



УДК 550.4:552.578.061.32(571.5-18)

ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОРОД СЭКТЭНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ (ЧЕКУРОВСКАЯ АНТИКЛИНАЛЬ, СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Т.М.Парфенова, В.Н.Меленевский, И.В.Коровников (ФГБУ "Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука" СО РАН)

Исследовано ОВ сэктэнской свиты, распространенной на северо-восточной окраине Сибирской платформы. Впервые установлено, что в этой свите наблюдается четыре уровня обогащенных ОВ пород. Пиролитическое изучение показало, что генерационный потенциал пород сэктэнской свиты (фациального аналога куонамской свиты) на склонах Чекуровской антиклинали практически исчерпан. Битуминологические и молекулярные параметры свидетельствуют, что уровень катагенеза ОВ пород соответствует стадии $МК_2$, возможно, границе $МК_2$ - $МК_3$. Выявлено, что в обедненных ОВ карбонатных и кремневых породах сэктэнской свиты присутствуют мигрировавшие битумоиды. Предполагается, что в ловушках кембрийских и пермских осадочных отложений на северном склоне Оленекского поднятия и прилегающих территориях могут быть найдены залежи нефти или битумов, генетически связанные с породами куонамского комплекса.

Ключевые слова: органическая геохимия; битумоиды; биомаркеры; нефтепроизводящие породы; кембрий; Сибирская платформа.

Поиск и разведка ресурсов нефти и газа в слабоизученных арктических районах Сибири является актуальной проблемой. Обоснование возможности выявления крупных месторождений УВ-сырья в Заполярье и на других территориях Западной и Восточной Сибири в 30-е гг. прошлого столетия было одним из направлений исследований И.М.Губкина. Известен вклад этого ученого в организацию работ по оценке нефтегазоносности Сибирской платформы [1].

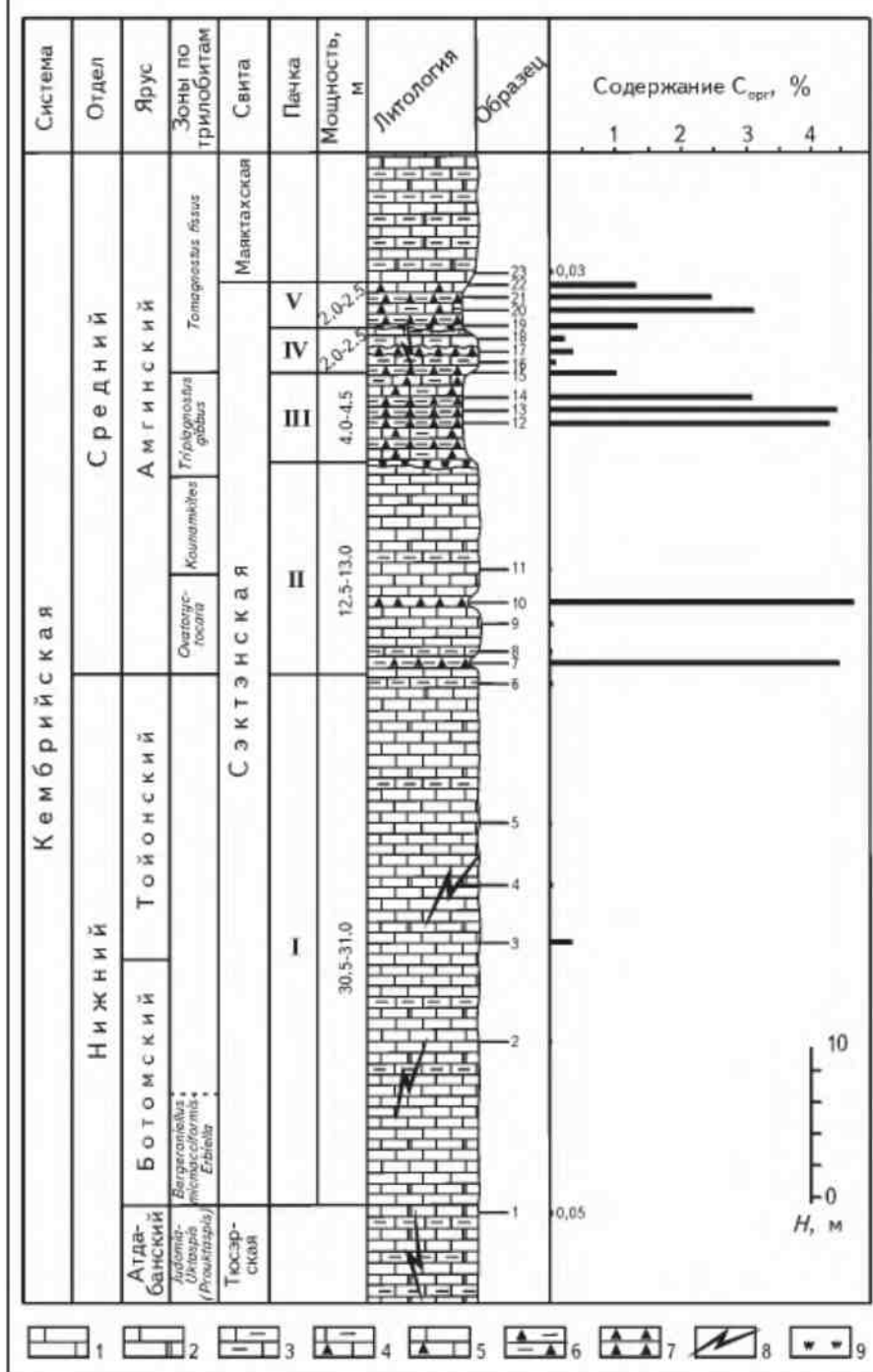
Систематическое геологическое изучение в 30-50-е гг. прошлого столетия показало, что на территории Сибирской платформы широко распространены морские кембрийские отложения мощностью в сотни метров. Они представлены терригенными, карбонатными и галогенными толщами и образуют перспективные резервуары для аккумуляции нефти и газа. Кроме того, в кембрии в восстановительных условиях накапливались обогащенные ОВ глинистые, карбонатные и кремневые осадки, которые сформировали черносланцевые отложения ([2-3] и др.). В 60-70-е гг. XX в. было установлено, что углеродистые породы нижнего и среднего кембрия наблюдаются на юго-востоке Сибирской платформы, где они образуют иниканскую, синскую и кычикскую свиты, на востоке — куонамскую, на северо-западе — шумнинскую [4-8]. Результаты литологических, палеонтологических, геохимических исследований пород и палео-

географических реконструкций позволили объединить обогащенные ОВ породы свит нижнего и среднего кембрия в куонамский комплекс и рассматривать их как нефтегазопроизводящие отложения, имеющие региональное распространение ([6-7, 9-10] и др.).

