

УДК 550.4:552.578.061.32(571.5-18)

Парфенова Т.М., Каширцев В.А., Коровников И.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, ParfenovaTM@ipgg.sbras.ru, KashircevVA@ipgg.sbras.ru, KorovnikovIV@ipgg.sbras.ru

НОВЫЕ НАХОДКИ НАФТИДОПРОЯВЛЕНИЙ В ПОРОДАХ СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Представлены результаты геохимического исследования новых находок нафтидов в среднекембрийских отложениях на склонах Мунского свода. На основании изучения молекулярного состава показано, что обнаруженные в породах паравтохтонные и аллохтонные битумоиды, а также битумы генерированы породами куонамской свиты нижне-среднего кембрия. Обсуждается миграция кембрийских нафтидов на северо-востоке Сибирской платформы.

Установлено, что уровень зрелости нафтидопроявлений, обнаруженных в разрезах на р. Муна и р. Молодо ниже, чем в обнажениях бассейна р. Кюленке. Особенности их состава свидетельствуют, что некоторые из них в разной степени биодеградированы.

Ключевые слова: геохимия, нафтиды, биомаркеры, катагенез, генерация, миграция, биодеградация, кембрий, Сибирская платформа.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование геохимии нафтидопроявлений кембрийских отложений Сибири было начато в 1930-х годах. Впервые их распространение, особенности состава и содержание в породах Анабарской и Алданской антеклиз изучали Г.Г. Григорьев, Ф.Г. Гурари, Д.С. Несвит, В.М. Сенюков, С.П. Ситников, Н.П. Туаев, В.Г. Пуцилло, П.И. Санин, В.А. Успенский, С.П. Успенский, А.С. Чернышев, О.В. Флерова и др. В основном результаты этих работ были опубликованы после Великой Отечественной войны. В конце 1950-х годов битумопроявления нижнего кембрия северного склона Алданской антеклизы исследовали под руководством Н.А. Архангельской, К.К. Зеленова, С.Г. Неручева, южного склона Анабарской антеклизы – К.К. Демюкидова, М.К. Калинин, К.К. Макарова, В.А. Первунского, В.В. Поддубного и др. В 1960-1970-х годах к изучению геохимии нефтей и битумов Сибирской платформы занимались Т.К. Баженова, Л.С. Беляева, Д.А. Биккенина, Н.И. Богородицкая, Д.И. Дробот, И.С. Гольдберг, С.А. Кащенко, А.Э. Конторович, О.Ф. Стасова, позднее В.А. Каширцев, Б.А. Клубов и многие их коллеги [Баженова и др., 1981; Геология нефти..., 1981; Каширцев, 2003; Клубов, 1983]. Битумопроявления наблюдали в светлых, как правило, карбонатных отложениях, и в черных сланцах

куонамской, иниканской, синской свит нижнего и среднего кембрия. Часто обнаруживали битумы на границе черносланцевых толщ с подстилающими и перекрывающими породами.

Региональное изучения литологии, палеонтологии, стратиграфии, палеогеографии, геохимии нефтепроизводивших отложений в Западной и Восточной Сибири началось во второй половине XX века. До 1970-х годов используемые битуминологические методы не позволяли достоверно определять источник нафтидов. В 70-80-е годы XX века А.Э. Конторович и О.Ф. Стасова показали, что как битумы в пределах Оленекского поднятия и Алданской антеклизы, так и битумоиды горючих сланцев кембрия содержат большие количества ванадиловых и никелевых порфиринов [Геология нефти..., 1981]. Это послужило подтверждением образования нафтидов породами куонамской толщи. Позже Л.В. Рядовая и О.В. Серебренникова изучали битумы в виде корочек и натеков на поверхностях листоватых горючих сланцев, а также заполнивших трещины известково-кремнистых пород куонамского горизонта в обнажениях на р. Малая Куонамка. Исследованные ими порфирины этих битумов имели близкие характеристики с таковыми битумоидами сингенетического органического вещества (ОВ) куонамской свиты. В дальнейшем следы миграции нефтей из черносланцевых кембрийских отложений изучали с применением сравнительного анализа индивидуальных насыщенных углеводородов (УВ), ароматических соединений и изотопов органического углерода компонентов ОВ [Баженова и др., 1981; Каширцев, 2003; Каширцев, Конторович, 2006; Клубов, 1983; Парфенова, 2005]. Было выделено потенциальное генетическое семейство нефтей, генерированных куонамским комплексом [Геология нефти..., 1981; Каширцев, 2003; Конторович и др., 2005].

