

УДК 553.98:551.732 (571.1)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В КЕМБРИИ ПРЕДЬЕНИСЕЙСКОГО СУББАСЕЙНА

А.Э. Конторович^{1,2}, Е.А. Костырева¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

²Тюменский индустриальный университет, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38, Россия

Рассмотрено распределение органического углерода по свитам и фациям, выделенным на территории выявленного сейсморазведочными работами и параметрическим бурением относительно недавно Предьенисейского кембрийского суббасейна. В открытых перикокеанических и эпиконтинентальных морях установлены две группы обстановок, в которых в осадках накапливались повышенные, а иногда и аномально высокие концентрации планктоно- и бентосогенного органического вещества: 1) локальные центры в отложениях томмотского (оксымская свита), боттомского (чурбинская свита) ярусов нижнего кембрия, майского (елогуйская, пуджелгинская свиты) и аюсюканского (кондесская свита) ярусов среднего кембрия; 2) регионально развитый вдоль окраин Сибирской платформы куонамский горизонт, сложенный породами тойонского и амгинского ярусов, представленный на востоке Сибирской платформы иниканской, куонамской, а в районе исследований пайдугинской свитами. Показано, что в настоящее время органическое вещество высоко преобразовано и находится на грациях апокатагенеза. Приведенная в статье информация дает основание предполагать высокую интенсивность процессов нефтегазообразования в кембрийских свитах Предьенисейского суббасейна в геологическом прошлом.

Кембрий, органический углерод, катагенез, фации, Западная Сибирь

ORGANIC CARBON DISTRIBUTION IN CAMBRIAN DEPOSITS OF THE CIS-YENISEI SUBBASIN

A.E. Kontorovich, E.A. Kostyeva

The study considers the distribution of organic carbon in different formations and facies of Cambrian age identified in the cis-Yenisei subbasin. Two groups of depositional environments were recognized in the deepwater perioceanic and epicontinental basins, which accumulated sediments with elevated and sometimes anomalously high concentrations of planktonic and benthic organic matter. These are 1) local centers in the Tommotian (Oksym Formation) and Botomian stages of the lower Cambrian, Mayan (Elogui and Pudzhelga Formations) and Ayusokkanian (Kondes Formation) stages of the middle Cambrian; 2) regional Kuonamka horizon, which is composed of Toyonian and Amgian deposits and occurs along the margins of the Siberian Platform; it is represented by the Inikan and Kuonamka formations in the east of the Siberian Platform and by the Paidugina Formation in the study area. The study shows that the organic matter has undergone a high degree of transformation and reached the apocatagenesis grade. The results of the study assume that the hydrocarbon generation intensity was high in the Cambrian formations of the cis-Yenisei subbasin in the geological past.

Cambrian, total organic carbon, catagenesis, facies, West Siberia

ВВЕДЕНИЕ

В кембрии Предьенисейский осадочный суббасейн представлял собой западную (в современных координатах) окраину огромного Палеосибирского континента. Большую часть кембрия Палеосибирский континент находился в тропических широтах [Зоненшайн и др., 1990; Метелкин и др., 2012; и др.] и был перекрыт водами Мирового океана [Писарчик и др., 1975; Жарков, 1978; Конторович и др., 1981; Мельников, 2009].

Значительную по площади внутреннюю часть Палеосибирского континента занимал огромный, более 1.1 млн км² эвапоритовый бассейн [Страхов, 1960; Писарчик и др., 1975; Жарков, 1978; Конторович и др., 1981; Мельников, 2009], который был отделен от Мирового океана системой барьерных рифов и грядой островов (современный юг) [Конторович, Савицкий, 1970; Писарчик и др., 1975; Асташкин, Савицкий, 1977; Стратиграфия..., 2016; и др.]. Наличие древнего солеродного бассейна позволяет считать, что климат Палеосибирского континента, по крайней мере в раннем кембрии, был сухим и жарким.

В силу эвстатических колебаний уровня Мирового океана состав вод в эпиконтинентальном морском бассейне не оставался постоянным [Яншин, 1961; Писарчик и др., 1975; Жарков, 1978; Конторович

и др., 1981; и др.]. В периоды низкого стояния уровня вод (регрессия) происходило выпаривание и повышение минерализации вод вплоть до формирования пересыщенных рассолов и в бассейне накапливались эвапоритовые илы (доломит, гипс, ангидрит, галит, в отдельных зонах карналлит и другие эвапоритовые минералы). В периоды высокого стояния уровня вод (трансгрессия) их соленость снижалась до солености вод Мирового океана и в бассейне накапливались преимущественно карбонатные или терригенные илы.

