообразно снижается до +26.7 ‰. Причиной таких колебаний, кроме вторичных процессов, вероятно, является изменение генетического типа осадков этого времени: если в составе верхней части алексинского горизонта преобладают биогенные породы, то в михайловском — механогенные и биохемотрогенные.

В позднемихайловское время условия отмелей открытого моря неоднократно сменялись обстановками островного мелководья. По данным Н. В. Калашникова [5], наиболее ярко они проявились несколько севернее, в бассейне р. Подчерье. Там около м. Залаздибож встречены глинистые известняки с крупными пентагональными трещинами усыхания [5]. В обн. 87 на р. Илыч в близости литорали свидетельствуют довольно резко сочетающиеся в разрезе пачек mh_III и mh_IV слои косослоистых биокластовых песчаников и оолитовых известняков, тонкослоистых глинистых пород и мелкообломочных конгломератов, часто со следами размыва.

Изотопный состав углерода и кислорода в породах пачки mh_III, несмотря на указанное литологическое разнообразие, остается на прежнем уровне: $\delta^{13}\text{C} = +2.9...+3.5$ ‰ и $\delta^{18}\text{O} = +26...+27.3$ ‰ соответственно, а точки на диаграмме в координатах $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ образуют довольно компактное поле, практи-

чески совпадающее с таковым для пород пачки mh_II (рис. 3, С). В разрезе пачки mh_IV, в интервале пачки тонкослоистых глинистых известняков и аргиллитов, в слое будинированного микрозернистого известняка фиксируется резкое облегчение $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ (+0.3 и +23.7 ‰ соответственно). Выше, после пласта мелкообломочного конгломерата, эти соотношения устанавливаются на уровне около +1.5 и +25 ‰ соответственно, что существенно ниже, чем в породах пачки mh_III.

Приведенные выше данные могут свидетельствовать о том, что район исследований оставался в сублиторальной зоне практически до конца михайловского времени. Только во время накопления осадков пачки mh_IV можно предполагать довольно близкое расположение островной суши.

В веневское время значительных изменений обстановок осадконакопления не происходило. Продолжает формироваться тот же набор пород, закономерное чередование которых отражает эвстатические колебания уровня моря. Однако уменьшаются мощности циклитов и меняется состав структурных компонентов пород. Чаще на первый план выходят микробияльные образования, а в породах пачки vn_II многочисленными становятся водорослевые остатки.

Соотношения изотопов кислорода в породах этого возраста остаются на уровне кровли михайловского горизонта ($\delta^{18}\text{O} = +24.6...+25.9$ ‰), а значения $\delta^{13}\text{C}$ смещаются в отрицательную область $-2.9...-0.2$ ‰ (рис. 3, D). Вероятно, поведение изотопов кислорода является следствием некоторого опреснения морского бассейна, начавшегося в конце михайловского времени. Облегчение состава изотопов углерода может быть спровоцировано рядом причин, напрямую связанных с усилением фактора мелководности зоны осадконакопления. Возможно, произошло снижение биопродуктивности, обусловленное более бедным и менее разнообразным комплексом органических остатков. Увеличение количества фитогенных остатков свидетельствует о накоплении их в фотической зоне и насыщении верхнего слоя осадков кислородом, что в совокупности с интенсивной биотурбацией приводит к более глубокой переработке органического вещества. Кроме того, активная гидродинамическая обстановка мелководья могла способствовать переотложению органогенного материала в более глубоководные области шельфа.

Выводы

Анализ литологических и изотопных данных показал, что характер изменения содержания изотопов углерода и кислорода в карбонатных породах восточной полосы выходов на р. Илыч в некоторой степени согласуется с выявленным трендом изменения условий осадконакопления.

Переход от терригенного осадконакопления к карбонатному на протяжении радаевско-гульского времени отразился на изотопных кривых в виде периодичных изменений средних значений $\delta^{13}\text{C}$ и прямой линейного утяжеления средних значений $\delta^{18}\text{O}$.

До конца михайловского времени наблюдается некоторое утяжеление изотопного состава углерода от +0.9 до +3.6 ‰, что может быть отражением уве-

личения биопродуктивности. Средние значения $\delta^{18}\text{O}$ большей частью находятся в пределах $+26...+27\text{‰}$ и только на уровне пачки al III снижаются до $+24.6\text{‰}$. Этот пик совпадает со сменой обстановок относительно глубоководного шельфа условиями открытого мелководья.

В породах кровли михайловского горизонта и выше зафиксировано небольшое облегчение изотопного состава кислорода, а также существенное (до -2.9‰) облегчение изотопного состава углерода. Это может быть обусловлено довольно близким расположением островной суши, снижением биопродуктивности и/или существенной переработкой и переотложением органогенного материала в более глубоководные области шельфа.