В настоящей работе обсуждаются особенности состава, природа и распространение новых находок нафтидопроявлений в породах среднего кембрия на территории Мунского свода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Коллекция пород была отобрана Т.М. Парфеновой и И.В. Коровниковым в 2005 г. на двух обнажениях левого и правого берегов р. Кюленке (левый приток р. Лена) в 10 км ниже устья руч. Хороонхо (рис. 1) из средней и верхней части куонамской и нижней части оленекской свит среднего кембрия. Биостратиграфическое расчленение проведено на основе распределения трилобитов. При проведении ярусных и зональных границ использована стратиграфическая схема [Решения Всесоюзного..., 1983]. Разрез куонамской свиты р. Кюленке в составе трех стратиграфических горизонтов: амыдайского (18,0-19,0 м), малокуонамского (1,6 м) и маспакыйского (3,4-3,6 м), представлен чередованием тонкослоистых горючих сланцев, плитчатых и массивных черных известняков и силицитов, а

также пород смешанного состава. В куонамской свите найдены темно-коричневые блестящие битумы в заполненных кальцитом трещинах, секущих черные сланцы маспакыйского горизонта (обр. К-1-7а). Натёки черных битумов обнаружены на плитках углеродистых пород (обр. К-1-7в) на границе амыдайских и малокуонамских отложений. В дайке долеритов, секущей амыдайский горизонт, черный блестящий битум наблюдали на поверхностях трещин, покрытых кальцитом (обр. К-2-5а).

В обнажении на руч. Орто-Кюленке (левый приток р. Кюленке) битумы были найдены В.А. Каширцевым (см. рис. 1). Нафтидопроявления зафиксированы в кавернах светло-серого известняка оленекской свиты (обр. КЛ-1/1) и дайке долеритов, секущих оленекские отложения (обр. КЛ-3/8). Пробы извлечены из пород, удаленных от кровли куонамской свиты приблизительно на 10 м. Жидкий битум темно-коричневого цвета обнаружен В.А. Каширцевым в сидеритовой конкреции кровельной части амыдайского горизонта куонамской свиты на р. Муна (см. рис. 1).

Породы дробили до 0,25 мм. Обработывали 10% соляной кислотой для получения нерастворимого остатка (НО). На экспресс-анализаторе АН-7529 методом сжжения в кислороде проб НО определяли содержание органического углерода (C_{org}) в породах. На пиролитической установке SR Analyzer – POPI (Pyrolytic Oil Productivity Index) изучали обогащенные ОВ породы. Определяли «битумоидную» (S_1 , %) и «керогеновую» (S_2 , %) составляющие ОВ, индекс продуктивности ($PI = S_1/(S_1+S_2)$), водородный индекс (HI, мгУВ/гСорг), температуру максимального выхода УВ (T_{max} , °С). Из дробленых и недробленых пород хлороформом при комнатной температуре экстрагировали битумоид. После очистки экстракта ртутью от элементной серы избытком петролейного эфира разделяли битумоид на мальтены и асфальтены. Мальтены делили на фракции насыщенных УВ, ароматических соединений, бензольных и спиртобензольных смол.