На северо-восточном обрамлении Сибирской платформы, в районе хребта Туора-Сис в системе Хараулахских гор, Н.В.Покровской, М.Н.Корововым, С.И.Грошиным и В.А.Виноградовым в начале 60-х гг. прошлого века выделена сэктэнская свита. Ее типовой разрез находится в нижнем течении р. Лена, вблизи истоков р. Сэктэн [11]. С.Ф.Бахтуровым с соавторами были представлены первые литолого-геохимические исследования углеродистых пород этой толщи. Определены ее породообразующие компоненты, рассмотрена геохимия элементов-примесей. Выполненные анализы подтвердили наблюдения Н.П.Лазаренко и Л.Н.Репиной (1983), что верхняя часть сэктэнских отложений является фациальным аналогом куонамской свиты [8]. В последние годы получены новые палеонтологические и стратиграфические материалы по изучению пород кембрия, в том числе и сэктэнской свиты из разреза западного крыла Чекуровской антиклинали [12].

Цель настоящего исследования — установить содержание и природу ОВ в породах сэктэнской свиты, выявить уровни потенциально нефтепроизводящих пород,

Рис. 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $C_{орг}$ В ПОРОДАХ ТЮСЭРСКОЙ, СЭКТЭНСКОЙ, МАЯКТАХСКОЙ СВИТ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ (р. Лена)



Известняки: 1 – чистый, 2 – доломитовый, 3 – глинистый, 4 – глинисто-кремневый, 5 – кремневый; 6 – глинисто-кремневая порода; 7 – кремневая порода; 8 – кальциевая жила; 9 – осыпь углеродистых пород

оценить их генерационный потенциал, стадию катагенеза автохтонного ОВ, особенности его состава в разрезе кембрийских отложений на левом берегу р. Лена, вблизи пос. Чекуровка.

Материалы и методы исследования

Породы дробили до 0,25 мм и обрабатывали 10 %-й соляной кислотой для получения нерастворимого остатка (НО). На экспресс-анализаторе АН-7529 методом сжигания в кислороде проб НО определяли содержание $C_{орг}$ в породах. В аналитическом центре ИГМ СО РАН рассчитано общее содержание серы ($S_{общ}$) в породах. На пиролитической установке SR Analyzer – POPI (Pyrolytic Oil Productivity Index) изучали ОВ пород (23 пробы) и НО (9 проб). Определяли «битумоидную» (S_1 , %) и «керогеновую» (S_2 , %) составляющие ОВ, индекс продуктивности ($PI = S_1/(S_1+S_2)$), водородный индекс (HI, мг УВ/г $C_{орг}$), температуру максимального выхода УВ (T_{max} , °C). Из дробленых пород битумоид экстрагировали хлороформом при комнатной температуре. Экстракт очищали ртутью от элементарной серы. После этого избытком петролейного эфира битумоид разделяли на мальтены и асфальтеновые компоненты. Мальтены делили на фракции насыщенных УВ, ароматических соединений, бензольных и спиртобензольных смол. Индивидуальный состав УВ метанонафтенных фракций (нормальные алканы и изопреноиды) анализировали на хроматографе «5890 series II Gas Chromatograph». На хромато-масс-спектрометрической системе «Agilent 5973N» (газовый хроматограф 6890 с высокоэффективным масс-селективным детектором и компьютерной системой регистрации) исследовали высокомолекулярные насыщенные УВ. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0,25 мм с импрегнированной фазой HP-5MS. Скорость потока газа-носителя гелия 1 мл/мин.

Идентификация УВ проводилась по времени удерживания путем сравнения с уже известными соединениями, а также опубликованными данными.

Измерения $\delta^{13}\text{C}$ бескарбонатного вещества (10 проб НО) пород выполнялось на масс-спектрометре МИ 1201В относительным методом в Томском филиале ФГУП «СНИИГГиМС» под руководством Н.Л.Падалко. Он заключается в попеременном измерении токов двух масс (44, 45) образца и стандарта, представляющих собой газ (CO_2).

Строение разреза сэктэнской свиты на левом берегу р. Лена

Во время экспедиционных работ 2009 г. Т.М.Парфеновой и И.В.Коровниковым исследован разрез на левом берегу р. Лена в 5 км от пос. Чекуровка, ниже по течению от устья руч. Биэскээбит, собраны коллекции образцов пород кембрия. Биостратиграфическое расчленение отложений выполнено на основе распределения трилобитов. В настоящей статье при проведении ярусных и зональных границ использована стратиграфическая схема, принятая на совещании 1979 г. [13]. Полевые наблюдения и лабораторное изучение проб позволили выделить в сэктэнской свите пять пачек (рис. 1). Карбонатные породы пачки I согласно залегают на светло-серых глинистых и доломитистых известняках (образец 1) тусэрской свиты нижнего кембрия.

Пачка I сложена чередующимися серыми, толстоплитчатыми, иногда комковатыми известняками, глинистыми и доломитистыми известняками (образцы 2, 3, 5, 6). Ее мощность составляет 30,5-31,0 м.

Пачка II – преимущественно известняки среднего кембрия. В ней зафиксировано два прослоя черных пород, обогащенных ОВ. На нижнем прослое глинисто-кремневых пород мощностью 0,05-0,07 м (образец 7) залегают пласт известняков и глинистых известняков (образцы 8, 9). Верхний обогащенный ОВ тонкоплитчатый прослой черных кремней имеет мощность 0,3 м (образец 10). Кровля пачки, представленная известняками (образец 11), покрыта обломками вышележащих пород. Мощность пачки – 12,5-13,0 м.

Пачка III сложена тонкослоистыми и тонкоплитчатыми обогащенными ОВ глинисто-кремневыми породами (образцы 12-14) и глинисто-кремневыми известняками. Она имеет мощность 4,0-4,5 м.

Пачка IV является аналогом малокуонамского горизонта, фиксируемого в разрезах куонамской свиты на склонах Анабарской антеклизы ([8; 11] и др.). В основании пачки залегают слой плотных плитчатых полосчатых от серых до черных глинисто-кремневых пород (образец 15). Вверх по разрезу наблюдаются слои серых и светло-серых плитчатых глинистых известняков (образцы 16, 18), в которых встречаются тонкие прослои, иногда линзы кремней (образец 17). Мощность пачки – 2,0-2,5 м.

Пачка V сложена тонкоплитчатыми черными, обогащенными ОВ кремневыми и глинистыми известняками (образцы 19-21). Она является аналогом маспакыйского горизонта, выделяемого в верхней части куонамской свиты. Ее мощность составляет 2,0-2,5 м.

Общая мощность сэктэнской свиты в изученном разрезе – 52,0-53,5 м. На обогащенных ОВ породах согласно залегают массивные светло-серые, часто желтоватые известняки, глинистые и доломитовые известняки маяктахской свиты среднего кембрия. Горизонтально-слоистую структуру пород тусэрской, сэктэнской и маяктахской свит нижнего и среднего кембрия нарушают обычно субвертикальные, реже субгоризонтальные трещины, заполненные кальцитом с черным битумом (образец 4).