В зависимости от солености и температуры вод, интенсивности химического выветривания на суше, удаленности участков моря или океана от источников сноса терригенного материала, наличия или отсутствия процессов апвеллинга и других факторов менялась биологическая продуктивность и биохимический состав биоты морских и океанических бассейнов [Страхов, 1960; Конторович и др., 1971, 1981; Конторович, 1976].

Распределение органического углерода в осадочных породах бассейнов кембрия Сибирской платформы и его зависимость от палеоландшафтных обстановок и солености морских вод, а также потерь органического вещества в диагенезе и катагенезе в эпиконтинентальной части бассейнов отдельных веков и их этапов в кембрии были детально рассмотрены А.Э. Конторовичем, В.М. Евтушенко, Н.Ф. Ивлевым, А.И. Ларичевым ранее [1981]. В целом и в настоящее время картина принципиально не изменилась за исключением деталей стратиграфического расчленения разреза и существенного уточнения по данным сейсмостратиграфии области развития системы барьерных рифов.

Существование Предьенисейского кембрийского суббассейна было установлено сейсморазведкой и параметрическим бурением позже, в первом десятилетии XXI в., и сводная картина содержания $C_{орг}$ в породах кембрия на его территории на значительной по объему выборке рассматривается впервые.

Результаты изучения органического вещества в кембрийских отложениях по отдельным скважинам на изучаемой территории были опубликованы в 1995—2011 гг. [Каштанов и др., 1995; Конторович и др., 2000, 2011].

На рисунке показаны стратиграфическая схема кембрийских отложений южной части Предьенисейского суббассейна и палеогеографические обстановки их накопления [Стратиграфия..., 2016]. На изученной территории по профилю от внутренних эвапоритовых частей бассейна к открытому морю выделены следующие типы фаций: эпиконтинентальное море с повышенной соленостью вод (эвапоритовый бассейн) — 1; мелкое море, осложненное системой барьерных и одиночных рифов, — 2; эпиконтинентальное море с нормальной соленостью вод — 3; шельф и континентальный склон открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности — 4; шельф и континентальный склон открытого моря с высоким уровнем биологической продуктивности — 5.

Определения $C_{орг}$ были выполнены в коллекции из 323 образцов керн. Распределение по свитам и фациям образцов, отобранных в коллекцию, приведено в табл. 1.

Хорошо известно, что для оценки перспектив нефтегазоносности крайне важно знать содержание органического углерода в нефтепроизводящих породах на начало главной фазы нефтеобразования или

Таблица 1. Средние современные и пересчитанные на начало катагенеза (начало градации ПК) содержания органического углерода в кембрии юга Предьенисейского суббассейна (323 образца)

Фация	Свита	Количество образцов	$C_{орг}$ % на породу	
			современное	на начало катагенеза
Эпиконтинентальное море с повышенной соленостью	Тыйская, бельская, аверинская	68	0.14	0.63
Мелкое море, осложненное системой барьерных и одиночных рифов	Оксымская, тыйская, кольчумская	58	0.08	0.36
	Оксымская (прослой)	2	0.54	2.44
	Елогуйская	37	0.07	0.45
Эпиконтинентальное море с нормальной соленостью вод	Елогуйская (углеродистые прослой)	6	0.61—1.42	2.76—6.42
	Малоомутлинская	20	0.46	2.08
	Эвенкийская	21	0.08	0.36
	Чурбигинская, пуджелгинская, поделгинская, кондесская, шеделгинская, пыжинская	90	0.11	0.50
Шельф и континентальный склон открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности	Поделгинская, кондесская (прослой)	6	0.60—0.72	2.71—3.26
	Чурбигинская (пласт)	2	4.24—8.61	19.18—38.94
Шельф и континентальный склон открытого моря с высоким уровнем биологической продуктивности	Пайдугинская (средние значения)	13	1.27	5.74
	Пайдугинская (разброс значений)	—	0.70—2.16	3.17—9.77

на начало катагенеза и тип органического вещества [Вассоевич, 1958, 1967; Успенский, 1958; Трофимук, 1963; Неручев, Рогозина, 1982; Неручев и др., 1989].

Тип органического вещества чаще всего определяется по содержанию водорода в керогене, пиролитическим методом или по данным петрографического изучения органического вещества. В рамках исследования было выделено и аналитически изучено 10 образцов керогена (табл. 2). Анализ показал,

