

ГЕОХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 550.4:552.57/58+551.732(571.1)

ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА КЕМБРИЯ
ПРЕДЬЕНИСЕЙСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ
(по результатам бурения скважин Восток-1 и Восток-3)

А.Э. Конторович, Е.А. Костырева, С.В. Сараев, В.Н. Меленевский, А.Н. Фомин

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

Приведены результаты выполненного впервые широким комплексом современных методов исследования геохимии рассеянного органического вещества кембрийских отложений Предьенисейского верхнепротерозойско-палеозойского осадочного бассейна (параметрические скважины Восток-1 и Восток-3). Установлено, что наиболее обогащенными органическим веществом в изученных разрезах кембрия являются углеродистые породы чурбигинской и пайдугинской свит. Показано, что органическое вещество имеет аквагенную природу (бактерио- и планктоногенную). Дана детальная характеристика углеводородов-биомаркеров во фракции насыщенных углеводородов. Установлен высокий уровень катагенеза (апокатагенез) органического вещества. Рассмотрены геохимические критерии прогноза нефтегазоносности.

Нефтегазоносность, органическое вещество, кембрий, катагенез, битумоиды, углеводороды-биомаркеры, антраколиты.

THE GEOCHEMISTRY OF CAMBRIAN ORGANIC MATTER FROM THE CIS-YENISEI SUBPROVINCE
(evidence from the wells Vostok-1 and Vostok-3)

A.E. Kontorovich, E.A. Kostyeva, S.V. Saraev, V.N. Melenevskii, and A.N. Fomin

The paper presents the first comprehensive geochemical data, obtained by modern techniques, on the dispersed organic matter (OM) of the Cambrian sediments in the Upper Proterozoic–Paleozoic Cis-Yenisei sedimentary basin (parametric wells Vostok-1 and Vostok-3). The carbonaceous rocks of the Churbiga and Paidugina Formations have been established to be the most OM-enriched in the studied Cambrian sections. The OM in these sections is of aquagene (bacterial, plankton-derived) origin. The detailed characteristics of biomarker hydrocarbons has been given for the fraction of saturated hydrocarbons. Also, the high degree of OM catagenesis (apocatagenesis) has been established. Finally, geochemical criteria for predicting the petroleum potential have been considered.

Petroleum potential, organic matter, Cambrian, catagenesis, bitumens, biomarker hydrocarbons, anthracolites

ВВЕДЕНИЕ

На востоке Западно-Сибирской геосинеклизы под мезозойско-кайнозойским чехлом выделен мощный верхнепротерозойско-палеозойский Предьенисейский осадочный бассейн [Конторович и др., 2006, 2009а,б]. Для оценки перспектив нефтегазоносности этой территории специалистами ИНГГ СО РАН при участии СНИИГГиМСа была разработана программа региональных работ, утвержденная МПР России и Роснедра. В процессе реализации программы выполнен значительный объем региональных сейсмических работ и пробурено несколько параметрических скважин глубиной свыше 5 км. При бурении параметрических скважин Восток-1 и Восток-3 были вскрыты мощные разрезы кембрия и венда [Конторович и др., 2009а,б]. Керна этих скважин детально изучен методами органической геохимии. Ниже излагаются результаты исследований кембрия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье приведены результаты исследования органической геохимии кембрия в разрезах, вскрытых параметрическими скважинами Восток-1 и Восток-3. Всего изучено 90 образцов керна из этих сква-

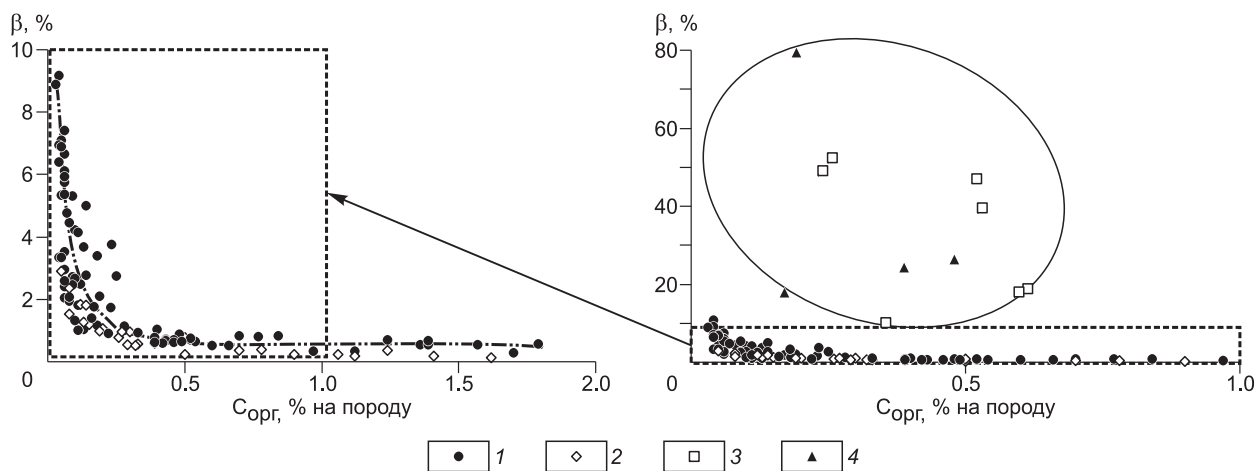


Рис. 1. Зависимость битумоидного коэффициента (β) от содержания органического углерода в вендско-кембрийских отложениях из скважин Восток-1, Восток-3.

1, 2 — автохтонные битумоиды: 1 — кембрий, 2 — венд; 3, 4 — аллохтонные битумоиды: 3 — кондесская, 4 — поделгинская свиты.

жин. В породах определено содержание органического углерода и битумоидов, проведены пиролизические исследования методом Rock-Eval, выделен кероген, определен его элементный состав и изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$). Хлороформенные экстракты (битумоиды) после выделения асфальтенов разделены методами жидкостной хроматографии на насыщенные углеводороды, ароматические углеводороды и смолы. Методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии детально изучены фракции насыщенных УВ. Хромато-масс-спектрометрические исследования насыщенных углеводородов проводились на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890N, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0.25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. В качестве газа-носителя использован гелий со скоростью потока 1 мл/мин. Температура испарителя 300 °С. Ввод пробы проводился без деления потока. Изотермическая «площадка» длительностью 4 мин. Программирование подъема температуры осуществлялось от 100 до 290 °С со скоростью 4 °С/мин с последующей изотермой в течение 20 мин. Ионизирующее напряжение источника — 70 эВ, температура источника — 230 °С. Хроматограммы углеводородов получены по общему ионному току (ТIC) и сканированием по фрагментному иону (m/z — отношение массы иона к его заряду). Идентификация соединений осуществлялась по временам удерживания путем сравнения полученных масс-фрагментограмм с уже имеющимися спектрами в библиотеке Национального Института стандартов NIST-05, а также с опубликованными данными.

В насыщенной фракции были идентифицированы *n*-алканы состава C_{10} — C_{37} , ациклические изопарены — C_{13} — C_{25} , циклические УВ-биомаркеры стеранового (C_{21} — C_{22} и C_{27} — C_{30}) и терпанового (C_{19} — C_{35}) рядов.

С использованием зависимости битумоидного коэффициента (β) (содержание битумоидов в органическом веществе) от концентрации органического углерода (зависимость Успенского—Вассоевича) битумоиды из вендско-кембрийских отложений были разделены на автохтонные и аллохтонные [Вассоевич, 1958; Неручев, 1962]. Анализ показал, что в основной массе образцов битумоиды составляют единую совокупность сингенетичной (автохтонной) природы (рис. 1). В отдельных образцах из поделгинской и кондесской свит диагностированы вторичные (аллохтонные) битумоиды (см. рис. 1). Кроме того, при визуальном описании керна выделены образцы, в которых присутствуют нерастворимые битумы типа антракосолитов. В статье приведены результаты исследования автохтонных битумоидов из кембрийских отложений. Нафтиды и автохтонные битумоиды из вендских отложений (пойгинская, котджинская, райгинская свиты) будут рассмотрены в отдельных статьях.

Нижний и средний кембрий разделены в скважинах Восток-1 и Восток-3 на чурбигинскую (томмотский и атдабанский ярусы, E_1), пайдугинскую (ботомский—амгинский ярусы, E_1 — E_2), пуджелгинскую (амгинский—майский ярусы, E_2) и поделгинскую (майский ярус, E_2) свиты. Верхний кембрий разделен на кондесскую (аюсокканский и сакский ярусы), шеделгинскую (сакский ярус) и пыжинскую (аксайский ярус) свиты [Конторович и др., 2009а] (табл. 1).