Распределение ОВ в породах сэктэнской свиты

Установлено, что обогащенные ОВ глинисто-кремневые породы и глинисто-кремневые известняки пачек II-V, в которых концентрации НО находятся в интервале 28,4-91,8 %, а содержание $S_{\text{общ}}$ в породах – 0,12-0,38 % (среднее – 0,23 %), содержат $C_{\text{орг}}$ от 1,1 до 4,7 % (табл. 1, см. рис. 1), среднее 3,0 %. Содержание битумоида этих пород изменяется от 0,016 до 0,061 %, значения битумоидного коэффициента (β) варьируют от 0,4 до 4,1 % (рис. 2, А). В конце 80-х гг. прошлого столетия исследования состава пород верхней части сэктэнской свиты в разрезе на правом берегу р. Лена, выше ее притока руч. Махан-Альдьярхай, показали, что в глинистых и сильно глинистых битуминозных известняках среднее содержание $C_{\text{орг}}$ равно 1,64 %, $S_{\text{общ}}$ – 0,32 %, в известковисто-доломитистых аргиллитах – 5,94 % ($S_{\text{общ}}$ – 0,60 %), в горючих сланцах – 9,01 % ($S_{\text{общ}}$ – 0,88 %) [8].

Наблюдения авторов статьи показывают, что в карбонатных породах сэктэнской свиты в пачках I, II и IV содержание $C_{\text{орг}}$ как правило сохраняется на уровне значений $C_{\text{орг}}$ известняков тусэрской и маяктахской свит (см. рис. 1). В них концентрация НО изменяется от 3,1 до 13,4 %, $C_{\text{орг}}$ имеет минимальные значения – от 0,01 до 0,27 %. В образце 17 силицита НО составляет 88,6 %, $C_{\text{орг}}$ – 0,36 %. В этих породах концентрация битумоида изменяется от 0,002 до 0,048 %, β имеет повышенные значения – 6,0-17,3 % (см. рис. 2, А).

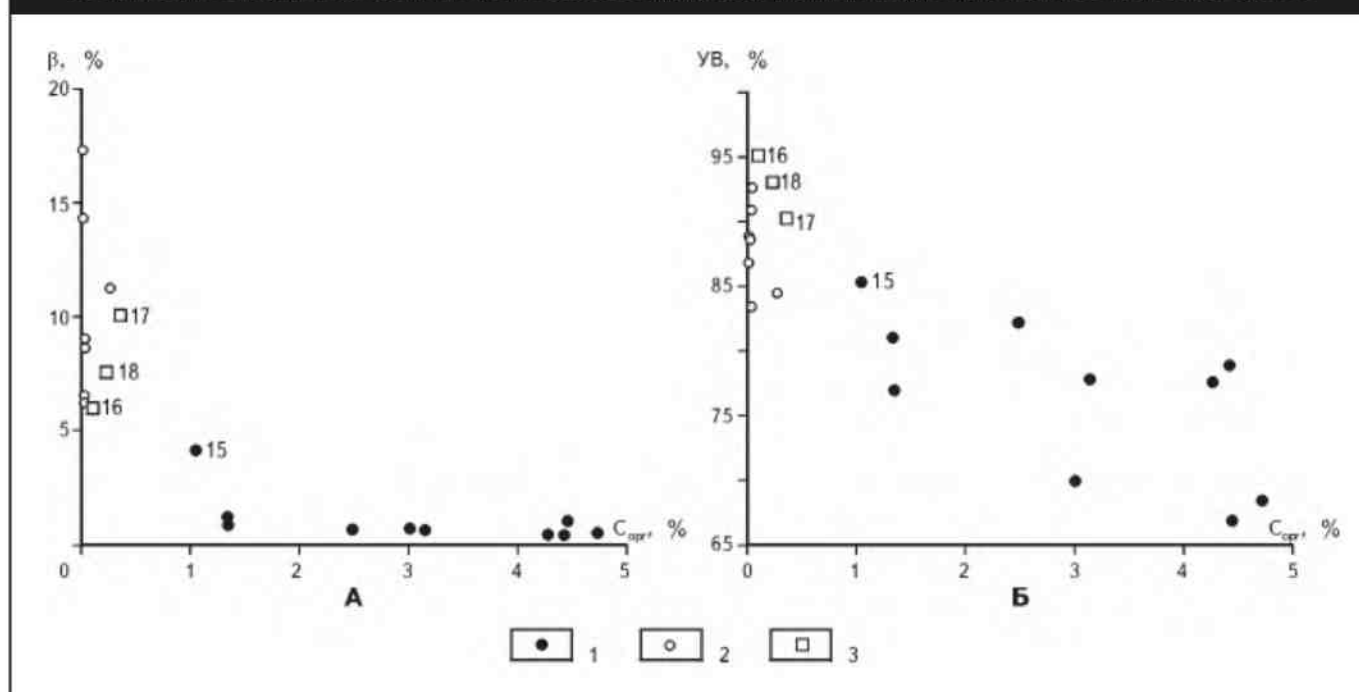
Детальное изучение группового состава битумоидов, анализ ОВ пород методом пиролиза показали, что обедненные ОВ пробы сэктэнской свиты пачек I, II и аналога малокуонамского горизонта пачки IV содержат преимущественно мигрировавший битумоид. Об этом свидетельствуют высокие значения β , аномально повышенные содержания УВ (83,46-95,10 %) на сумму мета-

Таблица 1

Характеристика пород и групповой состав битумоидов сэктэнской свиты

Номер образца	НО, %	C _{орг} , %	S _{общ} , %	b _{хлп} , %	β, %	Групповой состав, % на битумоид				УВ-состав, %		Насыщенные/ ароматические
						УВ		Σ смол	Σ асфаль- теновых компон- ентов	УВ-состав, %		
						насы- щенные	арома- тические			насы- щенные	арома- тические	
7	72,0	4,5	0,12	0,061	1,0	17,2	8,5	64,5	9,9	66,9	33,1	2,0
10	91,8	4,7	0,16	0,033	0,5	18,4	8,5	65,8	7,3	68,5	31,5	2,2
12	65,2	4,3	—	0,026	0,5	21,5	6,2	67,4	4,9	77,6	22,4	3,5
13	65,4	4,4	0,36	0,026	0,4	22,8	6,1	65,5	5,7	78,9	21,1	3,7
14	60,2	3,2	0,38	0,026	0,6	22,6	6,4	65,5	5,5	77,9	22,1	3,5
15	53,0	1,1	0,34	0,058	4,1	37,5	6,5	51,7	4,4	85,3	14,7	5,8
19	30,0	1,4	0,17	0,016	0,9	30,4	3,1	52,6	7,9	77,0	23,0	9,8
20	44,6	3,0	0,23	0,029	0,7	19,0	8,2	66,9	6,0	69,9	30,1	2,3
21	54,0	2,5	0,18	0,022	0,7	25,3	5,5	64,2	5,0	82,2	17,8	4,6
22	28,4	1,3	0,12	0,021	1,2	31,2	7,3	55,1	6,3	81,0	19,0	4,3
Среднее значение	56,5	3,0	0,23	0,032	1,1	24,6	6,6	61,9	6,3	76,5	23,5	4,2

Рис. 2. ДИАГРАММЫ ЗАВИСИМОСТИ БИТУМОИДНОГО КОЭФФИЦИЕНТА (А) И СОДЕРЖАНИЯ УВ НА СУММУ НАСЫЩЕННЫХ УВ И АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ БИТУМОИДОВ (Б) ОТ СОДЕРЖАНИЯ C_{орг} В ПОРОДАХ СЭКТЭНСКОЙ СВИТЫ



Породы: 1 – обогатенные УВ, 2, 3 – обедненные УВ (образцы 16-18 из аналога малокуонамского горизонта)

нонафтеновых и ароматических фракций (см. рис. 2, Б), часто смещенный в низкотемпературную область – пик S_2 на пирограммах изучения пород и НО – и, как следствие, пониженные значения T_{\max} до 267-386 °С.