Система	Предъенисейский осадочный бассейн						
	Кетская СФЗ			Касская СФЗ			
	скв. Восток-1	скв. Восток-3	скв. Восток-4	скв. Лемок-1	скв. Аверинская-150	скв. Тыйская-1	
Кембрийская	Верхний	Батыйбайский		2262 ③	750 ③		
		Аксайский	2766 Пыжинская (вскр. мощн. 444 м) ④				
	Средний	Сакский	3210 Шеделгинская (390 м) ④				
		Аюсокканский	3600 Кондеская (405 м) ④		Эвенкийская (вскр. мощн. 763 м)	Эвенкийская (вскр. мощн. 1350 м)	
		Майский	4005 Поделгинская (245 м) ④		3025	2100	
		Амгинский	4250 Пуджелгинская (575 м) ④	3393 Малоомутлинская (вскр. мощн. 242 м) ③	Елогуйская (315 м)	③ (215 м)	
	Нижний	Тойонский	4825 Пайдугинская (120 м)	3635 Пайдугинская ⑤	3360 Кольчумская (355 м) ②	2450 Кольчумская (330 м) ②	770 (вскр. мощн. 100 м)
		Ботомский	4945 Чурбигинская ④	3660	3715 Аверинская 148 м ②	2780 Аверинская (135 м) ①	880 Аверинская (135 м) ①
		Атдабанский	(вскр. мощн. 65 м)	210 м	3863 Тыйская (707 м) ②	2963 Тыйская (500 м) ①	1020 Бельская (сдвоен.) ① 1930 1805 м
	Томмотский	5010 м Забой		4570 Оксымская (вскр. мощн. 535 м) ②	3665 Усольская (вскр. мощн. 455 м) ①	2825 Усольская (1604 м) ①	697 Бельская ① (вскр. мощн. 600 м)
		3870 м	5105 м Забой	4298 м Забой	4429 м	1286 м Забой	

① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 Усольская 6 Бельская 7 ⑧ 8

Стратиграфическая схема отложений южной части Предъенисейского кембрийского осадочного бассейна и палеогеографические обстановки их накопления [Постановление..., 2016; Стратиграфия..., 2016; Стратиграфический..., 2019; Конторович и др., 20216].

Условные обозначения с 1 по 5 см. в тексте, 6 — нет исследований органического вещества, 7 — есть только определения $C_{орг}$, 8 — размыв отложений.

Таблица 2.

Состав керогена кембрия юга Предъенисейского суббассейна

Скважина	Глубина отбора керна, м	Возраст	Свита	Порода	Содержание $S_{орг}$ в % на породе		Результат анализа керогена, %		Элементный анализ керогена, % на ОВ				
					современное	на начало катагенеза	$W_{ан}$	A^a	С	Н	S	N+O	$(H/C)_{ат}$
Восток-1	4082.7	E_2	Поделгинская	Доломит	0.48	2.17	7.3	3.4	93.5	3.3	0.4	2.9	0.4
»	4876.5	E_1-E_2	Пайдугинская	Известковистый аргиллит	0.84	3.80	4.8	6.8	94.1	3.0	1.7	1.2	0.4
»	4919.4	»	»	»	1.79	8.10	4.3	2.6	94.1	4.2	1.4	0.3	0.5
»	4923.1	»	»	»	1.39	6.29	6.6	3.6	95.0	3.1	0.6	1.3	0.4
Восток-3	3406.5	E_2	Малоомутлинская	Аргиллит	0.66	2.99	4.9	14.4	93.7	3.4	1.6	1.3	0.4
»	3420.3	»	»	»	0.97	4.39	4.3	9.5	94.6	2.7	1.6	1.2	0.3
»	3645.0	E_1-E_2	Пайдугинская	»	1.12	5.07	5.3	6.9	95.3	1.9	2.0	0.8	0.2
»	3645.2	»	»	»	2.16	9.77	6.0	2.8	94.6	2.5	0.9	2.0	0.3
»	3645.6	»	»	»	1.70	8.22	5.1	3.1	95.2	3.0	1.2	0.6	0.4
»	3807.4	E_1	Чурбигинская	Известковистый аргиллит	8.61	41.65	5.1	1.1	95.8	2.5	1.7	0.1	0.3

Примечание. $W_{ан}$ — влажность, A^a — зольность аналитическая.

что в пересчете на беззольное органическое вещество керогены свит кембрия Предъенисейского суббассейна содержат от 93.5 до 95.8 % углерода и от 1.9 до 4.2 % водорода. Такой состав керогена указывает на исключительно высокий уровень катагенеза органического вещества, соответствующий апокатагенезу [Успенский и др., 1958; Конторович, 1976; Богородская и др., 2005; Конторович и др., 2021a].