Результаты исследования описаны ниже отдельно для каждой свиты.

Таблица 1.

Характеристика органического вещества кембрия

Скважина	Интервалы глубин (м), из которых отобраны керны на геохимические исследования	Система, отдел	Ярус	Свита	$C_{\text{орг}}$, % на породу	$b_{\text{хл}}$, % на породу	β , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
Восток-1 Восток-3	5001 3808.6—3674.2	E_1	Томмотский и атдабанский	Чурбигинская	$\frac{1.35 (10)}{(0.04 - 8.61)}$	$\frac{0.002 (8)}{(0.001 - 0.003)}$	$\frac{1.80 (8)}{(0.03 - 3.33)}$	$\frac{-33.70 (2)}{(-34.40) - (-33.00)}$
Восток-1 Восток-3	4924.7—4871.1 3645.6—3645.0	E_1 — E_2	Ботомский—амгинский	Пайдугинская	$\frac{1.27 (13)}{(0.43 - 2.16)}$	$\frac{0.006 (13)}{(0.003 - 0.009)}$	$\frac{0.58 (13)}{(0.16 - 0.83)}$	$\frac{-30.90 (9)}{(-32.80) - (-29.80)}$
Восток-1	4816.8—4276.7	E_2	Амгинский—майский	Пуджелгинская	$\frac{0.08 (10)}{(0.06 - 0.10)}$	$\frac{0.002 (9)}{(0.001 - 0.003)}$	$\frac{2.49 (9)}{(1.33 - 4.76)}$	—
	4148.5—4010.5		Майский	Поделгинская	$\frac{0.23 (8)}{(0.04 - 0.70)}$	$\frac{0.010 (7)}{(0.002 - 0.035)}$	$\frac{3.91 (7)}{(1.16 - 6.39)}$	—
	3959.6—3661.0	E_3	Аюсокканский и сакский	Кондеская	$\frac{0.08 (9)}{(0.04 - 0.15)}$	$\frac{0.004 (7)}{(0.002 - 0.010)}$	$\frac{5.06 (7)}{(2.78 - 7.11)}$	—
	3564.2—3250.9		Сакский	Шеделгинская	$\frac{0.10 (40)}{(0.02 - 0.25)}$	$\frac{0.004 (27)}{(0.001 - 0.017)}$	$\frac{4.89 (27)}{(1.00 - 10.83)}$	—

Примечание. Здесь и далее — над чертой среднее значение, под чертой — разброс значений, в скобках — количество образцов.

НИЖНИЙ—СРЕДНИЙ КЕМБРИЙ

Чурбигинская свита — томмотский и атдабанский ярусы (скв. Восток-3, инт. 3870—3660 м, мощность 210 м (стратотип свиты); скв. Восток-1, инт. 5010—4945 м, неполная мощность 65 м) — сложена тонким переслаиванием мелкообломочных пелитоморфных известняков и карбонатно-глинистых пород. По мощности в разрезе преобладают известняки.

В нижнечурбигинской подсвите (скв. Восток-3, инт. 3870—3786 м) среди карбонатно-глинистых слоев некоторые имеют темно-серую окраску. В них присутствуют тонкие (около 0.1 м) прослои черных пирит- и углеродсодержащих аргиллитов и линзы кремней. Пиритсодержащие аргиллиты и глинисто-карбонатные породы содержат повышенные концентрации углеродистого вещества.

Верхнечурбигинская подсвита (скв. Восток-3, инт. 3786—3660 м) лишена прослоев, обогащенных углеродистым веществом, а переслаивание светло-серых пелитоморфных известняков и серых, зеленовато-серых карбонатно-глинистых пород сильно нарушено палеосейсмическими процессами с появлением мономиктовых брекчий, образованных обломками-фрагментами слоев известняков и глинисто-карбонатным матриксом, сформировавшимся за счет прослоев такого же состава.

Пористость пород чурбигинской свиты, по данным петрофизических исследований, низкая — 0.1—0.9 %, проницаемость от $<0.001 \cdot 10^{-3}$ до $0.5 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Содержание органического углерода в породах чурбигинской свиты, не обогащенных углеродистым веществом, изменяется от 0.04 до 0.28 % на породу, хлороформенного битумоида ($b_{\text{хл}}$) от 0.001 до 0.003 % на породу (см. рис. 1, табл. 1). Битумоидный коэффициент изменяется от 0.03 до 3.33 %.

В черных пирит- и углеродсодержащих аргиллитах нижнечурбигинской подсвиты (в образцах с глубин 3807.38 и 3808.56 м) содержание органического углерода высокое — от 4.2 до 8.6 % на породу. Концентрация битумоидов в этих породах около 0.003 %, битумоидный коэффициент меньше 0.1 %.

Из отложений свиты изучен один образец керогена. Содержание углерода в нем равно 95.75 %, водорода — 2.49 %, что указывает на высокий катагенез — стадию АК₃. Этот уровень катагенеза отвечает значению отражательной способности витринита (R_{Vt}^0 более 3.5 %) [Богородская и др., 2005]. Изотопный состав углерода этого керогена ($\delta^{13}\text{C} = -32.0$ ‰) указывает на его аквагенную природу (бактерио- и планктоногенную) [Конторович и др., 1985].

В полном соответствии с результатами анализа элементного состава керогенов исследование образцов пород, вскрытых скв. Восток-3, методом пиролиза Rock-Eval показало, что кембрийские отложения в изученном разрезе полностью реализовали свой нефтегазогенерационный потенциал. Для образцов пород из этой скважины величина $T_{\text{max}} > 600$ °С, что подтверждает высокий уровень катагенетической преобразованности органического вещества.

Пиролитические исследования образцов кембрийских пород, отобранных в разрезе скв. Восток-1, дали, на первый взгляд, противоречивый результат. В них $T_{\max} < 450$ °С, т.е. по пиролитическим данным уровень зрелости органического вещества в этом разрезе не выходит за пределы главной зоны нефтеобразования. Последнее находится в противоречии с результатами анализа элементного состава керогенов. Природа этого «парадокса» объясняется тем, что в породах, вскрытых этой скважиной, присутствует примесь антракосолитов, $(S_1 + S_2) < 0.5$ мг/г породы. Они искажают сигнал от собственно керогена. «Кажущаяся» зрелость таких антракосолитсодержащих «керогенов» оказывается заниженной.

Сказанное относится ко всем описываемым далее свитам кембрия. При их характеристике повторно освещать результаты пиролитических исследований авторы не будут.

В битумоидах из пород с низким содержанием органического углерода концентрация углеводородов изменяется от 33.9 до 44.9 %, концентрация асфальтово-смолистых компонентов достигает 66.1 % (рис. 2). Среди углеводородов отношение массы насыщенных и ароматических соединений меняется от 2.5 до 18.1.

В битумоидах из пород с высоким содержанием органического углерода углеводороды составляют до 55.3 %, отношение масс насыщенных и ароматических углеводородов равно 3.4—6.6 (см. рис. 2). Содержание асфальтово-смолистых компонентов изменяется от 44.7 до 45.0 % на битумоид.

Принципиальных различий в распределении отдельных соединений — биомаркеров во фракции насыщенных углеводородов в зависимости от концентрации органического углерода в битумоидах из пород чурбигинской свиты не фиксируется.

Кривые распределения *n*-алканов одномодальные с максимумом на УВ C_{17} (16.1—27.8 % от суммы *n*-алканов) (рис. 3). Значения отношения концентраций углеводородов $n-C_{27}/n-C_{17} < 0.5$ (табл. 2). Среди алифатических изопренанов (C_{13} — C_{25}) преобладает фитан до 34.84 % на сумму углеводородов этого гомологического ряда, отношение концентраций пристана и фитана (Pr/Ph) меньше 1. Отношение суммы концентраций четных *n*-алканов к нечетным (CPI) составляет 1.09—1.18. Концентрация *n*-алканов превышает концентрацию алифатических изопренанов в 4—7 раз. Отмечено наличие во фракции алкилциклогексанов с максимальной концентрацией на УВ C_{19} и C_{21} (масс-фрагментограмма при $m/z = 83$) и в следовых количествах монометилалканов (масс-фрагментограмма при $m/z = 182$) (см. рис. 3).