Геохимия ОВ пород сэктэнской свиты

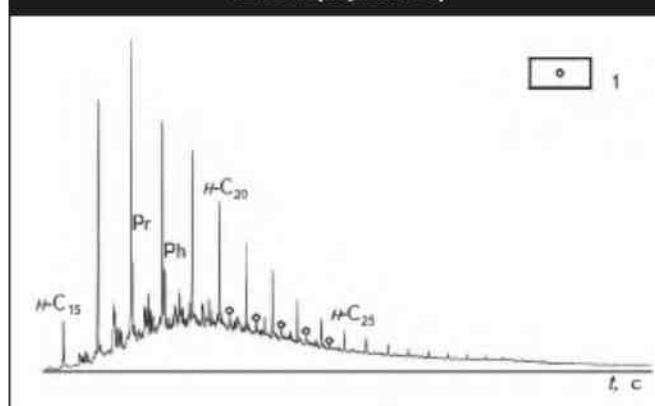
Пиролиз пород показал, что «битумоидная» составляющая S_1 изменяется от 0,012 до 0,031 %, среднее – 0,018 %. Оценки «керогеновой» компоненты S_2 лежат в интервале 0,128-0,503 %, среднее – 0,282 %. Выявлены прямые зависимости между содержанием хлороформенного битумоида и S_1 , S_2 . Значения PI варьируют от 0,04 до 0,11, среднее – 0,07. Индекс HI изменяется от 69 до 202 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$, среднее значение – 106 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$. Он имеет аномально низкие значения по сравнению с HI изученных пород куонамского комплекса из обнажений на реках Молодо и Кюленке, скв. Хоточу-7, где как правило значения HI не ниже 300 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$ [14-16]. Температуры максимального выхода УВ по пиролизу находятся в пределах 444-451 °С, среднее – 448 °С.

Битумоиды обогащенных ОВ пород содержат от 17,2 до 37,5 % насыщенных УВ, 3,1-8,5 % – ароматических соединений, 51,7-67,4 % – смол бензольных и спиртобензольных, от 4,4 до 9,9 % – асфальтеновых компонентов (см. табл. 1). Содержание УВ на сумму насыщенных УВ и ароматических соединений в битумоидах изменяется от 66,9 до 85,3 % (см. рис. 2, Б, табл. 1). Значения отношения насыщенные/ароматические лежат в интервале 2,0-9,8 (среднее – 4,2).

В ранее изученных коллекциях куонамского комплекса максимальные содержания УВ не превышали 40-50 %. Установлено, что с увеличением S_2 пород суммарное содержание смол и асфальтенов в битумоидах сэктэнской свиты закономерно растет. Это косвенно указывает на вклад битумоидов в «керогеновый» пик.

На газожидкостных хроматограммах насыщенных УВ определены алканы нормального строения (*n*-алканы) C_{15} - C_{35} и изопреноидные алканы (*изо*-алканы) C_{15-25} (рис. 3). Максимальные содержания среди *n*-алканов отмечены для n - C_{16} - n - C_{19} . В изопреноидах доминируют пристан (Pr) и фитан (Ph). Отношение пристана к фитану изменяется от 1,2 до 1,6 (среднее – 1,3), отношение пристана к *n*- C_{17} и фита-

Рис. 3. ТИПОВАЯ ХРОМАТОГРАММА НАСЫЩЕННЫХ УВ БИТУМОИДОВ УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОД СЭКТЭНСКОЙ СВИТЫ (образец 20)



1 – 12- и 13-монометилалканы; Pr – пристан, Ph – фитан, *n*- C_n – алкан нормального строения, где *n* – количество углерода в цепи молекулы

на к *n*- C_{18} – от 0,2 до 0,3, *n*- C_{27} /*n*- C_{17} – от 0,04 до 0,20 (табл. 2). Индекс нечетности (в англоязычной литературе CPI – carbon preferens index) находится в интервале 0,9-1,6 (среднее – 1,2). В области выхода УВ *n*- C_{20-25} наблюдаются низкие пики 12-, 13-монометилалканов. Эти УВ находятся в следовых количествах в метано-нафтеновых фракциях битумоидов.

На масс-хроматограммах по *m/z* 217 идентифицированы стераны (рис. 4). Содержание холестанов (C_{27}) в ОВ изменяется от 31 до 39 %, метилхолестанов (C_{28}) – от 20 до 24 %, этилхолестанов (C_{29}) – от 34 до 43 %,

Таблица 2

Отношение алкановых УВ в битумоидах углеродистых пород сэктэнской свиты

Номер образца	Алканы				
	Pr/Ph	Pr/ <i>n</i> - C_{17}	Ph/ <i>n</i> - C_{18}	<i>n</i> - C_{27} / <i>n</i> - C_{17}	CPI
7	1,5	0,2	0,2	0,10	1,6
10	1,6	0,2	0,2	0,10	1,5
12	1,2	0,2	0,3	0,05	1,3
13	1,3	0,2	0,3	0,10	0,9
14	1,2	0,2	0,3	0,05	1,3
15	1,3	0,2	0,2	0,10	1,1
19	1,2	0,3	0,3	0,10	1,0
20	1,3	0,3	0,3	0,04	1,1
21	1,4	0,3	0,3	0,10	1,1
22	1,4	0,3	0,3	0,20	1,1
Среднее значение	1,3	0,3	0,3	0,10	1,2

Таблица 3

Распределение стеранов и отношение стерановых, трицикловых, гопановых УВ битумоидов углеродистых пород сэктэнской свиты

Номер образца	Стераны								Трицикланы $\frac{2\Sigma(C_{19-20})}{\Sigma(C_{23-26})}$	Гопаны		Трицикланы/ (гопаны + гомогопаны)
	Процент от суммы				C_{29}/C_{27}	C_{29}	диастераны/ регулярные стераны	стераны/ прегнаны		Ts/Tm	C_{35}/C_{34}	
	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}		$\frac{20S}{20S+20R}$						
7	33	21	41	4	1,2	0,43	0,45	0,9	1,0	4,7	0,7	4,4
10	34	21	42	3	1,2	0,42	0,36	0,8	1,2	3,4	0,9	6,9
12	39	24	34	3	0,9	0,41	0,40	0,8	0,8	1,6	0,9	5,3
13	39	24	34	3	0,9	0,40	0,34	0,8	1,0	1,5	1,2	5,0
15	31	24	41	3	1,3	0,43	0,39	1,7	0,7	2,2	0,7	3,2
19	34	21	42	3	1,2	0,43	0,43	1,2	0,9	2,1	1,1	5,4
20	34	20	43	3	1,3	0,43	0,37	1,2	0,9	2,3	0,8	4,9
21	33	21	43	4	1,3	0,42	0,32	1,1	1,0	2,1	0,8	3,3
22	35	21	40	3	1,1	0,43	0,38	1,3	0,8	1,4	0,7	3,4
Среднее значение	34,8	22,0	40,1	3,2	1,2	0,4	0,40	1,1	0,9	2,4	0,9	4,6

