



ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ОРДОВИКА И НИЖНЕГО СИЛУРА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С. И. Голышев¹, П. Н. Соболев², Н. Л. Падалко¹, П. Ф. Яворов¹, Е. В. Черников¹, М. И. Праздничных¹

¹Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Томск, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

На основе изотопного состава углерода РОВ и углерода и кислорода карбонатной составляющей пород выявлены фациальные особенности режимов осадконакопления в отложениях ордовика и нижнего силура северо-западной части Сибирской платформы. Установлено, что в глубоководных морских, прибрежно-морских фациях формируется РОВ изотопно-легкого состава, что характерно для керогена II типа, а в мелководных и прибрежных содержится РОВ изотопно-тяжелого состава, что свойственно керогену гумусового III типа или оксисорбосапропелитам. В граптолитовых сланцах нижнего силура изотопный состав карбонатной составляющей от $-4,0$ до $-4,6$ ‰ по углероду, от $25,0$ до $25,7$ ‰ по кислороду отражает устойчивый режим осадконакопления в глубоководном морском бассейне с невысокой температурой водной среды.

Ключевые слова: биоценоз, граптолиты, изотопный состав, карбонаты, кислород, осадконакопление, ордовик, отложения, рассеянное органическое вещество, режимы, силур, углерод, фации.

ISOTOPIC-GEOCHEMICAL RESEARCHES OF ORDOVICIAN AND LOWER SILURIAN SEDIMENTS OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM

S. I. Golyshv¹, P. N. Sobolev², N. L. Padalko¹, P. F. Yavorov¹, E. V. Chernikov¹, M. I. Prazdnichnykh¹

¹Tomsk branch of the Siberian research institute of geology, geophysics and mineral resources, Tomsk, Russia; ²Siberian research institute of geology, geophysics and mineral resources, Novosibirsk, Russia

Based on the isotopic composition of dispersed organic carbon (DOM) carbon and carbon and oxygen in the carbonate component of rocks, the facies features of sedimentation in the Ordovician and Lower Silurian deposits of the northwestern part of the Siberian Platform are revealed. It has been established that in the deep-sea marine, coastal-marine facies, DOM of isotope-light composition is formed, which is typical for type II kerogen, and in shallow and coastal facies, DOM of isotope-heavy composition is present, which is characteristic of humic type III kerogen or oxysorbosapropelites. In graptolitic schists of the Lower Silurian, the isotopic composition of the carbonate component with small variations reflects a stable sedimentation regime in the deep sea basin and low temperature environment.

Keywords: biocenosis, graptolites, isotopic composition, carbonates, oxygen, sedimentation, Ordovician, sediments, dispersed organic matter, regimes, Silurian, carbon, facies.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-81-86

На северо-западе Сибирской платформы в качестве потенциальных нефтепроизводящих отложений рассматриваются различные по возрасту части осадочного чехла [3]. С целью уточнения геохимических характеристик и фациальных условий накопления для отдельных горизонтов проведены комплексные литогеохимические исследования с привлечением изотопных анализов. В последнее время вариации изотопного состава углерода, кислорода и стронция успешно используются при межрегиональных корреляциях и фациальных построениях для отложений ордовика, в том числе Сибирской платформы [7, 9]. Отмечено, что в указанных отложениях изотопный состав углерода и кислорода карбонатов в бассейне рек Кулёмбэ и Подкаменная Тунгуска [8] значительно отличается от карбонатов обнажений на р. Мойеро и имеет сходство с таковыми в Америке, Балтоскандии и Китае [7, 9].

Новые данные по изотопному составу углерода и кислорода карбонатов и карбонатной составляющей пород позволяют расширить существующие представления об условиях осадконакопления в отложениях ордовика и силура Сибирской платформы и по возможности выявить общие причины, определяющие фациальные особенности режимов осадконакопления на разных континентах. В дополнение к используемым изотопным критериям ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) карбонатов при исследовании проводятся изотопные определения углерода органического вещества (ОВ). Объект исследований – осадочные породы из естественных обнажений в бассейнах рек Кулёмбэ и Курейка. Образцы были отобраны из отложений венда, среднего кембрия, ордовика и чамбинской (граптолитовой) свиты силура. В статье представлены результаты изотопно-геохимических исследований отложений ордовика и силура.