При таком уровне катагенетической преобразованности классические методы определения генетической природы органического вещества являются неэффективными. Ранее было показано [Конторович и др., 1985a, 1985b] и затем многократно подтверждено на примере многих регионов, что сформированное из остатков липидов архей, бактерий и простейших эукариотов по природе и полимерлипидное по составу исходных компонентов живого вещества органическое вещество обогащено изотопом углерода ^{12}C и имеет значения $\delta^{13}C$ менее -28 ‰. Исследования образцов керогена кембрия Предъенисейского суббассейна показали, что во всех свитах оно содержит изотопно легкий углерод $\delta^{13}C$ органического вещества и варьирует от -29.8 ‰ до -34.8 ‰ (табл. 3), что однозначно указывает на полимерлипидную, аквагенную природу керогена. Известно, что при катагенезе органическое вещество теряет значительную часть своей массы с новообразованием CO_2 , NH_3 , H_2S , H_2O , CH_4 , углеводородов C^{2+} и гетероциклических соединений — смол, асфальтенов и, как следствие, концентрация $S_{орг}$ в породах существенно уменьшается [Успенский, 1954; Конторович, Рогозина, 1967; Вассович и др., 1976; Неручев, Рогозина, 1982; Неручев и др., 1989; Конторович и др., 2021a; и др.]. Методика оценки потерь массы аквагенным органическим веществом и $S_{орг}$ в процессе катагенеза рассмотрена в работе [Конторович и др., 2021a]. Поэтому в табл. 1 и в тексте далее приводятся данные о современных содержаниях органического углерода в породах кембрия района исследований и расчетная оценка содержания $S_{орг}$ на начало катагенеза. Понятно, что только последняя величина может быть использована для анализа закономерностей накопления органического углерода в разных типах фаций района исследований и при сравнении закономерностей накопления органического вещества в ископаемых осадках разного возраста.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

К первой из перечисленных групп фаций (эпиконтинентальное море с повышенной соленостью вод) относятся разрезы усольской, бельской, тыйской и аверинской свит (см. рисунок, табл. 1). Осадочное выполнение солеродного бассейна в периоды ингрессий в пробуренных на территории исследования скважинах лучше всего охарактеризовано керном в бельской свите. Бессолевая часть разрезов сложена в основном карбонатным материалом. Более 64 % образцов трансгрессивных фаций эвапоритового бассейна содержат менее 10 % терригенной компоненты. Только в 25 % образцов содержание терригенной компоненты превышает 25 % (табл. 4). Средняя концентрация органического углерода в

Таблица 3. Изотопный состав углерода дебитуминизированного органического вещества (керогена) кембрия юга Предъенисейского суббассейна

Скважина	Глубина отбора керна, м	Возраст	Свита	Порода	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
Восток-3	3808.6	Є_1	Нижнечурбигинская	Известковистый аргиллит	-33.0
»	3807.4	»	»	»	-34.4
Восток-1	4924.7	$\text{Є}_1\text{—}\text{Є}_2$	Пайдугинская	Мергель	-30.7
»	4923.1	»	»	Известковистый аргиллит	-30.7
»	4922.3	»	»	»	-32.8
»	4920.1	»	»	»	-32.0
»	4919.4	»	»	»	-30.6
»	4876.5	»	»	»	-29.8
»	4871.1	»	»	»	-30.2
Восток-3	3645.6	»	»	Аргиллит	-30.4
»	3645.0	»	»	»	-30.9
»	3564.4	Є_2	Малоомутлинская	Известковистый аргиллит	-34.0
»	3423.7	»	»	»	-34.6
»	3420.3	»	»	Аргиллит	-34.3
»	3414.6	»	»	»	-32.2
»	3406.5	»	»	»	-32.8
»	3401.4	»	»	»	-33.6
»	3393.7	»	»	»	-32.1
Восток-1	2198.0	»	Елогуйская	Доломит	-34.3
»	2195.9	»	»	»	-34.8
»	2191.7	»	»	»	-34.6
»	2191.6	»	»	»	-34.7
»	2190.3	»	»	»	-34.3
»	2190.0	»	»	»	-34.2
»	2115.0	»	»	»	-34.3
»	4082.7	»	Поделгинская	»	-30.3

породах этой фации равна 0.14 % (см. табл. 1, 5). В 81 % образцов концентрация органического углерода менее 0.2 %.

На начало катагенеза средняя концентрация органического углерода в породах трансгрессивной группы фаций эвапоритового бассейна была равна 0.63 %.

К группе фаций мелкого моря с развитой системой барьерных и одиночных рифов относятся отложения оксымской, тыйской, аверинской и кольчумской свит (см. рисунок). В изученной коллекции детально охарактеризованы оксымская и тыйская свиты. Роль терригенной компоненты в породах рифогенной фации в 43 % образцов менее 10 %, в 83 % образцов — менее 25 % (см. табл. 4). Среднее содержание органического углерода в породах рифовой фации очень низкое — 0.08 %, 41 % образцов, отобранных в ней, содержат менее 0.05 % $\text{C}_{\text{орг}}$ (см. табл. 1, 5). На начало катагенеза породы, формирующие рифовые комплексы, содержали 0.36 % $\text{C}_{\text{орг}}$. Есть единственное исключение. В керне оксымской свиты выявлен слой известняка с содержанием $\text{C}_{\text{орг}}$ 0.54 %. На начало катагенеза породы выделенного слоя содержали 2.44 % $\text{C}_{\text{орг}}$.