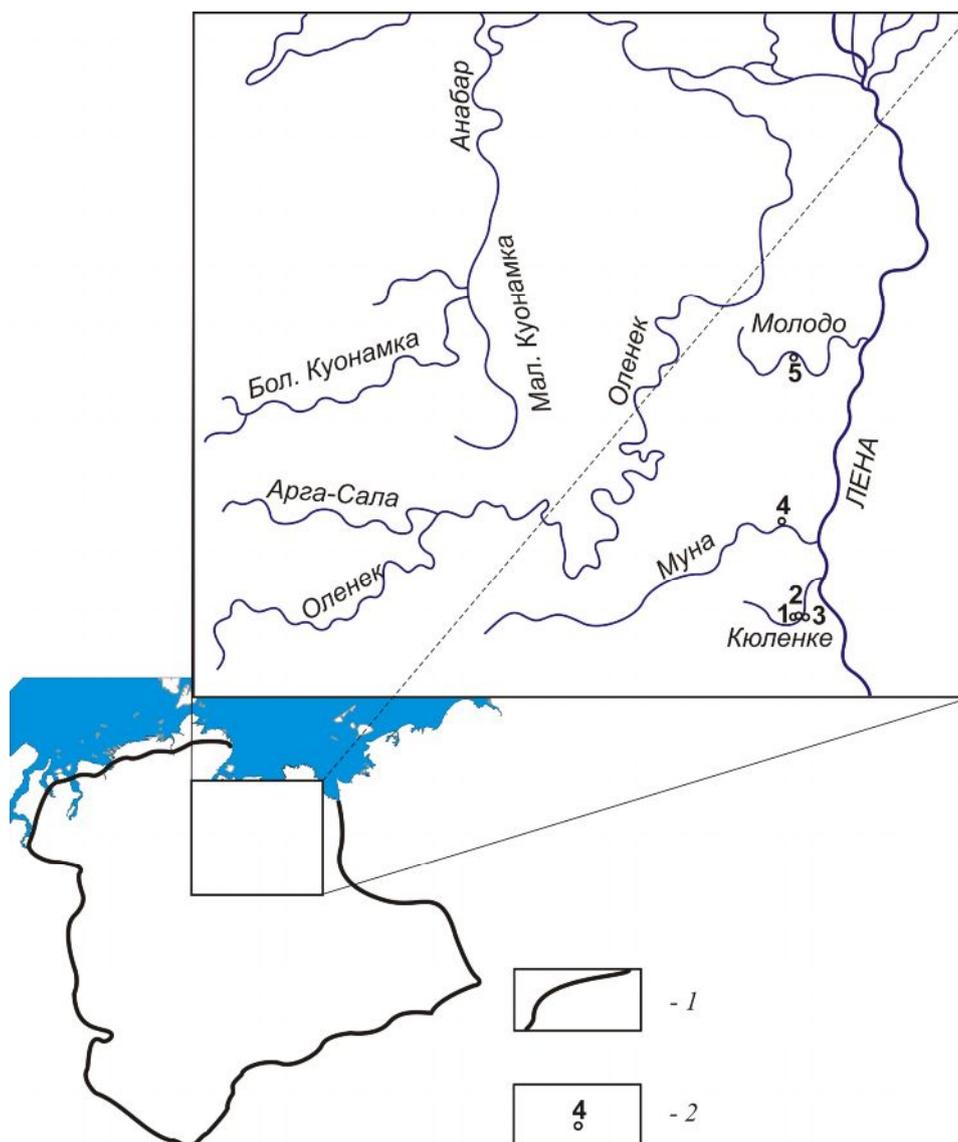


Рис. 1. Схема отбора образцов

1 - граница Сибирской платформы; 2 - место отбора образцов (1 - правый берег руч. Орто-Кюленке, 2 - левый берег р. Кюленке, 3 - правый берег р. Кюленке, 4 - левый берег р. Муна, 5 - правый берег р. Молодо).

Индивидуальный состав углеводородов метано-нафтеновых фракций (нормальные алканы и изопреноиды) анализировали на хроматографе «5890 series II Gas Chromatograph» с использованием капиллярной медной колонки с фазой «апиезон-L» при начальной температуре анализа 60 °С и конечной – 280 °С. На хромато-масс-спектрометрической системе Agilent 5973N (газовый хроматограф 6890 с высокоэффективным масс-селективным детектором и компьютерной системой регистрации) при температуре 100-320 °С исследовали насыщенные УВ в режиме сканирования по общему ионному току. 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 осуществлялась по времени удерживания путем сравнения с уже известными соединениями, а также с опубликованными данными.

Результаты битуминологического анализа, пиролиза и хромато-масс-спектрометрии позволили в мелкозернистом карбонатном песчанике (прослой 3 см, обр. К-2-6а), черных карбонатно-кремневых породах (обр. К-1-5 и обр. К-1-8) куонамской свиты, комковатом сером известняке (обр. К-1-7б) малокуонамского горизонта установить присутствие паравтохтонных битумоидов, а в сером известняке (обр. К-1-1) оленекской свиты – аллохтонного битумоида. Таким образом, были выявлены микроскопические нафтидопроявления в породах среднего кембрия.

Для сравнительного анализа в работе использованы результаты изучения нафтида малокуонамского горизонта [Парфенова, 2005] из обнажения на р. Молодо (см. рис. 1).

ГЕОХИМИЯ НАФТИДОВ КУОНАМСКОЙ И ОЛЕНЕКСКОЙ СВИТ

Содержание $C_{орг}$ в породах (9 образцов), обогащенных паравтохтонными, аллохтонными битумоидами и битумами, изменяется от 0,1 до 1,1% (табл. 1 и 2). Выход битумоидов (13 образцов) составляет 0,04-0,34%. Битумоидный коэффициент (В) высокоуглеродистых породах с автохтонным битумоидом разрезов р. Кюленке и р. Молодо не превышает 1%, в углеродистых – 5% [Парфенова и др., 2004; Парфенова и др., 2011].

Пиролитические свойства (6 образцов) представлены в табл. 1 и на рис. 2. Следует отметить, что повышенный индекс продуктивности, подтверждающий насыщение породы мигрировавшим битумом, имеют 3 образца. Водородный индекс изменяется от 165 до 435 мг УВ/г $C_{орг}$. Температуры максимального выхода УВ обычно варьируют от 437 до 445 °С (см. рис. 2). Такие $T_{макс}$ отмечены и для первично обогащенных ОВ пород куонамской свиты. Аномально низкое значение $T_{макс}$ равное 420 °С имеет карбонатный песчаник (обр. К-2-6а). Это отклонение от фона [Peters, Moldowan, 1993] и литологический состав указывают на содержание в породе паравтохтонного или аллохтонного битумоида.