Изотопный состав (‰) углерода РОВ и углерода и кислорода КСП в отложениях ордовика и силура

Возраст	Ярус, свита	Тип породы	Кол-во образцов	$\delta^{13}\text{C}_{\text{ОВ}}$			$\delta^{13}\text{C}_{\text{КСП}}$			$\delta^{18}\text{O}_{\text{КСП}}$			Режим осадконакопления
				макс.	мин.	ср.	макс.	мин.	ср.	макс.	мин.	ср.	
O_1	Чуньский ярус	Аргиллит, алевролит	6	-26,5	-27,6	-27,0	-0,5	-1,4	-0,9	27,6	25,2	26,3	2
		Доломит	2	-27,1	-27,3	-27,2	-2,9	-3,1	-3,0	24,1	23,7	23,9	1
		Среднее	8	-26,5	-27,6	-27,1	-0,5	-3,1	-1,6	27,6	23,7	24,8	
O_2	Криво-луцкий ярус	Карбонат, известняк	9	-26,3	-28,6	-27,6	-1,0	-3,2	-1,6	22,9	19,0	21,3	1
		Известняк кавернозный	1	—	—	-25,1	—	—	-2,7	—	—	16,0	1
		Мергель	2	-22,0	-22,3	-22,1	-0,9	-1,4	-1,2	23,7	23,2	23,4	1
		Алевролит известковый	5	-27,1	-32,1	-28,9	-0,1	0,7	-0,2	27,1	23,7	26,6	1
		Среднее	17	-22,0	-32,1	-27,4	-0,1	-3,2	-1,2	28,1	19,0	24,1	
O_2	Мангазейский ярус	Известняк, аргиллит известковый	2	-23,1	-23,0	-23,1	-0,3	-0,9	-0,5	26,2	25,9	26,1	2
			5	-23,6	-24,3	-23,9	-1,7	-2,6	-2,2	22,8	19,3	20,4	2
		Среднее	7	-24,3	-23,0	-23,7	-0,9	-2,6	-1,7	26,2	19,3	22,2	
O_3	Долборский ярус	Аргиллит, алевролит	6	-22,3	-26,3	-24,3	-3,0	-6,2	-3,9	22,0	19,0	20,4	1
			2	-24,0	-26,1	-25,1	-3,0	-3,9	-3,4	26,1	24,6	25,3	2
		Среднее	8	-22,3	-26,3	-24,5	-3,0	-6,2	-4,0	26,1	19,9	21,3	
S	Граптолитовая свита	Сланец	2	-26,6	-26,8	-26,7	-4,0	-4,6	-4,3	25,8	25,7	25,7	2
		аргиллитовый битуминозный	5	-27,9	-32,9	-30,2	-0,5	-1,9	-1,0	31,7	30,8	31,3	3
		Среднее	7	-26,6	-32,9	-29,2	-0,5	-4,6	-1,9	31,7	25,7	29,7	

Примечание. Режимы осадконакопления: 1 – мелководный прибрежно-морской, прибрежный; 2 – глубоководный прибрежно-морской, морской; 3 – глубоководный морской.

Для каждой пробы выполнялись изотопные определения углерода рассеянного органического вещества (РОВ) и углерода и кислорода карбонатной составляющей пород (КСП) (см. таблицу).

Геохимическая характеристика отложений ордовика

Северо-западная часть Сибирской платформы в ордовикский период характеризуется периодической сменой режимов осадконакопления, обусловленных морскими трансгрессиями и регрессиями. Считается, что в трансгрессивные этапы осадконакопления увеличивалась площадь нормально-морских и мелководных прибрежно-морских осадков, а в регрессивные – площадь суши и мелководных прибрежных осадков [1, 3, 6]. Предполагается, что на протяжении ордовикского периода территория испытала пять крупных поднятий и опусканий, что привело к соответствующим сменам режимов осадконакопления [1, 6].