Более благоприятные обстановки для накопления в осадках рассматриваемого региона органического вещества создавались в отдельные отрезки времени в кембрийских эпиконтинентальных морях с нормальной соленостью вод (осадочные образования малоомутлинской и, отчасти, елогуйской свит).

Практически одновозрастные елогуйская и малоомутлинская свиты резко различаются по литологии пород (см. табл. 4). В елогуйской свите преобладают карбонаты. Малоомутлинская свита сложена преимущественно терригенными породами. Соответственно среднее содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ в елогуйской свите равно 0.07 %, в малоомутлинской — 0.46 % (см. табл. 1, 5). На начало катагенеза породы этих фаций содержали 0.45 и 2.08 % $\text{C}_{\text{орг}}$. В малоомутлинской свите в отдельных маломощных пластах концентрация $\text{C}_{\text{орг}}$ достигает 0.97 %, в елогуйской — 1.42 %. На начало катагенеза породы этих пластов содержали 4.39 и 6.42 % $\text{C}_{\text{орг}}$.

Таблица 4. Частота встречаемости содержаний нерастворимого остатка

Фация	Свита	Количество образцов	Среднее значение	Интервалы значений нерастворимого остатка (НО), % на породе				
				0—10	10—25	25—50	50—75	>75
Эпиконтинентальное море с повышенной соленостью	Тыйская, бельская, аверинская	56	10	64	11	21	4	—
Мелкое море, осложненное системой барьерных и одиночных рифов	Оксымская, тыйская, кольчумская	58	16	43	40	12	5	—
	Оксымская (прослой)	2	9	100	—	—	—	—
Эпиконтинентальное море с нормальной соленостью вод	Елогуйская	37	11	62	27	11	—	—
	(углеродистые прослой)	6	4	100	—	—	—	—
	Малоомутлинская	20	73	—	—	—	65	35
	Эвенкийская	21	54	10	5	5	80	—
Шельф и континентальный склон открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности	Чурбигинская, пуджелгинская, поделгинская, кондесская, шеделгинская, пыжинская	90	43	8	23	20	49	—
	Поделгинская, кондесская (прослой)	6	30	—	60	40	—	—
	Чурбигинская (пласт)	2	65	—	—	—	100	—
Шельф и континентальный склон открытого моря с высоким уровнем биологической продуктивности	Пайдугинская	13	67	—	—	8	77	15

Принципиально иной минеральный состав пород и распределение $C_{орг}$ характерны для эвенкийской свиты, накапливавшейся в окислительной обстановке (см. табл. 5). По составу она преимущественно терригенная, современное содержание органического углерода в ней крайне низкое, в среднем 0.08 %. На начало катагенеза породы эвенкийской свиты содержали в среднем 0.36 % $C_{орг}$.

К группе фаций шельфа и континентального склона открытого моря с «нормальным» или даже низким уровнем биологической продуктивности в работе отнесены отложения чурбигинской, пуджелгинской, поделгинской, кондесской, шеделгинской и пыжинской свит (см. рис. 1).

Для всех этих свит характерен смешанный карбонатно-терригенный и терригенно-карбонатный состав пород. Ни в одной из свит нет образцов, в которых терригенный материал составляет более 75 % (см. табл. 4). Больше всего терригенного материала содержат породы пыжинской (68 %) и пуджелгинской (58 %) свит, меньше всего терригенного материала в породах поделгинской (35 %) и кондесской (38 %) свит. Содержание органического углерода в породах всех свит невысокое, среднее по всем толщам 0.11 % (см. табл. 1, 5), в единичных образцах 0.60—0.72 %. На начало катагенеза породы этих фаций содержали в среднем 0.50 $C_{орг}$, в единичных образцах 2.71—3.26 % $C_{орг}$.

Особо отметим уникальный слой (интервал 3807—3809 м) в чурбигинской свите в скв. Восток-3, из которого поднят керн с аномальными для всего кембрия юга Предъенисейского суббассейна содержаниями $C_{орг}$ 4.24—8.61 %. На начало катагенеза эти породы содержали 19.18—38.94 % $C_{орг}$.

Описанный слой является литологическим свидетельством эпизода локального накопления аномально высоких концентраций органического вещества на шельфе открытого кембрийского моря. Видимо, в одной из понижений рельефа ботомского века на глубоководном шельфе открытого моря в депрессионной зоне, осложнявшей склон шельфа, возникли благоприятные условия для высокой биологической продуктивности. Осадки такой локальной впадины представляли собой карбонатно-глинисто-биоогенно-углеродистые и карбонатно-биоогенно-углеродисто-глинистые илы, уникально обогащенные липидными остатками планктона и бентоса, претерпевшими активную бактериологическую переработку. В результате в этой депрессии сформировалась резко восстановительная обстановка и, весьма вероятно, имело место сероводородное заражение наддонных и иловых вод. Керген чурбигинской свиты содержит 1.7 % серы (см. табл. 2).