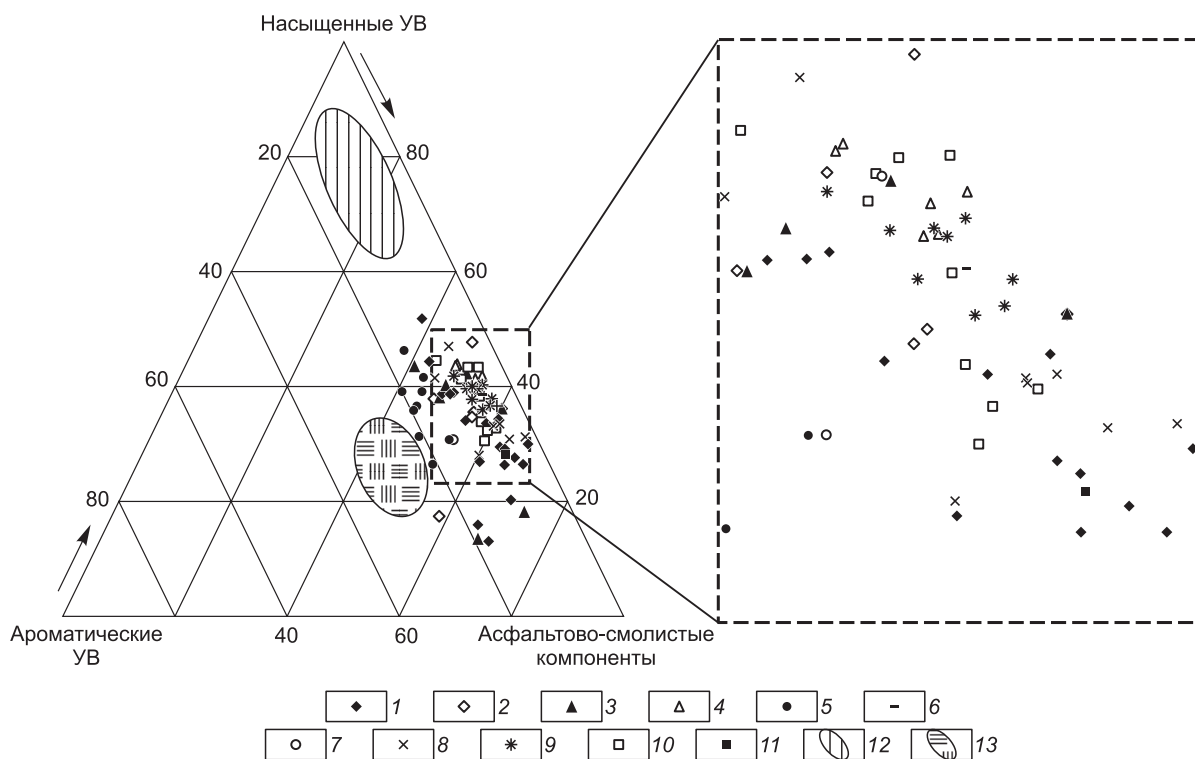
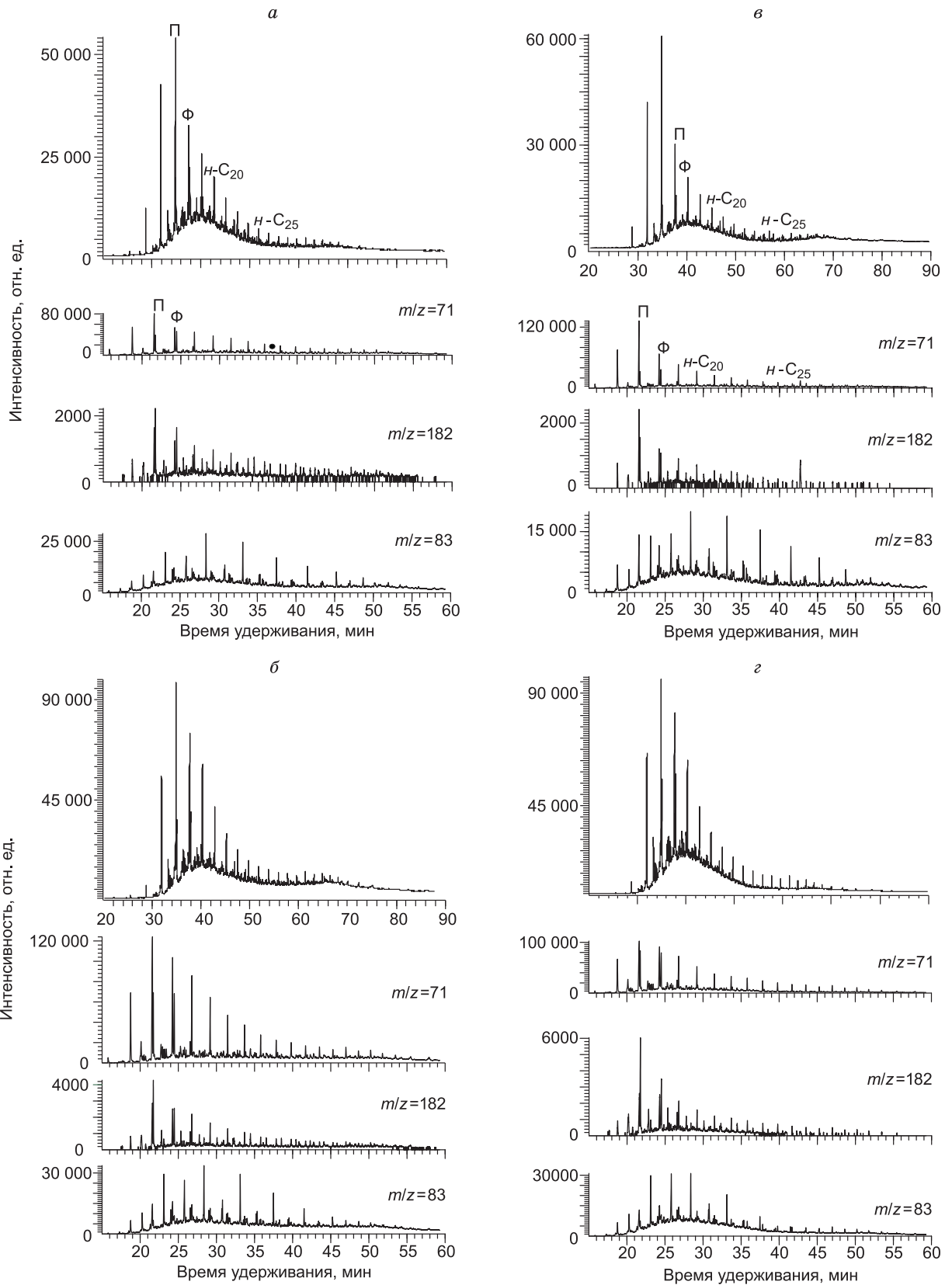


Рис. 2. Групповой состав автохтонных вендско-кембрийских битумоидов из скважин Восток-1, Восток-3.

1—6 — битумоиды скв. Восток-1 из свит: 1 — шеделгинская, 2 — кондесская, 3 — поделгинская, 4 — пуджелгинская, 5 — пайдугинская, 6 — чурбигинская; 7—11 — битумоиды скв. Восток-3 из свит: 7 — пайдугинская, 8 — чурбигинская, 9 — райгинская, 10 — котоджинская, 11 — пойгинская; 12, 13 — области группового состава аллохтонных битумоидов из скважин: 12 — Восток-1, 13 — Лемок-1, по [Конторович и др., 2000].