Большие изменения фациальных условий осадконакопления должны были найти отражение в изотопном составе РОВ и КСП.

Выявление направленности и степени изменений изотопного состава пород в зависимости от режимов осадконакопления дают возможность установить наиболее крупные временные циклы ре-

грессий и трансгрессий и уточнить специфику биоценотической основы видового состава РОВ.

Из нижнего отдела ордовика отобрано шесть проб известковистых аргиллитов и алевролитов и две пробы доломитов из отложений *чуньского* яруса. Изотопный состав углерода РОВ этих проб изменяется незначительно с $\delta^{13}\text{C}_{\text{р}} = -27,1$ ‰, что близко к его средним значениям в породах венда и среднего кембрия из обнажений на р. Кулюмбэ. Различия наблюдаются в карбонатной составляющей глинистых пород и доломитов: изотопный состав образцов аргиллитов и алевролитов ($\delta^{13}\text{C}_{\text{р}} = -0,9$ ‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{р}} = 26,8$ ‰ с небольшими вариациями) соответствует карбонатам, которые осаждались в морских и прибрежно-морских относительно глубоководных бассейнах. Изотопный состав доломитов более легкий ($\delta^{13}\text{C}_{\text{р}} = -3,0$ ‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{р}} = 23,9$ ‰), что свойственно первично-осадочным доломитам, осажденным в прибрежно-морских мелководных фациях с высоким содержанием кислорода.

Отложения вышележащего *криволицкого* яруса среднего ордовика отличаются большими вариациями изотопного состава: $\delta^{13}\text{C}$ от $-22,0$ до $-32,1$ ‰ (РОВ); $\delta^{13}\text{C}$ от $-0,1$ до $-3,2$ ‰, $\delta^{18}\text{O}$ от $28,1$ до $19,0$ ‰ (КСП). Столь существенные изменения могут быть вызваны прежде всего значительными различиями условий осадконакопления. На основе изо-

топного состава пород криволучского яруса можно выделить две группы образцов.

1. Известковистые алевролиты и аргиллиты с более облегченным изотопным составом РОВ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -28,9 \text{ ‰}$) и более тяжелым – КСП ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,2 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26,6 \text{ ‰}$). Породы этой группы образованы в морском и прибрежно-морском бассейне, где захоронялось ОВ преимущественно альго-планктонного вида, сформировавшее кероген II типа.

2. Преимущественно известняки, в которых изотопный состав РОВ более тяжелый ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -27,6 \text{ ‰}$), КСП – более облегченный относительно первой группы ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,6 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 21,9 \text{ ‰}$). Отложения этой группы формировались в более мелководных прибрежно-морских фациях. В эту группу можно включить два образца мергеля с $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,2 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 23,4 \text{ ‰}$, содержащие РОВ с необычно тяжелым для морских и прибрежно-морских фаций изотопным составом ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -22,1 \text{ ‰}$). Также выделяется проба кавернозного известняка (для КСП $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -2,7 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 16,0 \text{ ‰}$, для РОВ $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -25,1 \text{ ‰}$). Необычно легкий состав кислорода подтверждает его вторичное происхождение, что согласуется с литологическим описанием образца.

Отложения *мангазейского* яруса среднего ордовика содержат РОВ с наиболее тяжелым изотопным составом углерода в сравнении с другими ярусами ($\delta^{13}\text{C}$ = от $-23,1$ до $-24,3 \text{ ‰}$, в среднем $-23,1 \text{ ‰}$). По изотопному составу карбонатной составляющей также выделяются две группы образцов, отвечающие разным фациальным зонам: первая мелководная, представленная известковистыми аргиллитами ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -2,2 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 20,4 \text{ ‰}$), вторая более глубоководная, сложенная глинистыми известняками ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,5 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26,1 \text{ ‰}$), наплававшимися в нормально-морских или прибрежно-морских достаточно глубоководных бассейнах. Изотопный состав углерода РОВ в пробах из этих зон различается незначительно (в среднем на $0,5 \text{ ‰}$), становясь более облегченным в известняках глубоководной зоны.