Не исключено, что таких геологических свидетельств высокой локальной биологической палеопродуктивности может быть значительно больше, но они не выявлены из-за ограниченного количества пробуренных скважин, редкого отбора и низкого выхода керна.

К группе фаций глубоководного шельфа и континентального склона открытого моря с регионально высоким уровнем биологической продуктивности относятся отложения пайдугинской свиты (тойон-

Таблица 5.

Частота встречаемости содержаний органического углерода

Фация	Свита	Количество образцов	Среднее значение	Интервалы значений содержания $C_{орг}$ в % на породу							
				≤ 0.05	0.05—0.1	0.1—0.2	0.2—0.4	0.4—0.5	0.5—1.0	>1	
Эпиконтинентальное море с повышенной соленостью	Тыйская, бельская, аверинская	68	0.14	16	24	41	18	1	—	—	
		Мелкое море, осложненное системой барьерных и одиночных рифов	58	0.08	41	31	24	3	—	—	—
Эпиконтинентальное море с нормальной соленостью вод	Оксымская, тыйская, кольчумская	2	0.54	—	—	—	—	—	100	—	
		Оксымская (прослой)	37	0.10	16	57	19	5	3	—	—
		Малоомутлинская	6	0.97	—	—	—	—	—	50	50
		Эвенкийская	20	0.46	—	—	5	30	35	30	—
Шельф и континентальный склон открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности	Чурбигинская, пуджелгинская, поделгинская, кондесская, шеделгинская, пыжинская	21	0.08	14	81	5	—	—	—	—	
		Поделгинская, кондесская (прослой)	90	0.11	28	37	21	13	1	—	—
		Чурбигинская (пласт)	6	0.64	—	—	—	—	—	100	—
Шельф и континентальный склон открытого моря с высоким уровнем биологической продуктивности	Интервалы значений	—	—	0.4—0.5	0.5—1.0	1.0—1.25	1.25—1.5	1.5—1.75	1.75—2.0	2.0—2.25	
		Пайдугинская	13	1.27	8	23	15	23	15	8	8

ский и амгинский ярусы, см. рис. 1). Эта фация окаймляет на глубоком шельфе и континентальном склоне рифогенный комплекс кембрия Сибирской платформы. Отложения пайдугинской свиты образованы обогащенными аквагенным органическим веществом кремнисто-кероген-известковистыми и кероген-известковистыми аргиллитами. Ранее для этих пород В.М. Евтушенко и А.Э. Конторович [Савицкий и др., 1972] использовали термин «сапропелитовые аргиллиты», констатируя словом «сапропелитовые», что аквагенный кероген (в формулировке 1970-х годов — сапропелитовое органическое вещество) служит в этих породах породообразующим компонентом.

Отложения пайдугинской свиты являются фаціальными аналогами иниканской и куонамской свит востока Сибирской платформы. Среднее значение нерастворимого остатка (кремнисто-глинистого вещества) в породах пайдугинской свиты 67 %, среднее значение $C_{орг}$ 1.27 %. Разброс значений современных концентраций $C_{орг}$ в породах пайдугинской свиты составляет 0.70—2.16 % (см. табл. 5). На начало катагенеза среднее содержание $C_{орг}$ в породах пайдугинской свиты было равно 5.74 %, разброс значений 3.17—9.77 %. Эти концентрации близки к современным содержаниям $C_{орг}$ в иниканской и куонамской свитах на Алданской и Анабарской антеклизах, где уровень катагенеза органического вещества, как правило, не превышает градаций $МК_1^1$ — $МК_1^2$ [Савицкий и др., 1972; и др.].

В осадках пайдугинской фации за счет разложения органического вещества имела место восстановительная обстановка, активизировалась бактериальная деятельность и возникло сероводородное заражение. Последнее могло иметь место и в наддонных водах. На восстановительную обстановку диагенеза указывает полное отсутствие в породах трехвалентного железа. Косвенным подтверждением существования на глубоководном шельфе и континентальном склоне тойонского и амгинского веков сероводородного заражения являются высокие концентрации (до 2 %) серы в керогенах этой свиты (см. табл. 2).

Принципиально, схемы распределения органического углерода в осадочных бассейнах кембрия Сибирской платформы [Конторович и др., 1981] и в Предъенисейском суббассейне подобны, но в последнем случае они обоснованы на значительно большем аналитическом материале, что повышает достоверность установленных закономерностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В кембрии Предъенисейского осадочного бассейна в открытых периокеанических и эпиконтинентальных морях обстановки, в которых в осадках накапливались повышенные концентрации органического вещества, возникали неоднократно с томмотского века раннего кембрия до аюсокканского века среднего кембрия включительно.