Исследования проведены в рамках НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН ГР № АААА-А17-117121270034-3 и при финансовой поддержке проекта № 18-5-5-31 УрО РАН.

Литература

1. Абашкина А. В. Визейские отложения бассейна р. Илыч // *Металлургия и технология цветных металлов, геология и горное дело*. М.: Metallurgizdat, 1957. С. 406—415. (Сб. науч. тр. Моск. ин-та цв. мет. и золота им. М. И. Калинина, № 27).

2. Варсановьева В. А. Геологическое строение территории Печорско-Илычского государственного заповедника // *Тр. Печорско-Илычского гос. заповедника*. Вып. 1. М.: Красный пролетарий, 1940. 302 с.

3. Варсановьева В. А., Калашников Н. В., Постоялко М. В. Новые данные о нижневизейских отложениях на Северном Урале (бассейн р. Илыч) // *Сб. научн. тр. Пермского политехн. ин-та*. 1973. № 121. С. 113—120.

4. Елисеев А. И. Формации зон ограничения северо-востока Европейской платформы (поздний девон и карбон). Л.: Наука; Ленинградское отделение, 1978. 203 с.

5. Калашников Н. В. Экосистемы раннего карбона Европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 164 с.

6. Кулешов В. Н. Эволюция изотопных систем углекислотно-водных систем в литогенезе. Сообщение 1. Седиментогенез и диагенез // *Литология и полезные ископаемые*. 2001. № 5. С. 491—508.

7. Кутырев Э. И. Условия образования и интерпретация кривой слоистости. Л.: Недра, 1968. 128 с.

8. Муравьев И. С. Карбон Печорского Приуралья. Казань: Изд-во КГУ, 1968. 226 с.

9. Шадрин А. Н. Визейское осадконакопление на Северном Урале // *Палеозойское осадконакопление на внешней зоне шельфа пассивной окраины северо-востока Европейской платформы* / А. И. Антошкина, В. А. Салдин, А. Н. Сандула и др. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 91—108.

10. Шадрин А. Н. Визейские отложения р. Илыч (нижний карбон, Северный Урал) // *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*: Мат-лы 24-й науч. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2015. С. 166—169.

11. Шадрин А. Н., Сандула А. Н. Строение визейско-серпуховских отложений восточной полосы выходов бассейна р. Илыч // *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*: Мат-лы 16-й науч. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2007. С. 221—224.

12. Шадрин А. Н., Сандула А. Н. Литологическая характеристика депрессионных отложений визейской карбонатной формации бассейна верхней Печоры // *Тезисы докладов Четвертой Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле*. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2008. С. 278—279.

13. Шадрин А. Н., Сандула А. Н. Обломочные карбонатные породы в составе платамовой формации бассейна верхней Печоры // *Рифы и карбонатные псефитолиты: Материалы Всероссийского литологического совещания*. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 188—190.

14. Шадрин А. Н., Сандула А. Н. Изотопная характеристика верхневизейско-нижнесерпуховских отложений восточной полосы выходов на р. Илыч // *Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления*: Мат-лы научной конференции с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. 235—238 с.

15. Bruckschen P., Oesmann S., Veizer J. Isotope stratigraphy of the European Carboniferous: proxy signals for ocean chemistry, climate and tectonics // *Chemical Geology* 161 (1999). 127—163.

16. Grossman E. L., Bruckschen P., Mii H.-S., Chuvashov B. I., Yancey T. E., and 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.

17. Hoefs J. Stable isotope geochemistry. 5th, completely rev., updated, and enl. Springer, New York, 2004. 244 p.

18. Mii H.-S., Grossman E. L., Yancey T. E., Chuvashov B., Egorov A. Isotopic records of brachiopod shells from the Russian Platform — evidence for the onset of mid-Carboniferous glaciation // *Chemical Geology* 175 (2001). 133—147.

References

1. Abashkina A. V. *Vizeyskie otlozheniya basseyna r. Ilych* (Visian deposits of the Ilych river basin). *Metallurgiya i tekhnologiya cvetnykh metallov, geologiya i gornoe delo*. Moscow: Metallurgizdat, 1957, 406—415 pp.

2. Varsanofeva V. A. *Geologicheskoe stroenie territorii Pechorsko-Ylychskogo gosudarstvennogo zapovednika* (Geological structure of the Pechora-Ilychski state reserve area). *Proceedings of Pechorsko-Ylychsky Reserve*. No. 1. Moscow: Krasny proletary, 1940, 302 p.

3. Varsanofeva V. A., Kalashnikov N. V., Postoyalko M. V. *Novye dannye o nizhnevizeyskikh otlozheniyah na Severnom Urале (basseyn r. Ilych)* (New data about the Lower Visian sediments in the Northern Urals (the Ilych river basin). *Proceedings of Perm polytechnical institute*, No.121, Perm: PPI, 1973, 113—120 pp.