В отложениях *долборского* яруса верхнего отдела ордовика происходит незначительное облегчение изотопного состава углерода РОВ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ от $-22,3$ до $-26,3 \text{ ‰}$, в среднем $-24,5 \text{ ‰}$).

По изотопному составу кислорода КСП достаточно контрастно выделяются две группы. Первая с $\delta^{13}\text{C}$ от $-3,0$ до $-6,2 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ от $22,0$ до $19,0 \text{ ‰}$, что отражает достаточно мелководные прибрежно-морские и лагунные фации с высокой окислительной обстановкой в теплой водной среде, в которой образуется высокая концентрация изотопно-легкой органогенной CO_2 . Облегченный изотопный состав кислорода также может быть обусловлен присутствием в бассейне определенного количества пресных континентальных вод.

Вторая группа представлена пробами с изотопным составом углерода $\delta^{13}\text{C}$ от $-3,0$ до

$-3,9 \text{ ‰}$ и более тяжелым составом кислорода $\delta^{18}\text{O} = 24,6\text{--}26,1 \text{ ‰}$, что отражает более глубоководные морские и прибрежно-морские фации. По изотопному составу углерода РОВ долборского яруса в мелководных фациях на $0,8 \text{ ‰}$ тяжелее, чем в глубоководных, где $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -24,3 \text{ ‰}$.

В целом в отложениях ордовикского периода изотопный состав КСП изменяется в больших пределах: $\delta^{13}\text{C}$ от $-0,7$ до $-6,2 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ от $28,1$ до $16,0 \text{ ‰}$ (рис. 1). Взаимосвязь изотопного состава углерода и кислорода этих отложений может быть выражена уравнением $\delta^{13}\text{C} = 0,31\delta^{18}\text{O} - 9,0$. Как видно, изотопный состав кислорода и углерода изменяется однонаправленно. В мелководных прибрежно-морских бассейнах с повышенной температурой водной среды осаждаются карбонаты с изотопно-легким составом ($\delta^{18}\text{O}$ от $22,0$ до $19,0 \text{ ‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ от $-1,7$ до $-4,9 \text{ ‰}$); в более глубоких морских и прибрежно-морских водах при более низких температурах – с более тяжелым ($\delta^{18}\text{O}$ от $28,1$ до $25,4 \text{ ‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ от $-0,7$ до $-1,0 \text{ ‰}$).

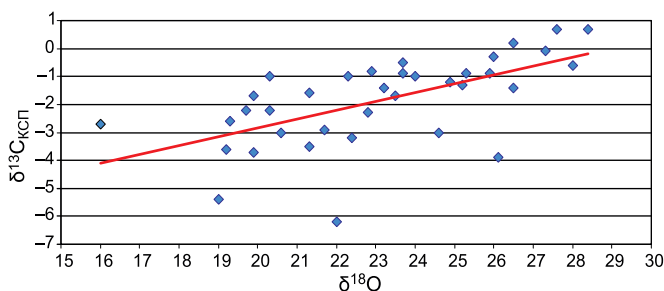


Рис. 1. Изотопный состав углерода и кислорода КСП ордовика

Карбонатная составляющая аргиллитов долборского яруса с наиболее изотопно-легким составом углерода ($\delta^{13}\text{C}$ $-6,2 \text{ ‰}$, $-5,4 \text{ ‰}$, $-3,9 \text{ ‰}$) по изотопным критериям относится к эпигенетическим; на рис. 1 видно, что значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ отклоняются от общей закономерности и располагаются в области значений «вторичных» карбонатов.