Рис. 3. Начало



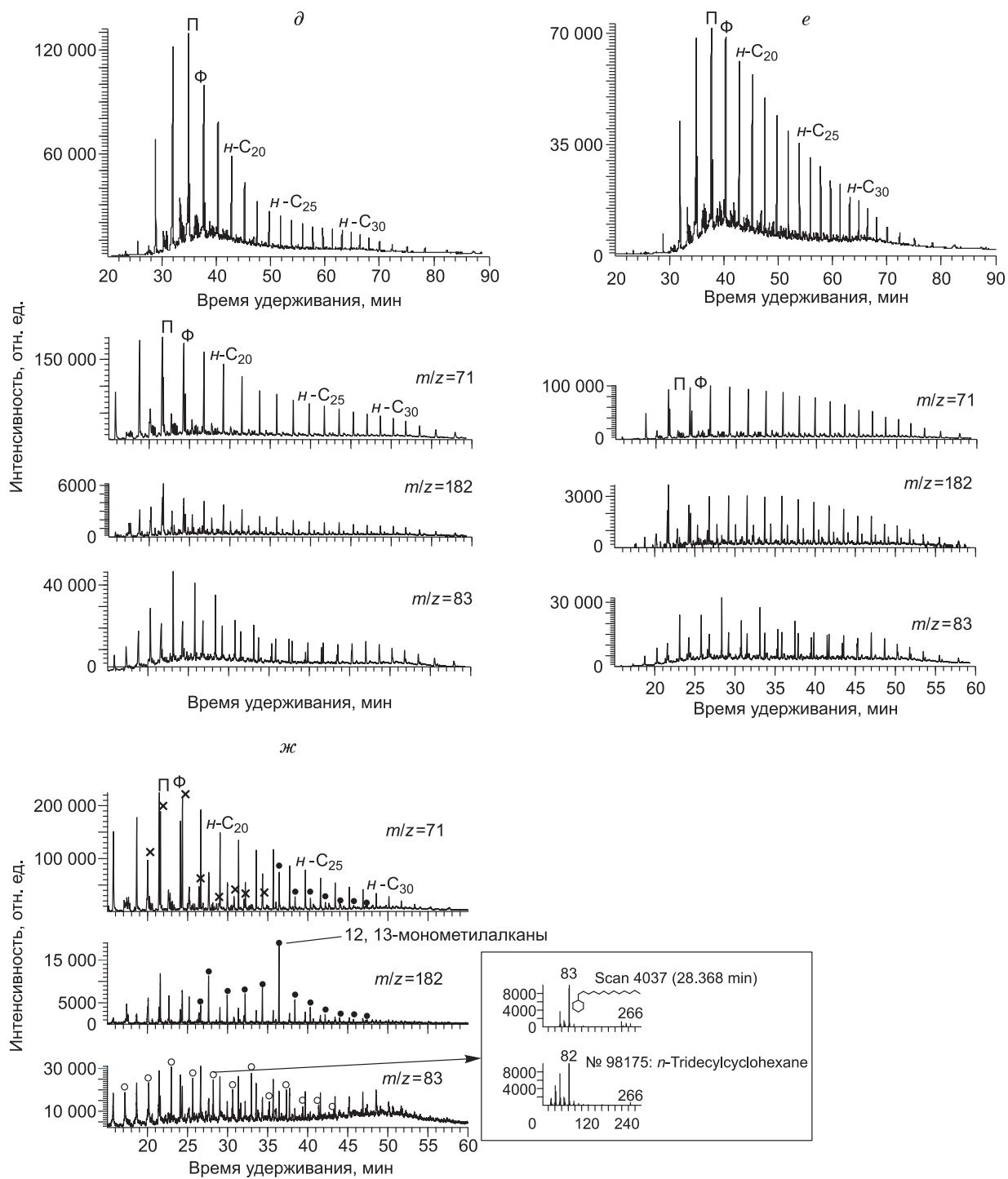


Рис. 3. Хроматограммы *n*-алканов и хромото-масс-фрагментогаммы *n*-алканов ($m/z = 71$), моно-метилалканов ($m/z = 182$) и циклогексанов ($m/z = 83$) в насыщенной фракции автохтонных кембрийских битумоидов Предъенисейской субпровинции.

a — чурбигинская свита, скв. Восток-3, глубина 3808.56 м; *б* — пайдугинская свита, скв. Восток-3, 3645.17 м; *в* — пуджелгинская свита, скв. Восток-1, 4816.84 м; *г* — поделгинская свита, скв. Восток-1, 4075.73 м; *д* — кондесская свита, скв. Восток-1, 3660.98 м; *е* — шеделгинская свита, скв. Восток-1, 3252.02 м; *жс* — Восточная Сибирь (V). П — пристан, Ф — фитан.

Таблица 2. Основные показатели состава углеводородов-биомаркеров в насыщенной фракции битумоидов кембрия

Скважина	Интервалы глубин (м), из которых отобраны керны на геохимические исследования	Система, тема, отдел	Ярус	Свита	Pr/Ph	n-C ₂₇ /i-C ₁₇	CPI*	Отношение стеранов C ₂₉ /C ₂₇	Ts/Tm	Отношение гопанов C ₃₃ /C ₃₄	Трициклические герпаны	
											% от суммы герпанов	ТЦИ**
Восток-1 Восток-3	5001 3674.2—3808.6	Є ₁	Томмотский и атдабанский	Чурбинская	0.81 (8) (0.46—1.02)	0.15 (8) (0.05—0.40)	1.14 (8) (1.09—1.18)	0.97 (8) (0.76—1.13)	0.94 (8) (0.69—1.13)	0.69 (8) (0.65—0.74)	47.10 (8) (35.23—66.02)	1.04 (8) (0.61—1.58)
Восток-1	4816.8—4276.7	Є ₂	Амгинский—майский	Пуджелгинская	1.13 (6) (1.02—1.25)	0.04 (6) (0.03—0.05)	1.16 (6) (1.12—1.21)	0.82 (6) (0.74—0.87)	0.97 (6) (0.84—1.08)	0.72 (6) (0.70—0.76)	66.16 (6) (61.76—68.71)	1.52 (6) (1.38—1.73)
Восток-1	3959.6—3661.0	Є ₃	Аюоканский и сакский	Кондесская	1.16 (6) (0.79—1.49)	0.06 (6) (0.03—0.11)	1.14 (6) (1.01—1.30)	0.84 (6) (0.69—0.91)	1.05 (6) (0.93—1.15)	0.75 (6) (0.68—0.84)	64.20 (6) (55.72—72.86)	1.42 (6) (1.37—1.48)

$$* CPI = ((C_{25} + C_{27} + C_{31} + C_{33}) / (C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34})) + (C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}) / 2.$$

$$** TCI = 2 \cdot (C_{19} + C_{20}) / \sum C_{23-26}$$

В составе стеранов (C₂₇—C₃₀) в максимальной концентрации находятся холестаны (до 41.6 % от суммы стеранов) (рис. 4). Концентрация этилхолестанов изменяется от 31.7 до 36.2 % от суммы стеранов. В образце с глубины 3674.23 м и в объединенном образце с глубин 3694.58 и 3696.81 м преобладают этилхолестаны — 37.3—37.4 % от суммы стеранов (C₂₉/C₂₇ = 1.10—1.13). Концентрация стерановых УВ C₂₈ и C₃₀ не превышает 24.0 и 6.5 % от суммы стеранов соответственно.

Среди углеводородов гомологического ряда терпанов концентрации гопанов изменяются от 29.7 до 60.5 и трицикланов — от 35.2 до 66.0 % от суммы терпанов (рис. 5, см. табл. 2). Концентрации моретанов и тетрацикланов не превышают 5 и 3 % от суммы терпанов соответственно. Среди гопанов и моретанов преобладают УВ C₃₀ (до 30.0 % от суммы гопанов и до 49.7 % от суммы моретанов). В составе трицикланов в максимальной концентрации находится углеводород C₂₃ (15.5—20.7 % от суммы трицикланов). В единичных образцах содержание УВ C₁₉ и C₂₀ составляет 12.3—13.6 % от суммы трицикланов (см. рис. 5), трициклановый индекс (2(C₁₉ + C₂₀)/ΣC_i; i = 23, 24, 25, 26) в подавляющем количестве изученных образцов меньше 1.0 (см. табл. 2).

Пайдугинская свита — ботомский—амгинский ярусы — в полном объеме выделена в разрезе скв. Восток-1, где ей отвечает интервал глубин 4945—4825 м и мощность 120 м (стратотип свиты). В разрезе скв. Восток-3 она вскрыта в интервале 3660—3635 м (неполная мощность 25 м), верхняя ее часть здесь размыта и на ней с перерывом залегают отложения малоомутлинской толщи, возраст которой достоверно не установлен.

В стратотипическом разрезе пайдугинская свита сложена черными, темно-серыми и коричнево-черными углерод- и пиритсодержащими карбонатно-глинистыми породами. В разрезе скв. Восток-3 преобладают черные карбонатно-глинисто-кремнистые, пиритсодержащие, углеродистые породы с прослоями углеродистых силицитов. В породах из разреза скв. Восток-1 присутствует антракосолит, образующий согласные, реже секущие (по трещинам) микрослои и микролинзы. В