Эти обстановки можно разделить на две группы.

К первой группе обстановок относятся локальные центры накопления повышенных, а иногда и аномально высоких концентраций планктоно- и бентосогенного органического вещества в осадках. Такие уровни локально обогащенных органическим веществом пород установлены в пробуренных скважинах в отложениях томмотского (оксымская свита), ботомского (чурбигинская свита) ярусов нижнего кембрия, майского (елогуйская, пуджелгинская свиты) и аюсокканского (кондесская свита) ярусов среднего кембрия (см. табл. 1, рис. 1). Поскольку, как уже было отмечено выше, количество скважин, вскрывших отложения кембрия в районе исследований, невелико, нельзя исключать, что количество таких локальных центров распространения пород, обогащенных органическим веществом, было значительно больше.

Ко второй группе обстановок относятся *регионально развитый* вдоль окраин Сибирской платформы *куонамский горизонт*, сложенный породами тойонского и амгинского ярусов, породы которого аномально обогащены аквагенным органическим веществом. Этот горизонт на востоке Сибирской платформы представлен иниканской, куонамской, а в районе исследований пайдугинской свитами.

Остается неясным регионально или локально обогащена органическим углеродом малоомутлинская свита. Во всяком случае, в скв. Восток-3, где изучен керн этой свиты, более 65 % образцов на начало катагенеза содержали более 2 % $C_{орг}$. На вероятное сероводородное заражение осадков и наддонных вод в малоомутлинском море указывает высокое содержание серы (1.6 %) в керогенах (см. табл. 2).

Таким образом, в кембрии Предъенисейского суббассейна установлен не один, как на востоке Сибирской платформы [Конторович и др., 1981], а несколько стратиграфических уровней распространения, обогащенных органическим веществом пород. В настоящее время они высоко преобразованы и находятся на грациях апокатагенеза. Приведенная в статье информация дает основание предполагать высокую интенсивность процессов нефтегазообразования в кембрийских свитах Предъенисейского суббассейна в геологическом прошлом.

Работа выполнена по государственной программе фундаментальных научных исследований FWZZ-2022-0011.

ЛИТЕРАТУРА

Асташкин В.А., Савицкий В.Е. Рифовые системы кембрия и перспективы нефтегазоносности Западной Якутии // Основные проблемы геологии и геофизики Сибири / Под ред. В.И. Бгатов, В.Е. Савицкого, В.С. Суркова. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1977, с. 58—70. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 250).

Богородская Л.И., Конторович А.Э., Ларичев А.И. Кероген. Методы изучения, геохимическая интерпретация. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, 254 с.

Вассоевич Н.Б. Образование нефти в терригенных отложениях (на примере чокракско-караганских слоев Терского передового прогиба) // Вопросы образования нефти. Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 9—22. (Тр. ВНИГРИ, вып. 128).

Вассоевич Н.Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) // Известия АН СССР, Серия геологическая, 1967, № 11, с. 135—156.

Вассоевич Н.Б., Неручев С.Г., Лопатин Н.В. О шкале катагенеза в связи с нефтеобразованием // Горючие ископаемые: проблемы геологии и геохимии нефтяных и битуминозных пород. Доклады советских геологов на Международном геологическом конгрессе. XXV сессия. М., Наука, 1976, с. 47—62.

Жарков М.А. История палеозойского соленакопления. Новосибирск, Наука, 1978, 272 с. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 354).

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2 кн. М., Недра, 1990, 328 с.

Каштанов В.А., Варламов А.И., Данилова В.П., Дашкевич Н.Н., Ефимов А.С., Ильина В.И., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Пак К.Л., Филиппов Ю.Ф., Чунихина Л.Д. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений левобережья Енисея (Тыйская параметрическая скважина). Новосибирск, 1995, 53 с. (Препринт №1, ОИГГиМ СО РАН).