Взаимосвязь изотопного состава углерода РОВ и углерода и кислорода КСП представлена на рис. 2, 3 и в первом приближении может быть выражена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\delta^{13}\text{C}_{\text{KCP}} &= -0,28\delta^{13}\text{C}_{\text{РОВ}} - 9,1; \\ \delta^{13}\text{C}_{\text{РОВ}} &= -0,30\delta^{18}\text{O}_{\text{KCP}} - 19,0.\end{aligned}$$

Фактически рис. 2, 3 отображают зависимость изотопного состава углерода РОВ от фациальных условий осадконакопления. В мелководных морских и прибрежных мелководных фациях захороняются организмы, из которых в процессе литогенеза в отложениях формируется РОВ изотопно-тяжелого состава ($\delta^{13}\text{C}$ от -22 до -24 ‰), в отличие от нормально-морских и прибрежно-морских фаций, где отлагаются организмы, дающие РОВ более легкого изотопного состава ($\delta^{13}\text{C}$ от $-27,0$ до $-32,1 \text{ ‰}$). Максимальное содержание РОВ изотопно-тяжелого состава установлено в мелководных фациальных зонах отложений мангазейского и долборского

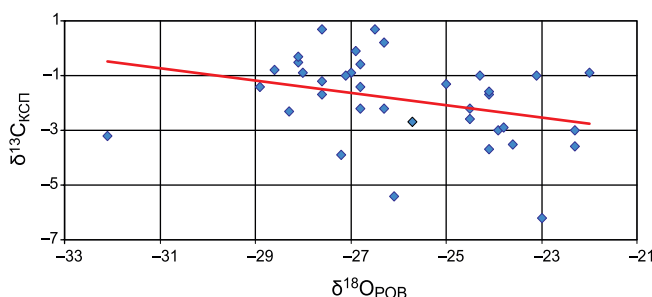


Рис. 2. Взаимосвязь изотопного состава углерода ОРОВ и КСП

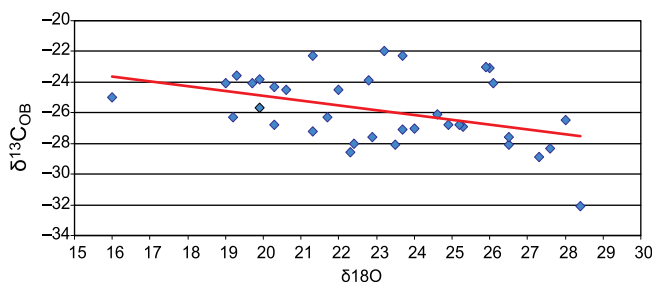


Рис. 3. Взаимосвязь изотопного состава углерода ОРОВ и кислорода КСП

ярусов. Наиболее вероятная причина образования ОРОВ с $\delta^{13}\text{C}$ от -22 до -25 ‰ – его биоценотическая основа, которая определяется видовым составом организмов, обитавших в ордовикский период. Известно, что ордовикские моря были населены многочисленными животными, которые резко отличались от обитателей кембрийских морей. Значительное место в органическом мире ордовика занимали животные (организмы), которые имели хитиновые покровы. Хитин по строению и физико-химическим свойствам подобен целлюлозе, продукты его распада в осадках превращаются в гуминоподобные соединения. Большой вклад в ОРОВ вносили многоклеточные водоросли, широко распространенные в верхнем ордовике; многие из них имели состав слоевища, дающий гумоидный материал. В итоге повышенное содержание ОВ гумоидного состава приводило к увеличению содержания керогена III типа в отложениях ордовика. Не исключено также участие остатков первых высших растений группы риниофитов и псилофитов. Определенное влияние на увеличение содержания ^{13}C в ОРОВ оказывала и повышенная окислительная среда мелководных бассейнов, способствовавшая формированию оксисапропелитов.

В таблице на основе изотопных показателей установлены режимы осадконакопления, обусловленные циклами трансгрессий и регрессий моря на северо-западе Сибирской платформы в ордовикский период.