пропилхолестанов (C_{30}) – от 3 до 4 % (табл. 3). Как правило, для ОБ сэктэнских пород характерно повышенное (более 40 %) содержание стерана C_{29} относительно других гомологов (см. рис. 4, А), отношение C_{29}/C_{27} изменяется от 1,1 до 1,3 (см. табл. 3). В образцах 12 и 13 насыщенных УВ битумоидов пород пачки III распределение гомологов стерана отличается (см. рис. 4, Б). В максимальных концентрациях присутствует холестан, коэффициент C_{29}/C_{27} равен 0,9 (см. табл. 3). Различия в соотношениях гомологов стерана было установлено для высокоуглеродистых и углеродистых пород куонамской свиты из обнажений рек Кюленке и Молодо [14, 16]. Изучены распределения изомеров и стереоизомеров стеранов битумоидов сэктэнской свиты. Идентифицированы перегруппированные изомеры диастераны ($\beta\alpha$) и регулярные (био- $\alpha\alpha$ и изо- $\beta\beta$) изомеры (см. рис. 4). Отношения концентраций изомеров $20S/(20S+20R)$ этилхолестана изменяются от 0,40 до 0,43 (см. табл. 3). Отношение диастераны/регулярные стераны находится в интервале 0,32-0,45. На хроматограммах видны высокие пики диа- и регулярных прегнанов C_{21} , C_{22} (см. рис. 4). Отношение стераны/прегнаны изменяется от 0,8 до 1,7 (см. табл. 3), среднее равно 1,1.

Терпаны насыщенных фракций изучали по масс-хроматограммам m/z 191 (рис. 5). В их составе определены трицикланы, гопаны, тетрацикланы, моретаны и гаммацеран.

Содержание трициклов среди терпановых УВ битумоидов сэктэнской свиты имеет аномально высокие значения и изменяется от 72 до 85 %, среднее равно 79 %. Идентифицированы их гомологи от T_{19} до T_{31} . Распределение трициклов во всех пробах близкое. Доминируют трицикланы C_{20-21} , C_{23-25} (см. рис. 5). Отношение T_{23}/T_{21} варьирует от 0,8 до 1,0 (среднее – 0,9). Значения трициклового индекса $2\Sigma(C_{19-20})/\Sigma(C_{23-26})$ [10] изменяется от 0,7 до 1,2 (среднее – 0,9).

Суммарное содержание гопанов C_{27-30} и гомогопанов C_{31-35} в терпанах составляет 12-23 % (среднее – 18 %). Отношение трицикланы/(гопаны+гомогопаны) изменяется от 3,2 до 6,9 (см. табл. 3). Распределение гопанов сэктэнских пород аналогично (см. рис. 5). Максимальные содержания среди гомологов имеет гопан C_{30} (25-39 %, среднее – 29 %). Содержание норгопана C_{29} изменяется от 13 до 24 %, среднее – 19 %. Трисноргопаны (T_s , T_m – изомеры C_{27}) имеют повышенные количества (12-25 %, среднее – 19 %). Коэффициент T_s/T_m изменяется от 1,4 до 4,7, среднее – 2,4 (см. рис. 5, табл. 3).

С ростом молекулярной массы содержание гомогановых гомологов, как правило, уменьшается в ряду $C_{31} > C_{32} > C_{33} > C_{34} > C_{35}$ (см. рис. 5). Обычно отношение $C_{35}/C_{34} < 1$, только в двух образцах коэффициент $C_{35}/C_{34} > 1$ (см. табл. 3).

Содержания тетрацикланов (2-3 %) и моретанов (1-2 %) минимальные среди терпанов. На масс-хроматограммах установлено присутствие гаммацераана – Ga (см. рис. 5). В терпанах его содержание изменяется от 0,05 до 0,30 % (среднее – 0,15 %).

Значения $\delta^{13}C$ углерода нерастворимых остатков пород сэктэнской свиты варьирует от -31,7 до -29,6 ‰, среднее равно -30,6 ‰. Образцы керогенов куонамской свиты из разрезов, изученных на склонах Анабарской антеклизы, фиксируются на этом же уровне и имеют $\delta^{13}C$ от -34,1 до -27,4 ‰ [17].

Типы и условия накопления ОБ

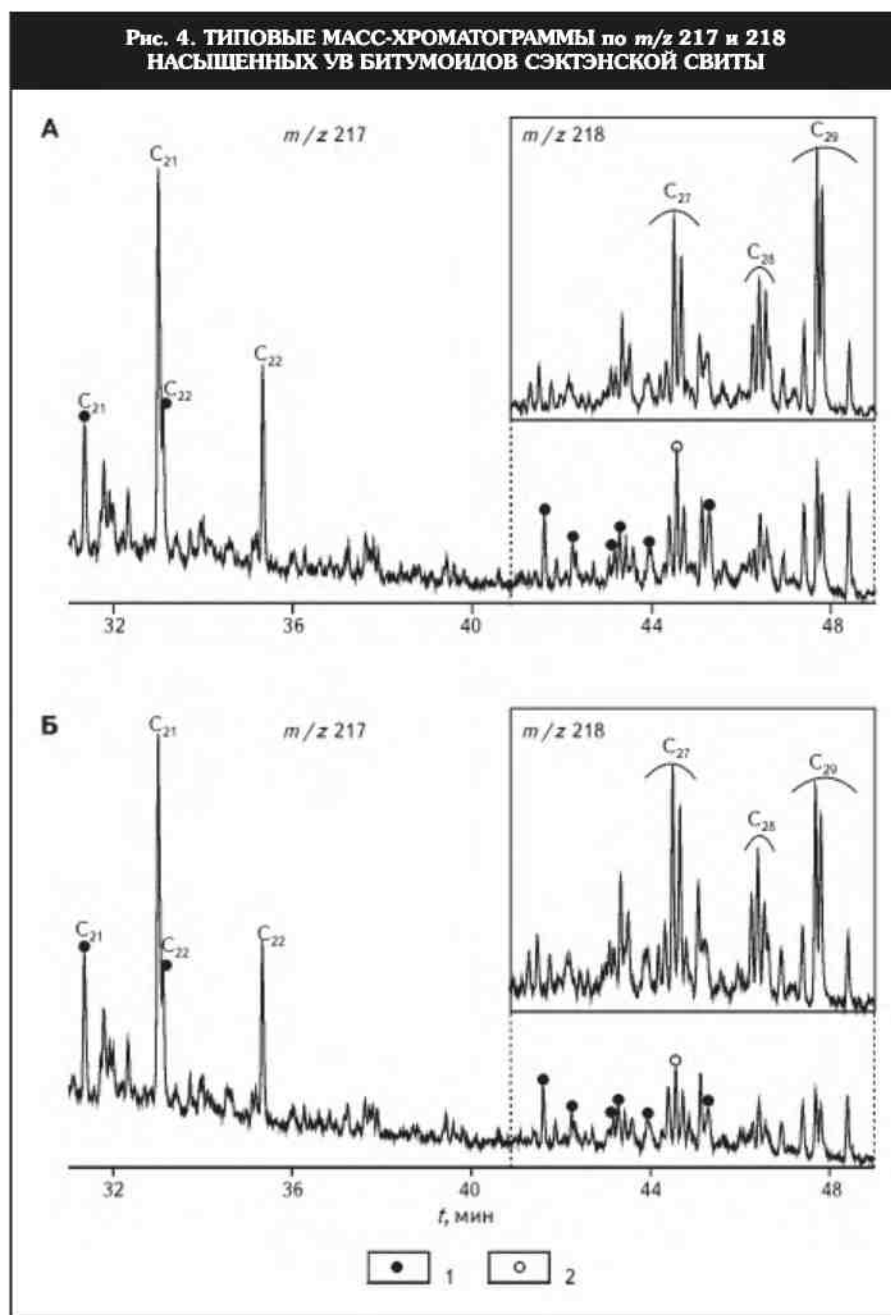
Распределение *n*-алканов с максимумом в области выхода *n*- C_{16-19} , отношение пристана к фитану, не превышающее 2, трициклановый индекс на уровне 1 и изменение значений $\delta^{13}C$ (по [10] и др.) – все это подтвердило, что автохтонное ОБ сэктэнской свиты, как и всего куонамского комплекса, является аквагенным морским (тип II в англоязычной литературе).