- Конторович А.Э.** Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М., Недра, 1976, 250 с. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 229).
- Конторович А.Э., Рогозина Е.А.** Масштабы образования углеводородных газов в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности // Геология и нефтегазоносность юго-востока Западно-Сибирской плиты / Под ред. Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторовича. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1967, с. 13—25. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 65).
- Конторович А.Э., Савицкий В.Е.** К палеогеографии Сибирской платформы в раннюю и среднюю кембрийские эпохи // Вопросы литологии и палеогеографии Сибири / Ред. Г.И. Гурова. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1970, с. 95—108. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 106).
- Конторович А.Э., Полякова И.Д., Фомичев А.С.** Закономерности накопления органического вещества в древних осадочных толщах (на примере мезозойских отложений Сибири) // Литология и полезные ископаемые, 1971, № 6, с. 16—27.
- Конторович А.Э., Евтушенко В.М., Ивлев Н.Ф., Ларичев А.И.** Закономерности накопления органического вещества на территории Сибирской платформы в докембрии и кембрии // Литология и геохимия нефтегазоносных толщ Сибирской платформы / Под ред. А.А. Трофимука, А.Э. Конторовича. М., Наука, 1981, с. 19—42.
- Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И.** Распределение стабильных изотопов углерода в седикахитах различной генетической природы // Геология и геофизика, 1985а (7), с. 3—11.
- Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И.** Закономерности фракционирования изотопов углерода в седикахитах // Геология и геофизика, 1985б (9), с. 34—42.
- Конторович А.Э., Ефимов А.С., Кринин В.А., Хоменко А.В., Гилянская Л.Г., Данилова В.П., Меленевский В.Н., Костырева Е.А., Махнева Е.Н., Юдина Н.Т.** Геолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности кембрия и верхнего протерозоя юго-востока Западной Сибири // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (12), с. 1615—1636.
- Конторович А.Э., Костырева Е.А., Сараев С.В., Меленевский В.Н., Фомин А.Н.** Геохимия органического вещества кембрия Предъенисейской субпровинции (по результатам бурения скважин Восток-1 и Восток-3) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (6), с. 737—750.
- Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р.** Теория нафтидогенеза: количественная модель эволюции аквагенного органического вещества в катагенезе // Геология и геофизика, 2021а, т. 62 (8), с. 1026—1047, doi: 10.15372/GiG2021119.
- Конторович А.Э., Варламов А.И., Ефимов А.С., Конторович В.А., Коровников И.В., Кринин В.А., Сараев С.В., Сенников Н.В., Филиппов Ю.Ф.** Стратиграфическая схема кембрийских отложений юга предъенисейской части Западной Сибири // Геология и геофизика, 2021б, т. 62 (3), с. 443—465, doi: 10.15372/GiG2020206.
- Мельников Н.В.** Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2009, 148с.
- Метелкин Д.В., Верниковский В.А., Казанский А.Ю.** Тектоническая эволюция Сибирского палеоконтинента от неопротерозоя до позднего мезозоя: палеомагнитная запись и реконструкции // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (7), с. 883—899.
- Неручев С.Г., Рогозина Е.А.** Количественная оценка нефтегазоматеринского потенциала рассеянного органического вещества (современное состояние, нерешенные вопросы) // Методы оценки нефте- и газоматеринского потенциала седиментогенеза / Под ред. Н.Б. Вассоевича, Л.А. Польстер, О.К. Баженовой. М., Наука, 1982, с. 26—34.
- Неручев С.Г., Рогозина Е.А., Зеличенко И.А., Прасолов Э.М., Парпарова Г.М.** Количественная модель генерации нефти и газа в зоне больших и сверхбольших глубин осадочных бассейнов // Генерация и миграция нефти. М., ВНИГНИ, 1989, с. 98—109.
- Писарчик Я.К., Минаева Н.А., Русецкая Г.А.** Палеогеография Сибирской платформы в кембрии. Л., Недра, 1975, 195 с.
- Постановления** Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий / Ред. А.И. Жамойда. СПб, ВСЕГЕИ, 2016, 68 с.
- Савицкий В.Е., Евтушенко В.М., Егорова Л.И., Конторович А.Э., Шабанов Ю.Я.** Кембрий Сибирской платформы (Юдомо-Оленекский тип разреза, куонамский комплекс отложений). М., Недра, 1972, 198 с. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 130).
- Стратиграфический кодекс России** / Ред. А.И. Жамойда. СПб, ВСЕГЕИ, 2019, 96 с.
- Страхов Н.М.** Основы теории литогенеза. М., АН СССР, 1960, 212 с.
- Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, Ю.Я. Шабанова. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2016, 497 с.

Трофимук А.А. Проблема диагностики нефтематеринских свит // Геология и геофизика, 1963 (4), с. 116—121.

Успенский В.А. Опыт материального баланса процессов, происходящих при метаморфизме угольных пластов // Известия АН СССР, Серия геологическая, 1954, № 6, с. 94—101.

Успенский В.А., Инденбом Ф.Б., Чернышова А.С., Сенникова В.Н. К разработке генетической классификации рассеянного органического вещества // Вопросы образования нефти / Ред. Н.Б. Вассоевич. Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 221—314. (Тр. ВНИГРИ, вып. 128).

Яншин А.Л. О глубине солеродных бассейнов и некоторых вопросах формирования мощных соляных толщ // Геология и геофизика, 1961 (1), с. 3—15.