Для отложений верхнего ордовика долборского яруса интервал вариаций и средние значения изотопного состава карбонатной составляющей ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -4,0$ ‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 22,1$ ‰) близки к полученным ранее для одновозрастных обнажений рек Подкаменная Тунгуска и Кулюмбэ [9]. В целом для верхнего, среднего и нижнего ордовика изо-

топный состав углерода карбонатной составляющей обнажений р. Кулюмбэ ($\delta^{13}\text{C}$ от $0,7$ до $-6,2$ ‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,7$ ‰) близок к изотопному составу карбонатов этого возраста р. Моейро и разреза Шингл Пасс (Северная Америка) [9].

Одностороннее облегчение и утяжеление изотопного состава углерода и кислорода в обнажениях р. Кулюмбэ соответствует вековому (secular) изотопному тренду карбонатов докембрия и фанерозоя [10]. Такая закономерность обусловлена преобладанием термодинамического изотопного фракционирования на стадии осадконакопления карбонатов и определяется температурой среды морского бассейна. Отклонения от этой зависимости вызваны преимущественно вторичным фракционированием в диагенезе при перекристаллизации и образовании вторичных минеральных форм, изотопным обменом карбонатов с водой и CO_2 при повышенных температурах [4, 5].

В публикациях [7, 9] как возможные причины аномальных изотопных отклонений от вековых трендов в пределах отдельных геологических формаций и возрастных подразделений рассматриваются различные катастрофические геологические события. Такие отклонения обычно используются при хеомстратиграфических построениях и возрастных корреляциях [7, 9].

Из полученных в изучаемом регионе результатов следует, что основная причина вариаций изотопного состава отложений ордовика – это смена режимов осадконакопления, что подтверждается взаимосвязью изотопных составов углерода ОРОВ и углерода и кислорода КСП. Установлено, что повышение и снижение содержания ^{13}C и ^{18}O в карбонатах и ^{13}C в ОРОВ и общий изотопный фон в отложениях отдельных возрастных ярусов определяются преимущественно фаціальными условиями по стадиям осадконакопления, обусловленным этапами трансгрессий и регрессий моря.

Геохимическая характеристика отложений нижнего силура (лландоверийский ярус)

На северо-западе Сибирской платформы силурийские отложения распространены примерно на той же территории, что и ордовикские [2]. Спокойная тектоническая обстановка в силуре обусловила выдержанность литологического состава толщ этого периода, а его особенностью является накопление своеобразных осадков, образующих граптолитовые сланцы, которые вскрыты в отложениях лландоверийского яруса (нижний силур). Содержание ОВ в граптолитовой свите высокое (2–8 %) [3], что характеризует граптолитовые сланцы как потенциальные нефтегазопроизводящие отложения. Граптолиты как группа организмов были широко развиты в ордовике и силуре, но уже в девоне их практически нет. Условия их бурного развития и быстрого исчезновения не вполне ясны. Получение новых данных о фациях, при которых происходило их

массовое накопление в осадках, позволит уточнить условия не только их развития и исчезновения, но и образования граптолитовых сланцев.

Из граптолитовой свиты нижнего силура отобрано семь проб, представленных достаточно однотипными битуминозными аргиллитами, которые разделяются на две группы с большими различиями в изотопном составе РОВ и КСП. Первая группа состоит из двух проб с более утяжеленным изотопным составом РОВ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ –26,6 и –26,8 ‰ соответственно) и более облегченным – КСП ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ –4,0 и –4,6 ‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}}$ 25,8 и 25,7 ‰). Фациальные условия, при которых осаждалась карбонатная часть этих проб, близки к условиям осаждения аргиллитов долбorskого яруса ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ = –3,8 ‰ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}}$ = 25,4 ‰): это более глубоководная зона режима осадконакопления среднего ордовика.