Наличие стеранов в битумоидах указывает, что одним из источников ОБ были эукариоты [18-19]. Повышенные (до 43 %) содержания этилхолестана C_{29} среди стеранов ОБ сэктэнской свиты связаны с особенностью биохимии микроорганизмов докембрийских и раннепалеозойских морей. Два типа распределения стеранов, для которых характерны стерановые отношения $C_{29}/C_{27} > 1$ и $C_{29}/C_{27} < 1$, позволяют обсуждать вопрос о двух эукариотных микросообществах. Лабораторные пиролитические исследования керогенов тасманиевых сланцев перми и концентратов микрофоссилий, выделенных из образцов силура и девона юго-восточной Турции, показывают, что высокие содержания трициклановых УВ могли обеспе-

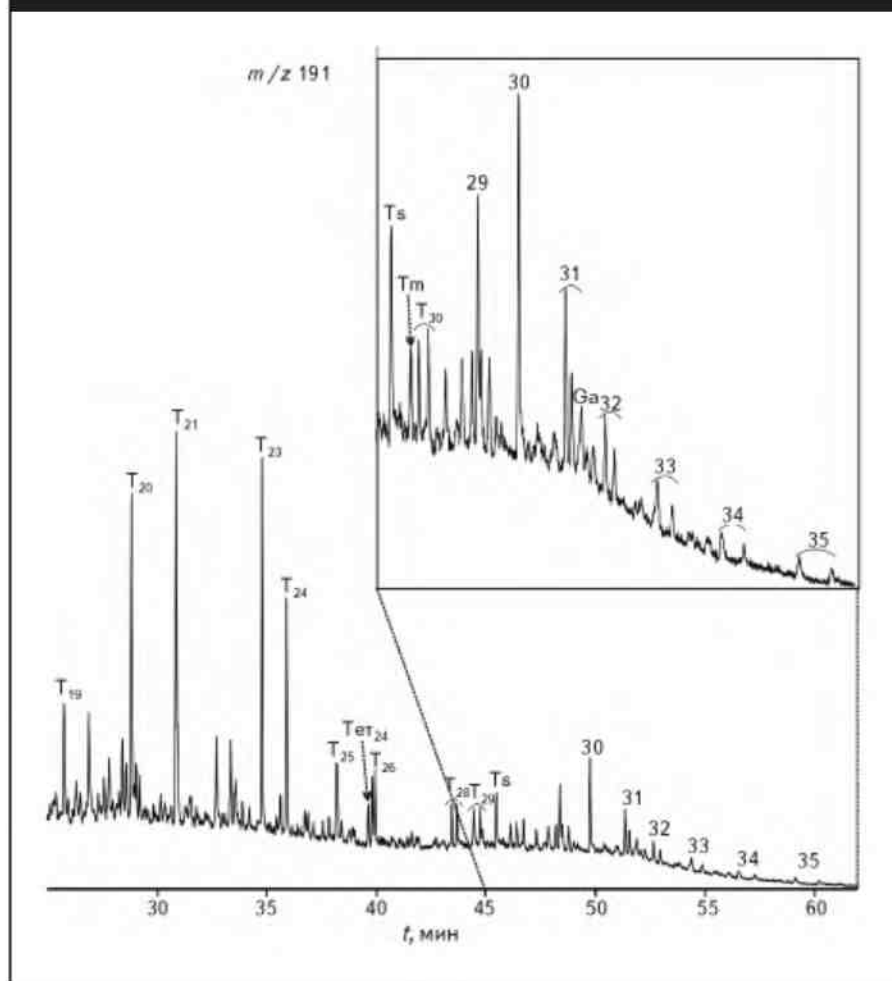
чить, по-видимому, зеленые водоросли *Tasmanites* и/или акритархи *Leiosphaeridia* [18, 20-21]. Анализ опубликованных материалов показал, что в породах куонамской свиты среди микрофоссилий были встречены акритархи и водоросли [14, 22-23]. Присутствие гопанов свидетельствует о вкладе прокариот в состав исходного ОБ [18].

Отношение содержаний гомоганов C_{35} и C_{34} используют в качестве индикатора окислительно-восстановительных условий. Отношение $C_{35}/C_{34} < 1$ свидетельствует, что накопление ОБ сэктэнских осадков произошло преимущественно в аэрируемой среде. Общее

Рис. 4. ТИПОВЫЕ МАСС-ХРОМАТОГРАММЫ по m/z 217 и 218 НАСЫЩЕННЫХ УВ БИТУМОИДОВ СЭКТЭНСКОЙ СВИТЫ



Образцы: А – 20, Б – 13; 1 – диастерановые УВ; 2 – диастеран C_{29S} и изостеран C_{27R}

Рис. 5. ТИПОВЫЕ МАСС-ХРОМАТОГРАММЫ ПО m/z 191 НАСЫЩЕННЫХ УВ БИТУМОИДОВ СЭКТЭНСКОЙ СВИТЫ


T_{19-30} – трицикланы, Tet_{24} – тетрациклан, Ts, Tm – трисноргопаны; 29 – неогопан, 30 – гопан, 31-35 – гомогопаны; Ga – гаммацеран

содержание серы в породах подтверждает это. Значения $C_{35}/C_{34} > 1$ указывают на редкие условия сероводородного заражения при формировании сэктэнских илов. Содержание гаммацерана $< 1\%$ свидетельствует, что седиментация шла в водах с нормальной морской соленостью [18].