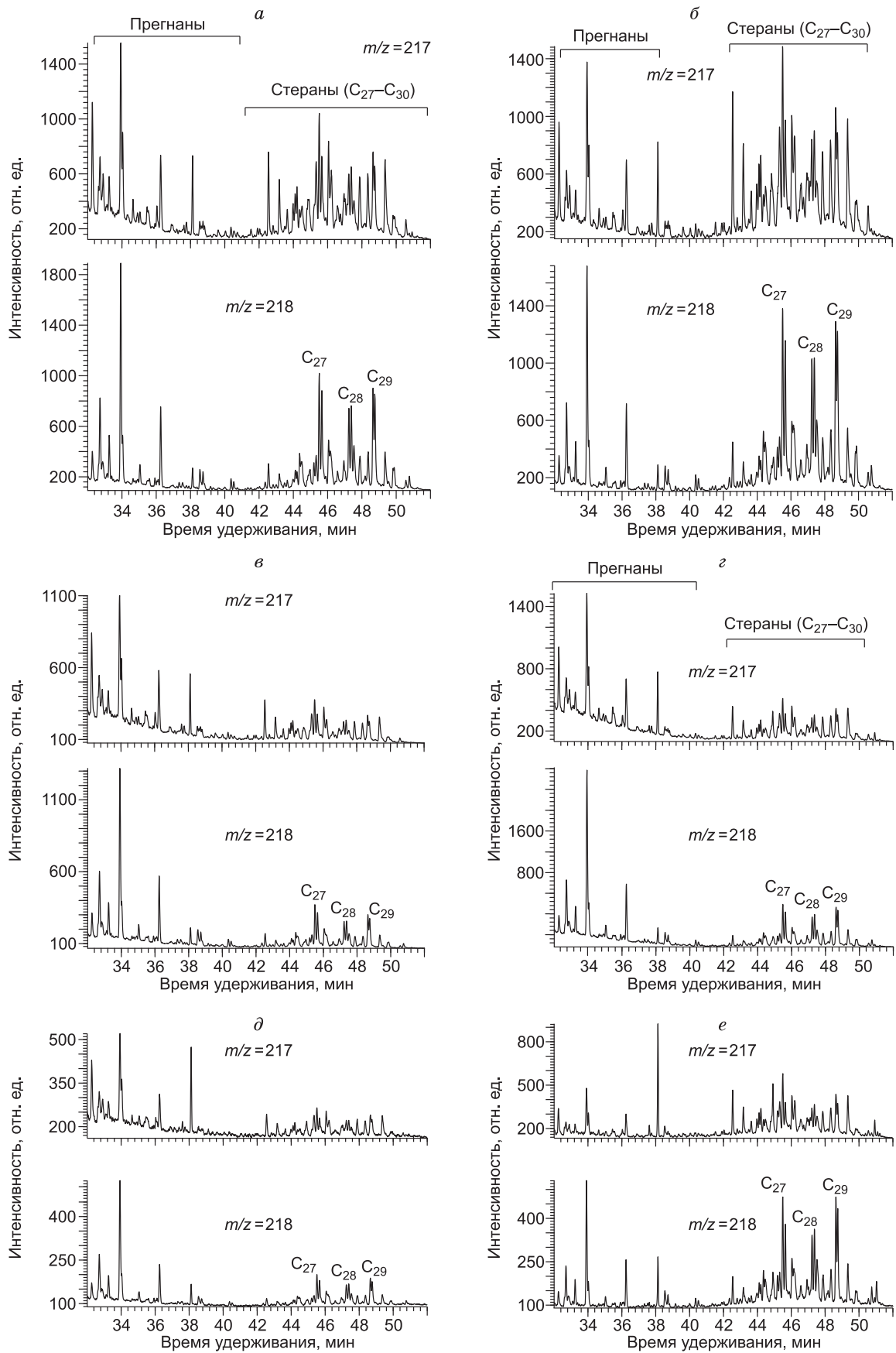


Рис. 4. Хромато-масс-фрагментограммы стеранов ($m/z = 217, 218$) насыщенной фракции автохтонных кембрийских битумоидов Предъенисейской субпровинции.

а—е — см. на рис. 3.

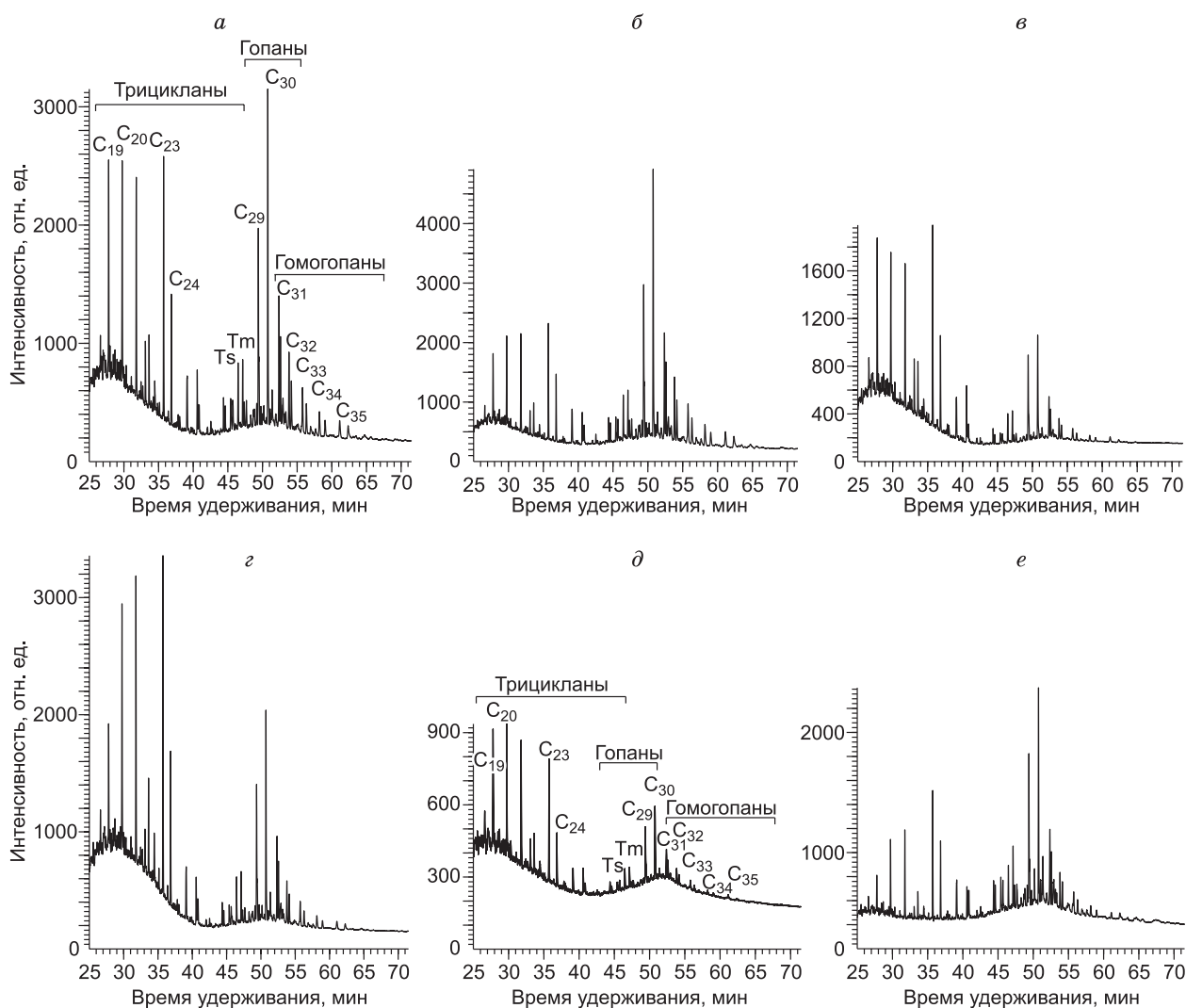


Рис. 5. Хромато-масс-фрагментограммы терпанов ($m/z = 191$) насыщенной фракции автохтонных кембрийских битумоидов Предьенсейской субпровинции.

a—e — см. на рис. 3.

разрезе скв. Восток-1 в средней части свиты (интервал 4891.0—4880.4 м) выделяется десятиметровый пакет неуглеродистых пород, аналогичных породам верхнечурбигинской подсвиты. По возрасту и фациальному облику пайдугинская свита является аналогом куонамской свиты на востоке Сибирской платформы [Геология..., 1981, Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2004; Конторович и др., 2009a].

Пористость и проницаемость пород пайдугинской свиты низкие: соответственно 0.1—1 % и от $<0.001 \cdot 10^{-3}$ до $0.2 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Концентрация органического углерода в подавляющем количестве образцов пород пайдугинской свиты повышенная (0.7—2.2 %), хлороформного экстракта от 0.003 до 0.009 % на породу. Битумоидный коэффициент органического вещества пайдугинской свиты низкий (0.2—0.8 %) (см. табл. 1). Содержание смол изменяется в битумоидах от 33.8 до 47.1 % на битумоид, асфальтенов — 3.5—6.5 %.

Из свиты изучено шесть образцов керогена. Содержание углерода в них равно 94.1—95.3 %, водорода — 1.94—4.21 %, что указывает на высокий катагенез — стадию АК₃. Этот уровень катагенеза отвечает значению отражательной способности витринита (R_{V1}^0 более 3.5 %). Изотопный состав углерода этих керогенов ($\delta^{13}C$ меняется от -30.7 до -34.1 ‰) указывает на его аквагенную природу (бактерио- и планктоногенную).