Вторая группа (пять проб аргиллитов) содержат РОВ с изотопно-легким составом ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ = –30,5 ‰) и более тяжелым – карбонатной составляющей ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ = –1,0 ‰ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}}$ = 31,3 ‰). Они могут соответствовать отложениям с высоким содержанием граптолитов. На основе изотопного состава кислорода можно утверждать, что граптолиты обитали в достаточно глубоководном бассейне с низкой температурой водной среды. Незначительные вариации изотопного состава РОВ и КСП отражают устойчивые фациальные условия в среде обитания.

На основе изотопных данных можно сделать выводы, что граптолиты как вид могли существовать только в достаточно узком интервале фациальных условий. Благоприятны для их обитания были спокойный тектонический режим, морская глубоководная среда с невысокой температурой водного бассейна.

Выводы

1. Большие вариации изотопного состава в отложениях ордовика северо-западной части Сибирской платформы (РОВ: $\delta^{13}\text{C}$ от –22,0 до –32,1 ‰, КСП: $\delta^{13}\text{C}$ от –0,5 до –6,2 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ от 26,1 до 19,0 ‰) характеризуют степень изменения фациальных условий осадконакопления от прибрежных мелководных до прибрежно-морских, нормально-морских, обусловленных этапами регрессий и трансгрессий моря в этот период.

2. Фациальные особенности режимов осадконакопления и время их проявления, установленные по изотопно-геохимическим показателям, соответствуют основным закономерностям осадкообразования в отложениях ордовика Сибирской платформы, обоснованным ранее В. И. Бгатовым [1, 6].

3. На основе изотопных данных установлено, что наиболее масштабны были трансгрессии в нижнем (чуньский век) и среднем (криволучский век) ордовике, а регрессии – во второй половине среднего (мангазейский век) и в позднем (долбorskский век).

4. Основной причиной формирования изотопно-тяжелого состава углерода РОВ ($\delta^{13}\text{C}$ от –22,0 до

–24,0 ‰) в ордовике изучаемого региона является его биоценотическая основа, обусловленная высоким содержанием гумоидного материала и высокой окислительной обстановкой мелководных фаций в периоды регрессий.

5. В глубоководных морских и прибрежно-морских режимах осадконакопления в отложениях ордовика формировалось изотопно-легкое ОВ ($\delta^{13}\text{C}$ от –27,0 до –32,1 ‰), что характерно для керогена второго типа (преимущественно альго-планктонной основы).

6. В граптолитовых сланцах нижнего силура содержится изотопно-легкое ОВ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ = –30,2 ‰). Изотопный состав карбонатной составляющей граптолитовой фации ($\delta^{13}\text{C}$ от –0,5 до –1,9 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ от 31,8 до 30,8 ‰) указывает на устойчивый режим осадконакопления, который имел место в глубоководном морском бассейне с низкой температурой водной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бгатов В. И.** Литолого-геохимические закономерности осадкообразования в ордовике и силуре Сибирской платформы: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Иркутск, 1969. – 36 с.
2. **Бгатов В. И.** Палеогеография северо-запада Сибирской платформы в силуре // Состав строение и рудоносность осадочных толщ Сибири. Экологические проблемы. – Новосибирск, 2007. – 235 с.
3. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 510 с.
4. **Голышев С. И., Падалко Н. Л., Печенкин Н. А.** Фракционирование стабильных изотопов кислорода и углерода в карбонатных системах // Геохимия. – 1981. – № 10. – С. 1427–1441.
5. **Голышев С. И., Перозин Г. Н., Печенкин Н. А.** Природные вариации изотопов углерода и кислорода рифогенных отложений кембрия Восточной Сибири // Геохимия. – 1981. – № 11. – С. 1719–1726.
6. **Палеогеография** северо-запада Сибирской платформы в ордовике / В. И. Бгатов, Е. П. Марков, В. Г. Матухина, Г. Г. Ремпель // Литология и осадочные полезные ископаемые Сибирской платформы. – Новосибирск: СНИИГиМС, 1969. – С. 17–34.
7. **Покровский В. Г.** Геохимия изотопов С, О, Sr и S и хемотратиграфия отложений ордовика в разрезе р. Мойеро, север Сибирской платформы / В. Г. Покровский, А. В. Зайцев, О. В. Дронов и др. // Литология и полезные ископаемые. – 2018. – № 4. – С. 310–336.
8. **Carbon isotope chemostratigraphy and conodonts of the Middle–Upper Ordovician succession in the Tungus basin Siberian Craton** / L. Ainsaar, P. Mannick, A. Dronov, et al. // *Palaeoworld*. – 2015. – Vol. 24. – P. 123–135.
9. **Edwards C. T., Salizman M. R.** Carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) stratigraphy of the Lower–Middle ordovician (Tremadocian–Darriwilian) in the Great Basin, western