4. Eliseev A. I. *Formatsii zon ograniicheniya severo-vostoka Evropeyskoy platformy (pozdniy devon i karbon)* (Formation of the North-East European platform margin (Late Devonian and Carboniferous). Leningrad: Nauka, 1978, 203 p.

5. Kalashnikov N. V. *Ekosistemy rannego karbona Evropeyskogo Severa Rossii* (Ecosystems of the Early Carboniferous of the European North of Russia). Ekaterinburg: UB RAS, 2005. 164 p.

6. Kuleshov V.N. *Evolutsiya izotopnykh sistem uglislotno-vodnykh sistem v litogeneze. Soobschenie 1. Sedimentogenez i diagenez* (Evolution of the isotopic carbon dioxide-water systems in lithogenesis: communication 1. sedimentogenesis and diagenesis). *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 2001, No. 5, 491—508 pp.

7. Kutyrav E. I. *Usloviya obrazovaniya i interpretatsiya kosoy sloistosti* (Conditions of creation and interpretation of cross lamination). Leningrad: Nedra, 1968, 128 p.

8. Muravev I. S. *Karbon Pechorskogo Priuralya* (The Carboniferous of the Pechora Urals). Kazan: Kazan University, 1968, 226 p.
9. Shadrin A. N. *Vizeyskoe osadkonakoplenie na severnom Urale* (The Visean sedimentation in the Northern Urals). In: *Paleozoyskoe osadkonakoplenie na vneshney zone shel'fa passivnoy okrainy severo-vostoka Evropeyskoy platformy* (Paleozoic sedimentation on the outer shelf zone of the passive margin on the North-East European platform). A. I. Antoshkina, V. A. Saldin, A. N. Sandula et al. Syktyvkar: Geoprint, 2011, 91—108 pp.
10. Shadrin A. N. *Vizeyskie otlozheniya r Ilych (nizhniy karbon, Severnyy Ural)* (The Visean deposits of Ilych river (Lower Carboniferous Northern Urals). *Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta*: Proceedings of conference. Syktyvkar: Geoprint, 2015, 166—169 pp.
11. Shadrin A. N., Sandula A. N. *Stroenie vizeysko-serpuhovskih otlozheniy vostochnoy polosy vyhodov basseyna r. Ilych* (The structure of the Visean and Serpukhovian deposits of the Eastern area of the Ilych river basin). *Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta*: Proceedings of conference. Syktyvkar: Geoprint, 2007, 221—224 pp.
12. Shadrin A. N., Sandula A.N. *Litologicheskaya harakteristika depressionnykh otlozheniy vizeyskoy karbonatnoy formatsii basseyna Verhney Pechory* (The lithological characteristics of the depression deposits of the visean carbonate formations in the Upper Pechora river basin). Proceedings. Novosibirsk: OIGGM SO RAN, 2008, 278—279 pp.
13. Shadrin A. N., Sandula A. N. *Oblomochnye karbonatnye porody v sostave platamovoy formatsii basseyna verhney Pechory* (The lithoclastic carbonate rocks in The Platamovaya formation in the upper Pechora river basin). Proceedings of conference Reefs and carbonate psephytolites. Syktyvkar: Geoprint, 2010, 188—190 pp.
14. Shadrin A. N., Sandula A. N. *Izotopnaya harakteristika verhnevizeysko-nizhneserpuhovskih otlozheniy vostochnoy polosy vyhodov na r. Ilych* (Isotopic composition of the Upper Visean-Lower Serpukhovian deposits on the Eastern of the Ilych river basin). Geodynamics, substance, ore genesis of the East European Platform and its folded framing: Abstract of scientific conf. reports. Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2017, 235—238 pp.
15. Bruckschen P., Oesmann S., Veizer J. Isotope stratigraphy of the European Carboniferous: proxy signals for ocean chemistry, climate and tectonics. *Chemical Geology* 161, 1999, pp.127—163.
16. Grossman E. L., Bruckschen P., Mii H.-S., Chuvashov B. I., Yancey T. E., and Veizer J. Carboniferous paleoclimate and global change: Isotopic evidence from the Russian Platform. *Stratigrafiya i paleogeografiya karbona Evrazii*. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2002, 61—71 pp.
17. Hoefs J. Stable isotope geochemistry. 5th, completely rev., updated, and enl. Springer, New York, 2004, 244 p.
18. Mii H.-S., Grossman E. L., Yancey T. E., Chuvashov B., Egorov A. Isotopic records of brachiopod shells from the Russian Platform — evidence for the onset of mid-Carboniferous glaciations. *Chemical Geology*, 175, 2001, pp.133—147.