В большинстве изученных образцов пород (9 из 12) содержание углеводородов в битумоидах более 50 % (см. рис. 2), по относительной концентрации насыщенные УВ преобладают над ароматическими в 2—7 раз.

Гистограмма распределения *n*-алканов одномодальная с максимумом на УВ C₁₆ или C₁₇ (18.0—23.0 и 22.5—24.0 % соответственно) (см. рис. 3). Значения отношения концентраций УВ $n-C_{27}/n-C_{17} < 0.1$. Отношение сумм концентраций четных и нечетных *n*-алканов (CPI) составляет 1.1—1.2. Концентрация *n*-алканов превышает алифатические изопренаны в 4.0—5.5 раза. Отношение Pr/Ph в битумоидах изменяется от 0.75 до 1.55.

Как и в битумоидах чурбигинской свиты, во фракции насыщенных углеводородов пайдугинской свиты установлено наличие алкилциклогексанов с максимальной концентрацией на УВ C₁₉ (масс-фрагментограмма при $m/z = 83$) и монометилалканов (масс-фрагментограмма при $m/z = 182$) (см. рис. 3).

В составе стеранов (C₂₇—C₃₀) в максимальной концентрации находятся холестаны (до 45.5 % от суммы стеранов) (см. рис. 4, табл. 2). Концентрация этилхолестанов меняется в интервале 29—36 % от суммы стеранов. Концентрация УВ C₂₈ и C₃₀ не превышает 24 и 6 % от суммы стеранов соответственно.

Относительные концентрации трицикланов и гопанов в % от суммы терпанов меняются в широких пределах — 34.7—66.2 и 29.0—60.5 % от суммы терпанов соответственно (см. рис. 5). На моретаны и тетрацикланы приходится не более 5 % от суммы терпанов. Среди гопанов и моретанов преобладают УВ C₃₀ (до 30.0 % от суммы гопанов и до 48.1 % от суммы моретанов).

В составе трицикланов в максимальной концентрации находится углеводород C₂₃ (15.0—22.3 % от суммы трицикланов). В большинстве образцов содержание УВ C₁₉ и C₂₀ составляет от 12.0 до 19.0 % от суммы трицикланов (см. рис. 5), трициклановый индекс $(2(C_{19} + C_{20})/\Sigma C_i; i = 23, 24, 25, 26)$ в большинстве изученных образцов меньше 1.3. В единичных образцах он меняется от 1.4 до 2.0 (см. табл. 2).

Пуджелгинская свита — амгинский—майский ярусы (скв. Восток-1, интервал 4825—4250 м, мощность 575 м) — представлена чередованием мощных пакетов розовато-серых пелитоморфных известняков и зеленовато-серых, вишневых карбонатно-глинистых пород с седиментационно нарушенным и ненарушенным переслаиванием и более редких интракластовых брекчий, песчаников и калькарениитов. Окраска пород обусловлена главным образом примесью глинистого вещества и тонкодисперсных окисных минералов железа. В редких прослоях калькарениитов с коричневым углеродистым пигментом иногда присутствуют линзочки метаморфизованных нафтидов (антраксолит?) и пирита, а в стилолитах — черное углеродистое вещество.

Пористость и проницаемость пород пуджелгинской свиты низкая. На основании многочисленных лабораторных измерений пористость изменяется от 0.1 до 0.9 %, а проницаемость от $<0.001 \cdot 10^{-3}$ до $1.7 \cdot 10^{-3}$ мкм².

В пуджелгинской свите содержание органического углерода изменяется от 0.06 до 0.10 % на породе, выход битумоидов — 0.001—0.003 % на породу (см. рис. 1, табл. 1). Значения битумоидного коэффициента изменяются от 1.3 до 4.8 %. В составе битумоидов концентрации углеводородов равны 46.6—52.3 % и асфальтово-смолистых компонентов — 47.7—53.2 % (см. рис. 2). Содержание асфальтенов изменяется от 6.20 до 7.70 % на битумоид, значения отношения масс насыщенных и ароматических УВ — от 5.8 до 11.0.

Гистограмма распределения *n*-алканов одномодальная с максимумом на УВ C₁₇ (25.7—30.8 % от суммы *n*-алканов) (см. рис. 3). Отношение сумм концентраций четных к нечетным *n*-алканам (CPI) составляет 1.1—1.2. Значения отношения концентраций алканов $n-C_{27}/n-C_{17} = 0.03—0.05$. Концентрация *n*-алканов превышает алифатические изопренаны в 5—6 раз. Отношение Pr/Ph в битумоидах изменяется от 1.0 до 1.3.

Как и в более древних свитах изученных разрезов кембрия, в битумоидах пуджелгинской свиты установлено наличие во фракции насыщенных углеводородов алкилциклогексанов с максимальной концентрацией на УВ C₁₉ и C₂₁ (масс-фрагментограмма при $m/z = 83$) и в следовых количествах монометилалканов (масс-фрагментограмма при $m/z = 182$) (см. рис. 3).

В насыщенной фракции битумоидов среди стеранов в наибольшей концентрации находятся холестаны (39.2—42.2 % от суммы стеранов) (см. рис. 4). Содержание этилхолестанов составляет 31.1—34.2 % от суммы стеранов. Концентрации стерановых УВ C₂₈ и C₃₀ не превышают 24 и 4 % от суммы стеранов соответственно.

В составе терпанов преобладают трицикланы (61.8—68.7% от суммы терпанов), содержание гопанов всего 27.4—34.0% от суммы терпанов (рис. 5). На моретаны и тетрацикланы приходится не более 3.5% от суммы терпанов для каждого гомологического ряда. Среди гопанов и моретанов преобладают УВ C₃₀ (до 28.5 % от суммы гопанов и 49.3 % от суммы моретанов). В составе трицикланов в максимальной концентрации находятся углеводороды C₂₃ (17.0—19.0 %), C₁₉ (12.0—14.6 %), C₂₀ (13.6—15.4 % от суммы трицикланов) (см. рис. 5). Трициклановый индекс $(2(C_{19} + C_{20})/\Sigma C_i; i = 23, 24, 25, 26)$ в пуджелгинских битумоидах высокий. Он меняется от 1.4 до 1.7 (см. табл. 2).

Поделгинская свита — майский ярус (скв. Восток-1, интервал 4250—4005 м, мощность 245 м) разделена на две подсвиты. В нижней подсвите мощностью 160 м преобладают светло-вишневые доларенииты с силикокластикой и близкие к ним силикокластические карбонатсодержащие песчаники. В ред-

ких прослоях песчаников черное углеродистое вещество (антракосолит?) полностью заполняет межзерновое пространство.

В верхней подсвите мощностью 85 м состав отложений более разнообразный. Наиболее распространены темно-серые и коричнево-серые ангидритистые, слабоглинистые пелитоморфные доломиты и доломиты, тонкокристаллические ангидритистые эвапоритовые доломиты с прослоями в верхней части подсвиты светло-вишневых оолитовых известняков, калькаренитов и силикокластических песчаников. В нижней части подсвиты вскрыты нефтенасыщенные ангидритсодержащие доломиты. Визуально нефтенасыщенность отложений уменьшается снизу вверх от основания верхней подсвиты. Это проявляется в изменении окраски пород — от темно-коричневой, черной внизу до серой, зеленой, светло-вишневой сверху.

Породы поделгинской свиты характеризуются невысокой пористостью, при этом максимальная пористость пород нижней подсвиты выше (до 3.4 %), чем верхней (до 1.9 %). Проницаемость отложений поделгинской свиты низкая — преобладают величины $<0.001 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Содержание органического углерода в большинстве образцов поделгинской свиты изменяется от 0.04 до 0.25 % на породу, хлороформенного битумоида — от 0.002 до 0.006 % на породу, значение битумоидного коэффициента — от 2.4 до 5.3 % (см. рис. 1, табл. 1). В образцах с глубин 4073.9 и 4076.16 м концентрации органического углерода несколько выше — 0.35—0.70 % на породу и хлороформенного битумоида — 0.016—0.035 % на породу, битумоидный коэффициент равен 4.6—4.8 % (см. рис. 1, табл. 1).

Из свиты изучен один образец керогена. Содержание углерода в нем равно 93.48 %, водорода — 3.28 %, что указывает на высокий катагенез — стадию АК₃. Этот уровень катагенеза отвечает значению отражательной способности витринита (R_{Vt}^0 более 3.5 %). Изотопный состав углерода этого керогена ($\delta^{13}C = -30.8$ ‰) указывает на его аквагенную природу (бактерио- и планктоногенную).