Катагенез ОВ

Теоретические построения 70-80-х гг. прошлого столетия, показали, что катагенез ОВ пород куонамского комплекса на северо-восточной окраине Сибирской платформы соответствует начальному уровню MK_1 [6-7, 22]. Прямые определения, выполненные для ОВ пород, подстилающих куонамский комплекс в низовьях р. Лена (см. схематическую карту геохимических параметров [24]), по мнению авторов статьи, свидетельствуют, что преобразование ОВ отвечает средней стадии мезокатагенеза MK_2 .

Показанные в настоящей статье изменения значений T_{max} , отношения изомеров стеранов $C_{29} 20S/(20S+20R)$, алканового индекса CPI соответствуют стадии мезокатагенеза. Анализ группового состава битумоидов, отношений изопреноидов, стеранов и прегнанов, групп терпановых УВ и трисноргопанов позволяет уточнить уровень катагенеза ОВ пород сэктэнской свиты. Следует отметить аномально высокие содержания насыщенных УВ на сумму метанонафтеновой и ароматической фракций. В зависимости от типа пород обычно они в 2-4 раза превосходят концентрации этих компонентов в битумоидах из коллекций рек Молодо и Кюленке, для которых установлен катагенез ОВ не ниже MK_1^2 [14, 16-17]. Значения коэффициента насыщенные/ароматические для битумоидов сэктэнской свиты, как правило, > 2 (до 9,8). Этот параметр, характеризующий битумоиды куонамской свиты на восточном склоне Анабарской антеклизы, не превышает 0,5-1,0 [14, 16]. Обращают на себя внимание повышенные (систематически > 1) оценки отношения Pr/Ph, высокие (> 2 и достигающее 4,7) значения коэффициента Ts/Tm , аномально высокие содержания прегнанов, существенно повышенный (3-7) по сравнению с известными для ОВ

куонамской свиты показатель трицикланы/(гопаны+гомогопаны). Известно, что отношение трицикланы/(гопаны+гомогопаны) используют не только для оценки вклада водорослевых и бактериальных организмов в ископаемое ОВ, но и определения зрелости ОВ и нефтей [18]. Температурное воздействие приводит к пониженному содержанию гопанов и повышенному трицикланов среди терпанов. Доминирование трицикланов над гопанами выявлено для ОВ пород куонамской свиты р. Кюленке, где отмечено температурное влияние интрузий на молекулярный состав битумоидов [16, 23]. Таким образом, комплекс битуминологических и молекулярных количественных оценок показывает, что катагенез ОВ сэктэнской свиты на территории Туора-Сисского выступа был выше, чем предполагаемый. Он соответствует стадии катагенеза не меньше MK_2 и, по-видимому, превосходит ее. Это объясняет значения индекса HI, характеризующие ОВ пород сэктэнской свиты в сред-

нем на уровне 100 мг УВ/г $C_{орг}$. Низкие значения HI соответствуют не террагенному или окисленному в катагенезе ОВ типа III, а ОВ, высоко преобразованному в катагенезе, существенно реализовавшему генерационный потенциал. Начальные значения HI ОВ куонамского типа были 650-750 мг УВ/г $C_{орг}$.

Участие пород куонамского комплекса в нефтегазообразовании на северо-востоке Сибирской платформы

Прежде предполагалось, что в рассматриваемом районе исходные концентрации ОВ составляли 3-5 % на породу ([9]). Изменение содержаний $C_{орг}$, показанное в [8, 24], оценка катагенеза и анализ индекса HI, позволяют считать, что исходные концентрации ОВ были в 3-4 раза выше.

В изученном разрезе на обогащенные ОВ породы приходится около 10 м. Согласно описанию разрезов и представленных построений на профилях положения куонамских отложений [8], в юго-западном направлении от разрезов в нижнем течении р. Лена до притоков рек Оленек и Молодо их мощность увеличивается в 5-8 раз. В разрезах приустьевой части руч. Керсюке (гора Саланкан) и р. Хорбусуонка, расположенных западнее района исследования, мощности оценены на уровне 5-6 м. Предполагается, что севернее проходит фациальная граница куонамского комплекса.

Новые сведения о геохимии ОВ сэктэнской свиты свидетельствуют, что на северо-восточной окраине Северо-Азиатского кратона куонамские отложения погружались в главную зону нефтеобразования. Здесь был небольшой по площади, по сравнению с известными [10], очаг нефтегазогенерации, связанный с кембрийскими осадочными бассейнами. Характеристика атомно-молекулярного состава природных битумов Оленекского месторождения позволила В.А.Каширцеву сделать вывод об их полигенном образовании [23]. Автором отмечено присутствие в битумах диастеранов и ванадил-порфиринов, показан широкий интервал значений $\delta^{13}C$ – -32... -30 ‰. Эти признаки свойственны как ОВ сэктэнской, так и куонамской свит ([7, 14, 17, 23] и др.). Следовательно, одним из источников битумов Оленекского месторождения, по-видимому, было ОВ куонамского комплекса.

Заключение

Впервые показано, что в сэктэнской свите встречается четыре уровня обогащенных ОВ пород. Их первые маломощные прослои зафиксированы в основании среднего кембрия. Охарактеризовано ОВ этих пород сэктэнской свиты Чекуровской антиклинали (групповой

состав битумоидов, состав и распределение алканов, стеранов и терпанов, $\delta^{13}C$ НО пород).

Установлено, что по биохимическим особенностям микроорганизмы (источники ископаемого ОВ), условия накопления обогащенных ОВ сэктэнских осадков были такими, как и при формировании куонамских илов.

Анализ S_2 и HI показал, что генерационный потенциал пород сэктэнской свиты практически исчерпан. Уровень катагенеза ОВ этих отложений по битуминологическим и молекулярным параметрам соответствует стадии МК₂, возможно, границе МК₂-МК₃¹ (по шкале А.Э.Конторовича). Для оценки катагенеза аквагенного ОВ на высоких стадиях температурного преобразования наиболее информативными молекулярными коэффициентами являются соотношения терпановых УВ (T_s/T_m , трицикланы T_{23}/T_{21} , трицикланы/(гопаны+гомогопаны)). Сравнительный анализ битумоидов сэктэнской и куонамской свит показал, что отношения четных и нечетных высокомолекулярных *n*-алканов и изомеров стерановых УВ сохраняются на одном уровне при переходе от МК₁¹ до МК₂ включительно.

Выявлено, что в обедненных ОВ в основном карбонатных породах сэктэнской свиты присутствуют мигрировавшие битумоиды.

Новая информация о генерационном потенциале и катагенезе ОВ пород сэктэнской свиты дополняет сведения о геологической истории кембрийских отложений на северо-восточном обрамлении Сибирской платформы. В ловушках кембрийских и пермских осадочных комплексов на северном склоне Оленекского поднятия и прилегающих территориях могут быть найдены залежи нефтидов, генетически связанные с породами куонамского комплекса.