United States Implications for global correlation // *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*. – 2014. – Vol. 399. – P. 1–20.

10. Veiser J., Hoefs J. The nature of O^{18}/O^{16} and C^{13}/C^{12} Secular trends in sedimentary carbonate rocks // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1976. – Vol. 40, no. 11. – P. 1328.

REFERENCES

1. Bgatov V.I. *Litologo-geokhimicheskiye zakonomernosti osadkoobrazovaniya v ordovike i silure Sibirskoy platformy*. Avtopef. dokt. dis. [Lithological and geochemical patterns of sedimentation in the Ordovician and Silurian of the Siberian Platform. Author's abstract of DSc thesis]. Irkutsk, 1969. 36 p. (In Russ.).

2. Bgatov V.I. [Paleogeography of the north-west of the Siberian platform in the Silurian]. *Sostav, stroeniye i rudonosnost osadochnykh tolshch Sibiri. Ekologicheskkiye problemy* [Composition structure and ore content of sedimentary strata of Siberia. Environmental problems]. Novosibirsk, 2007. 235 p. (In Russ.).

3. Kontorovich A.E. et al., eds. *Geologiya nefi i gaza Sibirskoy platformy* [The geology of oil and gas of the Siberian platform]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 510 p. (In Russ.).

4. Golyshev S.I., Padalko N.L., Pechenkin S.A. [Fractionation of stable oxygen and carbon isotopes in carbonate systems]. *Geokhimiya*, 1981, no. 10, pp. 1427–1441. (In Russ.).

5. Golyshev S.I., Perozio G.N., Pechenkin S.A. [Natural variations of carbon and oxygen isotopes of Cambrian reef deposits of East Siberia]. *Geokhimiya*, 1981, no. 11, pp. 1719–1726. (In Russ.).

6. Bgatov V.I., Markov E.P., Matukhina V.G., Rempel G.G. *Paleogeografiya severo-zapada Sibirskoy platformy v ordovike* [Paleogeography of the north-west of the Siberian platform in the Ordovician]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1969, pp. 17–34. (In Russ.).

7. Pokrovsky V.G., Zaitsev A.V., Dronov O.V., et al. [C, O, Sr and Sr isotopes geochemistry and chemostratigraphy of Ordovician sediment in the of the Moyero Riverh section, northern Siberian platform]. *Litology and mineral resources*, 2018, vol. 53. no. 4, pp. 283–306.

8. Ainsaar L., Mannick P., Dronov A., et al. Carbon isotope chemostratigraphy and conodonts of the Middle–Upper Ordovician succession in the Tungus basin Siberian Craton. *Palaeoworld*, 2015, vol. 24, pp. 123–135.

9. Edwards C.T., Salizman M.R. Carbon isotope ($\delta^{13}C_{carb}$) stratigraphy of the Lower–Middle ordovician (Tremadocian–Darriwilian) in the Great Basin, western United States Implications for global correlation. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 2014, vol. 399, pp. 1–20.

10. Veiser J., Hoefs J. The nature of O^{18}/O^{16} and C^{13}/C^{12} Secular trends in sedimentary carbonate rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1976, vol. 40, no. 11, pp. 1328.

© С. И. Голышев, П. С. Соболев, Н. Л. Падалко, П. Ф. Яворов, Е. В. Черников, М. И. Праздничных, 2020