Концентрации углеводородов в битумоидах поделгинской свиты изменяются от 27.3 до 59.5 %, смол — от 30.2 до 62.6 %, асфальтенов от 10.1 до 20.2 %. Отношение концентраций смол и асфальтенов равно 1.5—6.2. Отношение масс насыщенных УВ к ароматическим равно 0.7—11.5.

Гистограммы распределения *n*-алканов в битумоидах свиты одномодальные с максимумом на УВ C₁₇ (11.1—26.2 % от суммы *n*-алканов) (см. рис. 3). Отношение концентраций четных *n*-алканов к нечетным равно 1.0—1.3. Значения отношения концентраций УВ *n*-C₂₇/*n*-C₁₇ изменяются от 0.01 до 0.20. Концентрация *n*-алканов превышает концентрацию алифатических изопренанов в 3.0—4.5 раза. Отношение Pr/Ph в битумоидах составляет 1.1—1.4 (см. табл. 2).

В битумоидах поделгинской свиты установлено наличие во фракции насыщенных углеводородов алкилциклогексанов с максимальной концентрацией на УВ C₁₉ и C₂₁ (масс-фрагментограмма при $m/z = 83$) и в следовых количествах монометилалканов (масс-фрагментограмма при $m/z = 182$) (см. рис. 3).

В насыщенной фракции большинства битумоидов среди углеводородов гомологического ряда стеранов в наибольшей концентрации находятся холестераны (36.8—39.7 % от суммы стеранов) (см. рис. 4). Концентрация этилхолестеранов такая же или несколько меньше и составляет 33.5—36.3 %. На метил- и пропилохолестераны приходится 22—24 и 3—5 % от суммы стеранов соответственно.

В составе терпанов в максимальной концентрации находятся трицикланы (58.1—73.6 % от суммы терпанов) (см. рис. 5, табл. 2). Содержание гопанов равно 22.8—37.8 % от суммы терпанов. В битумоиде с глубины 4073.91 м содержания трицикланов и гопанов равны (46.96 против 46.60 % от суммы терпанов). Концентрация моретанов и тетрацикланов не превышает 3.5 % от суммы терпанов. В составе гопанов и моретанов преобладают УВ C₃₀ (до 29.39 % от суммы гопанов и 47.60 % от суммы моретанов). Среди углеводородов гомологического ряда трицикланов в максимальной концентрации находятся углеводороды C₂₃ (16.1—20.8 %), C₂₀ (10.9—15.6 % от суммы трицикланов) (см. рис. 5). Трициклановый индекс $(2(C_{19} + C_{20})/\Sigma C_i; i = 23, 24, 25, 26)$ в большинстве поделгинских битумоидов меньше 1.2 (см. табл. 2). В единичных образцах он больше 1.8.

ВЕРХНИЙ КЕМБРИЙ

Кондесская свита — аюсокканский и сакский ярусы (скв. Восток-1, интервал 4005—3600 м, мощность 405 м) — сложена оолитовыми калькаренитами, кальциллитами с прослоями пелитоморфных глинистых, ангидритистых известняков, редко карбонатсодержащих аргиллитов. Отложения имеют пеструю окраску: темно-серую, коричнево-серую, зелено-серую, вишневую. Ее создают углеродистый материал, тонкодисперсные и окисные минералы железа.

Перекристаллизации в оолитовых калькаренитах подвергся в основном базальный, порово-базальный микритовый цемент и в меньшей степени оолиты. Последние содержали тонкодисперсное битумное вещество, которое при перекристаллизации концентрировалось на поверхности оолитов, по гра-

ницам новообразованных кристаллов или по концентрическим и радиальным микротрещинам внутри оолитов. Накопление углеродистого вещества происходило также в шовных зонах стилолитов.

Пористость пород конденсской свиты изменяется от 0.1 до 3.1 %, проницаемость от $<1.0 \cdot 10^{-3}$ до $2.4 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Содержание органического углерода в породах свиты низкое. Оно составляет 0.04—0.15 % на породу, хлороформенный битумоид — 0.002—0.010 % на породу, битумоидный коэффициент равен 2.8—7.1 % (см. табл. 1, рис. 1). Углеводороды и смолы находятся в битумоидах в близких концентрациях — 41.0—53.1 и 41.3—55.0 % соответственно (см. рис. 2). Соотношение концентраций насыщенных и ароматических УВ изменяется от 0.8 до 18.9. Концентрация асфальтенов равна 4.5—5.6 % на битумоид. Содержание смол превышает асфальтены в 7.4—12.2 раза.

Гистограммы распределения *n*-алканов одномодальные с максимумом на УВ C₁₆—C₁₇ (16.10—33.25 % от суммы *n*-алканов) (см. рис. 3). Значения отношения концентраций углеводородов *n*-C₂₇/*n*-C₁₇ = 0.03—0.10. Отношение концентраций *Pr*/*Ph* в битумоидах изменяется от 0.8 до 1.5. Отношение концентраций четных *n*-алканов к нечетным равно 1.0—1.3. Концентрация *n*-алканов превышает изопреноиды в 3.0—6.9 раза. Отмечено (масс-фрагментограмма *m/z* = 83) присутствие в составе углеводородов алкилциклогексанов с максимальной концентрацией на нечетных УВ C₁₇, C₁₉ или C₂₁. В следовых концентрациях в битумоидах идентифицированы монометилалканы (масс-фрагментограмма *m/z* = 182) (см. рис. 3).

Во фракции насыщенных углеводородов среди стеранов преобладают холестераны C₂₇ (37.6—43.8 %) и этилхолестераны (30.4—35.0 % от суммы стеранов) (см. рис. 4, табл. 2). Значения отношений концентраций стеранов C₂₉/C₂₇ < 1 (см. табл. 2, рис. 4). Концентрации стеранов C₂₈ и C₃₀ составляют 21.6—25.5 и 3.7—4.9 % соответственно от суммы углеводородов этого гомологического ряда.

В составе терпанов в максимальной концентрации находятся трицикланы (55.7—72.9 % от суммы терпанов), содержание гопанов всего 26.8—37.8 % (см. табл. 2, рис. 5). Концентрации моретанов и тетрацикланов не превышают 3 % от суммы терпанов. В гопанах и моретанах преобладают УВ C₃₀ (до 29.3 % от суммы гопанов и 47.6 % от суммы моретанов). Среди углеводородов ряда трицикланов в максимальной концентрации находятся углеводороды C₂₃ (15.5—25.3 % от суммы трицикланов), C₁₉ (от 12.0 до 15.2 % в большинстве образцов), C₂₀ (от 12.3 до 17.0) (см. рис. 5). Трицикловый индекс $(2(C_{19} + C_{20})/\Sigma C_i; i = 23, 24, 25, 26)$ в большинстве конденсских битумоидов меняется от 1.3 до 1.5 (см. табл. 2).

Залегающие выше шеделгинская и пыжинская свиты сложены красноцветными и пестроцветными глинисто-карбонатными породами.

Содержания органического углерода и хлороформенного битумоида в породах шеделгинской свиты изменяются от 0.02 до 0.25 % и от 0.001 до 0.017 % соответственно, битумоидный коэффициент 1.0—10.8 % (см. рис. 1, табл. 1). Концентрация углеводородов в битумоидах меняется от 30.6 до 62.3 % на битумоид. Значение отношения концентраций насыщенных и ароматических УВ равно 0.8—17.5 (см. рис. 2). Концентрация асфальтенов в шеделгинских битумоидах низкая — 2.6—8.9 %. Отношение массы смол к асфальтенам меняется от 4.0 до 13.5.

Гистограммы распределения *n*-алканов одномодальные с максимумом на УВ C₁₇ (10.0—25.9 % от суммы *n*-алканов) или C₁₈ (10.2—13.0 % от суммы *n*-алканов) (см. рис. 3). Значения отношения концентраций углеводородов *n*-C₂₇/*n*-C₁₇ < 0.5. Отношение концентраций пристана и фитана в битумоидах изменяется от 0.7 до 1.3. Отношение концентраций четных и нечетных *n*-алканов равно 1.0—1.3. Концентрация нормальных алканов превышает алифатические изопренаны в 3.0—8.5 раза. Как и в более древних кембрийских толщах, среди углеводородов в относительно невысоких концентрациях присутствуют алкилциклогексаны и монометилалканы (см. рис. 3).

Среди углеводородов гомологического ряда стеранов в большинстве изученных образцов по концентрации преобладает холестеран C₂₇ либо концентрации холестерана и этилхолестерана близки (36.5—39.4 % от суммы стеранов). В этой части образцов концентрация этилхолестерана 32.2—37.1 % (см. рис. 4). Значения отношения стеранов C₂₉/C₂₇ < 1 (см. табл. 2). В остальных битумоидах преобладает этилхолестеран (до 54.0 % от суммы стеранов). Значения отношения стеранов C₂₉/C₂₇ изменяются от 1.4 до 2.5. На стераны C₂₈ и C₃₀ приходится 19.0—24.6 и 2.4—6.6 % от суммы стеранов соответственно.