Работа выполнена при поддержке проектов фундаментальных научных исследований 73.2.1, 73.4.3, ОНЗ-1 РАН.

Литература

1. Трофимук А.А. И.М.Губкин – ученый, государственный деятель, глава советской школы геологов-нефтяников / А.А.Трофимук // Развитие учения академика И.М.Губкина в нефтяной геологии Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982.
2. Трофимук А.А. Нефтегазоносность Сибирской платформы / А.А.Трофимук // Геология и геофизика. – 1960. – № 7.
3. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. III. Закономерности состава и размещения аридных отложений / Н.М.Страхов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
4. Зеленов К.К. Литология нижнекембрийских отложений северного склона Алданского массива / К.К.Зеленов // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 8. – М.: Изд-во АН СССР, 1957.
5. Конторович А.Э. К палеографии Сибирской платформы в раннюю и среднюю кембрийские эпохи / А.Э.Конторович, В.Е.Савицкий // Тр. СНИИГГиМСа. Вып. 106. Вопросы литологии и палеографии Сибири. – Новосибирск, 1970.

6. **Тр. СНИИГГиМСа.** Вып. 139. Геохимия нефтегазоносных толщ кембрия Сибирской платформы / Под ред. А.Э.Конторовича. — Новосибирск, 1970.
7. **Геология нефти и газа Сибирской платформы** / Под ред. А.Э.Конторовича, В.С.Суркова, А.А.Трофимука. — М.: Недра, 1981.
8. **Бахтуров С.Ф.** Куонамская битуминозная карбонатно-сланцевая формация / С.Ф.Бахтуров, В.М.Евтушенко, В.С.Переладов. — Новосибирск: Наука, 1988.
9. **Конторович А.Э.** Закономерности накопления органического вещества на территории Сибирской платформы в докембрии и кембрии / А.Э.Конторович, В.М.Евтушенко, Н.Ф.Ивлев, А.И.Ларичев // Литология и геохимия нефтепроизводящих толщ Сибирской платформы. — М.: Наука, 1981.
10. **Конторович А.Э.** Разновозрастные очаги нефтидообразования и нефтидонакопления на Северо-Азиатском кратоне / А.Э.Конторович, С.Ф.Бахтуров, А.К.Башарин и др. // Геология и геофизика. — 1999. — № 11.
11. **Кембрий Сибири** / Под ред. Л.Н.Репиной, Ю.А.Розанова. — Новосибирск: Наука, 1992.
12. **Коровников И.В.** Новые данные по биостратиграфии нижнего и низов среднего кембрия Хараулахских гор / И.В.Коровников, Н.В.Новожилова // Геология и геофизика. — 2012. — № 8.
13. **Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири.** Ч. I. Верхний докембрий, нижний палеозой. — Новосибирск, 1983.
14. **Парфенова Т.М.** Органическая геохимия нефтепроизводящих пород куонамской свиты кембрия (восток Сибирской платформы) / Т.М.Парфенова, С.Ф.Бахтуров, Ю.Я.Шабанов // Геология и геофизика. — 2004. — № 7.
15. **Парфенова Т.М.** Геохимические предпосылки нефтеносности кембрийских отложений Лено-Амгинского междуречья (юго-восток Сибирской платформы) / Т.М.Парфенова, И.В.Коровников, В.Н.Меленевский, В.Г.Эдер // Геология нефти и газа. — 2009. — № 1.
16. **Парфенова Т.М.** Геохимия органического вещества нефтепроизводящих пород среднего кембрия (северо-восток Сибирской платформы) / Т.М.Парфенова, И.В.Коровников, Е.Н.Иванова, В.Н.Меленевский // Геология нефти и газа. — 2011. — № 5.
17. **Парфенова Т.М.** Кероген куонамской свиты кембрия (северо-восток Сибирской платформы) / Т.М. Парфенова, А.Э.Конторович, Л.С.Борисова, В.Н.Меленевский // Геология и геофизика. — 2010. — № 3.
18. **Peters K.E.** The biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments / K.E.Peters, J.M.Moldowan. — New Jersey: Prentis Hall, Englewood Cliffs, 1993.
19. **Volkman J.K.** Sterols in microorganisms / J.K.Volkman // Applied Microbiology and Biotechnology. — 2003. — V. 60.
20. **Dutta S.** New insights into the relationship between Tasmanites and tricyclic terpenoids / S. Dutta, P.F.Greenwood, R.Brocke at al. // Organic Geochemistry. — 2006. — V. 37.
21. **Greenwood P.F.** Tricyclic terpenoid composition of Tasmanites kerogen as determined by pyrolysis GC-MS / P.F.Greenwood, K.R.Arouri, S.C.George // Geochimica et Cosmochimica Acta. — 2000. — V. 64.
22. **Органическая геохимия палеозоя и допалеозоя Сибирской платформы и прогноз нефтегазоносности** / Под ред. К.К.Макарова, Т.К.Баженовой. — Ленинград: Недра, 1981.
23. **Каширцев В.А.** Органическая геохимия нефтидов востока Сибирской платформы. — Якутск: ЯФ ГУ Изд-во СО РАН, 2003.
24. **Старосельцев В.С.** Углеводородное сырье битуминозных пород Сибирской платформы / В.С.Старосельцев, А.С.Ефимов, П.Н.Соболев // Геология нефти и газа. — 2013. — № 5.

© Т.М.Парфенова, В.Н.Меленевский, И.В.Коровников, 2016

Татьяна Михайловна Парфенова,
старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических наук,
ParfenovaTM@ipgg.sbras.ru;

Василий Николаевич Меленевский,
старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук,
MelenevskyVN@ipgg.sbras.ru;

Игорь Валентинович Коровников,
ведущий научный сотрудник,
доктор геолого-минералогических наук,
KorovnikovIV@ipgg.sbras.ru.

ORGANIC MATTER GEOCHEMISTRY OF THE LOWER AND MID-CAMBRIAN SEKTENSKAYA FORMATION (CHEKUROVSKAYA ANTICLINE, NORTH-EASTERN SIBERIAN PLATFORM)

Parfenova T.M., Melenevskii V.N., Korovnikov I.V. (FSBI «Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of RAS»)

In the work organic matter of Sektenskaya formation widespread in the north-eastern part of Siberian platform was investigated. For the first time it was shown that the formation contains four levels of organic-rich rocks. Pyrolytic study indicated potential of Sektenskaya formation rocks (which is facies equivalent for Kuonamskaya formation) is nearly exhausted within Chekurovskaya anticline slopes. Bitumen and molecular parameters reveal organic matter katagenesis is on MK₂ stage or on MK₂-MK₃ border-line. Organic-depleted carbonaceous and silicon rocks are shown to contain migrated bitumoids. The authors suppose that Cambrian and Permian sedimentary deposits within the northern slope of Olenekskoe uplift and the adjacent areas could carry oil or bitumen accumulations genetically related to Kuonamsky complex.

Key words: organic geochemistry; bitumoids; biomarkers; oil source rocks; Cambrian; Siberian platform.