В составе терпанов соотношение трицикланов и гопанов меняется в очень широких пределах: трицикланы — от 27.3 до 93.9 %, гопаны — от 4.6 % до 63.3 %. В большей части изученных образцов трицикланы преобладают по концентрации над гопанами (см. рис. 5). Концентрации моретанов и тетрацикланов не превышают 8 % от суммы терпанов. В гопанах и моретанах преобладают УВ C₃₀ (до 35.0 % от суммы гопанов и 52.4 % от суммы моретанов). В составе трицикланов в максимальной концентрации находятся углеводороды C₂₃ (14.0—22.6 % от суммы трицикланов), C₂₀ (>10.0 % примерно в половине образцов). Содержание УВ C₁₉ и C₂₀ изменяется от 2.8 до 29.5 % от суммы трицикланов (см. рис. 5). Трицикловый индекс $(2(C_{19} + C_{20})/\Sigma C_i; i = 23, 24, 25, 26)$ в большинстве шеделгинских битумоидов меньше единицы (см. табл. 2).

В породах пыжинской свиты было определено только содержание органического углерода, которое изменяется от 0.04 до 0.11 % на породу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты являются основой для построения геохимически обоснованной схемы прогноза нефтегазоносности кембрия в Предъенисейском осадочном бассейне, на левобережье Енисея.

В разрезах кембрия, вскрытых скважинами Восток-1 и Восток-3, богаче всего органическим веществом углеродистые породы чурбигинской и пайдугинской свит. Во всем разрезе органическое вещество представлено аквагенными разностями (бактерио- и планктоногенными). На это указывает высокая концентрация в составе керогена изотопа ^{12}C ($\delta^{13}\text{C}$ меняется от -32.0 до -34 ‰) и состав насыщенной фракции углеводородов (*n*-алканы, алифатические изопренаны, стераны, трицикланы).

Биологический состав фоссилизировавшегося органического вещества в кембрийских морских бассейнах не оставался постоянным. На это, в частности, указывает разброс в соотношении холестанов и этилхолестанов, гопанов и трицикланов, а также распределение трицикланов (отдельных молекулярных масс).

Накапливавшееся в кембрийских бассейнах планктоногенное органическое вещество подвергалось в процессе диагенеза осадков существенной бактериальной переработке. Судя по высокой концентрации гопанов в составе терпанов, особенно значительна масса бактериогенного органического вещества в отдельных горизонтах чурбигинской, пайдугинской и шеделгинской свит. В процессе диагенетических превращений органического вещества при бактериальном восстановлении сульфатной серы вод морских водоемов одновременно происходило образование сероорганических соединений в составе керогенов и битумоидов. Косвенным подтверждением таких процессов является высокое содержание пирита в породах и серы (до 2 %) в некоторых керогенах пайдугинской свиты.

Все это в совокупности указывает на значительный начальный генерационный потенциал органического вещества, захоронившегося в кембрии в ископаемых осадках на восточном (в современных координатах) мелководном шельфе окраинных морей Палеоазиатского океана.

Высокий современный уровень катагенеза органического вещества во вскрытых скважинами Восток-1 и Восток-3 породах кембрия Предъенисейского осадочного бассейна, а также распределение битумоидов в породах (значительные вариации в соотношении углеводородов и асфальто-смолистых компонентов, наличие жидких и метаморфизованных до стадии антраксолита(?) — твердых нафтидов) указывают на то, что органическое вещество в этих отложениях в процессе катагенеза прошло главную фазу нефтеобразования и глубинную фазу газообразования. Есть все основания считать, что процессы первичной и вторичной миграции битумоидов в толщах нижнего и среднего кембрия протекали весьма интенсивно. Более того, наличие многочисленных проявлений твердых нафтидов (антраксолиты?), описанных выше, позволяет сделать вывод, что они уже будучи фазово-обособленными образованиями жидких углеводородов и гетероциклических соединений (смола + асфальтены) подверглись глубокому метаморфизму.

Значительный катагенез кембрийских осадочных комплексов и низкий катагенез органического вещества в мезозойских отложениях (скачок в уровне катагенетических преобразований на границе мезозой—палеозой) [Конторович и др., 2009в] позволяют считать, что катагенетические преобразования породы кембрия и рассеянное в них органическое вещество претерпели в доюрские геологические эпохи. Это, в свою очередь, указывает на значительные мощности палеозойских отложений, перекрывающих кембрий в доюрские эпохи и размытых во второй половине палеозоя или в начале мезозоя (триас), а также вероятно, на существенно более высокий тепловой поток в рассматриваемых регионах в раннем и среднем палеозое. Представляет интерес выполнить математическое моделирование этих процессов для выбора условий, адекватно описывающих происходившие процессы.

Возникает вопрос, почему в породах кембрия изученных разрезов одновременно находятся нафтиды, доведенные до состояния антраксолитов, и битумоиды, растворимые в органических растворителях. Наиболее естественное объяснение сводится к следующему. Нафтиды, которые образовались на ранних стадиях катагенеза, подверглись метаморфизму, и продуктами их превращений являются антраксолиты, выявленные в ряде горизонтов кембрия. Что касается битумоидов, содержащих мигрантно способные углеводороды, то они являются продуктами генерации на поздних стадиях катагенеза, сопровождавших интенсивную генерацию углеводородных газов, вначале жирных, конденсатных, а затем сухих. При этом их источником могли быть как рассеянное органическое вещество, так и смолисто-асфальтеновые компоненты нафтидов. В ходе метаморфизма последних образовывались не только антраксолиты, но и жидкие, и газообразные углеводороды.

Если это предположение является правильным, то в отложениях кембрия Предъенисейского бассейна могут быть встречены залежи двух типов. Первый тип — залежи тяжелых, смолистых нефтей. Это

остаточные продукты после вертикальной миграции газов и легких фракций нефтей. Второй тип — образующиеся при высоком катагенезе скопления легких нефтей с конденсатным газом.

Для оценки вероятных ресурсов углеводородов этого бассейна требуются дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

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—220 (Тр. ВНИГРИ, вып. 128).

Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. М., Недра, 1981, 552 с.

Каширцев В.А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. Якутск, Изд-во ЯФ СО РАН, 2003, 160 с.

Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. Распределение стабильных изотопов углерода в седикахитах различной генетической природы // Геология и геофизика, 1985 (7), с. 3—11.

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., Конторович В.А., Филиппов Ю.Ф., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Вольчак В.И., Евграфов А.С., Ефимов А.С., Каштанов В.А., Конторович А.А., Петров В.Н., Хоменко А.В. Предъенисейская нефтегазоносная область — новый перспективный объект поисков нефти и газа в Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2006, № 5—6, с. 9—23.

Конторович А.Э., Конторович В.А., Варламов А.И., Клец А.Г., Ефимов А.С., Коровников И.В., Сараев С.В., Сенников Н.В., Филиппов Ю.Ф., Вараксина И.В., Тимохин А.В. Новый тип разреза кембрия в основании домезозойского комплекса Западно-Сибирского бассейна по результатам бурения параметрической скважины Восток-1 на севере Томской области // Докл. РАН, 2009а, т. 424, № 3, с. 358—362.

Конторович А.Э., Соколов Б.С., Конторович В.А., Варламов А.И., Гражданкин Д.В., Ефимов А.С., Клец А.Г., Сараев С.В., Терлеев А.А., Беляев С.Ю., Вараксина И.В., Карлова Г.А., Кочнев Б.Б., Наговицин К.Е., Постников А.А., Филиппов Ю.Ф. Первый разрез венда в комплексе основания Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна (по результатам бурения параметрической скважины Восток-3 на востоке Томской области) // Докл. РАН, 2009б, т. 424, № 6, с. 788—791.

Конторович А.Э., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Фомин А.Н. Геохимические критерии нефтегазоносности мезозойских отложений юго-востока Западной Сибири (по результатам бурения скважин Восток-1, 3, 4) // Геология, поиски и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2009в, № 1, с. 4—12.

Неручев С.Г. Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. Л., Недра, 1969, 240 с.

Парфенова Т.М., Бахтуров С.Ф., Шабанов Ю.Я. Органическая геохимия нефтепроизводящих пород куонамской свиты кембрия (восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 911—923.

Рекомендована к печати 9 ноября 2010 г.

В.А. Каширцевым

Поступила в редакцию

25 октября 2010 г.