Битумоиды куонамской и оленекской свит обогащены смолами (см. табл. 1). Их содержание превышает 50%. Концентрации насыщенных УВ составляют 15,8-32,7%, ароматических соединений – 10,8-21,6%. Асфальтеновых компонентов в битумоидах как правило меньше 10%.

В составе битумов обычно преобладают смолы (см. табл. 2). Лишь в двух образцах из нафтидов малокуонамского горизонта насыщенных и ароматических УВ больше 50%.

Таблица 1

Пиролитические характеристики пород среднего кембрия и групповой состав их аллохтонного и паравтохтонных битумоидов

Геолого-географическая привязка		Местонахождение	левый берег р. Кюленке			правый берег р. Кюленке	левый берег р. Молодо	
		Свита	оленинская	куонамская				
		Горизонт		маспакыйский	малокуонамский	амыдайский		малокуонамский
Номер образца			К-1-1	К-1-5	К-1-7б	К-1-8	К-2-6а*	28
Сорг, %			0.2	0.9	0.3	2.5	0.7	1.1
НО, %			10.2	50.8	37.6	53.4	16.0	21.0
Выход битумоидов, %			0.06	0.11	0.08	0.30	0.06	0.34
β, %			24.7	9.3	23.9	9.0	6.9	22.8
Пиролиз		S ₁ , %	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07
		S ₂ , %	0.03	0.34	0.06	1.02	0.31	0.21
		PI	0.31	0.05	0.18	0.04	0.04	0.24
		HI, мгУВ/гСорг	165	371	234	406	435	193
		T _{max} , °C	437	440	437	445	420	438
Групповой состав, %	углеводороды	насыщенные	32.7	17.9	27.3	20.0	15.8	18.6
		ароматические	10.8	21.6	14.1	20.9	19.2	14.6
	смолы	бензольные	11.4	17.8	15.9	18.9	16.9	13.2
		спирто-бензольные	41.4	31.6	38.7	34.5	40.2	46.0
	асфальтеновые компоненты	асфальтогеновые кислоты	2.5	3.2	1.31	2.0	2.6	2.0
		асфальтены	1.2	7.9	2.7	3.8	5.3	5.7
Углеводородный состав, %		насыщенные	75.1	45.3	65.9	48.8	45.2	56.0
		ароматические	24.9	54.7	34.1	51.2	54.8	44.0
Насыщенные/Ароматические			3.0	0.8	1.9	1.0	0.8	1.3

* дробленая порода

Таблица 2

Содержание и групповой состав нефтидов пород куонамской, оленекской свит и секущих их даек (восточный склон Мунского свода)

Геолого-географическая привязка	Местонахождение		правый берег руч. Орто-Кюленке		левый берег р. Кюленке		правый берег р. Кюленке		левый берег р. Муна
	Свита		оленекская	оленекская	куонамская				
	Горизонт			битум в кавернах диабазовой дайки	малокуонамский	амыдайский	битум по трещинам в диабазовой дайке	амыдайский	
Номер образца			КЛ-1/1	КЛ-3/8	К-1-7а*	К-1-7в*	К-2-6а*	К-2-5а*	М-8
Сорг, %			0.2	0.1	-	-	-	-	0.48
НО, %			12.3	96.9	-	-	-	-	3.0
Выход битумоидов, %			0.08	0.18	0.04	0.04	0.06	0.16	0.16
β, %			24.4	119.8	-	-	-	-	24.4
Групповой состав, %	углеводороды	насыщенные	22.3	27.4	25.4	22.3	16.5	9.1	22.9
		ароматические	14.7	17.6	33.2	41.8	22.5	14.7	13.3
	смолы	бензольные	16.1	16.6	16.7	16.4	24.9	74.9	16.5
		спирто-бензольные	44.4	30.6	19.2	15.7	32.3		36.9
	асфальтеновые компоненты	асфальтогеновые кислоты	2.5	1.3	1.4	2.1	1.2	1.3	0.5
		асфальтены		6.5	4.0	1.9	2.6		10.0
Углеводородный состав, %	насыщенные	60.3	60.9	43.3	34.8	42.3	38.3	63,2	
	ароматические	39.7	39.1	56.7	65.2	57.7	61.7	36.8	
Насыщенные/Ароматические			1.5	1.6	0.8	0.5	0.7	0.6	1.7

* - нефтиды экстрагировали из недробленной породы

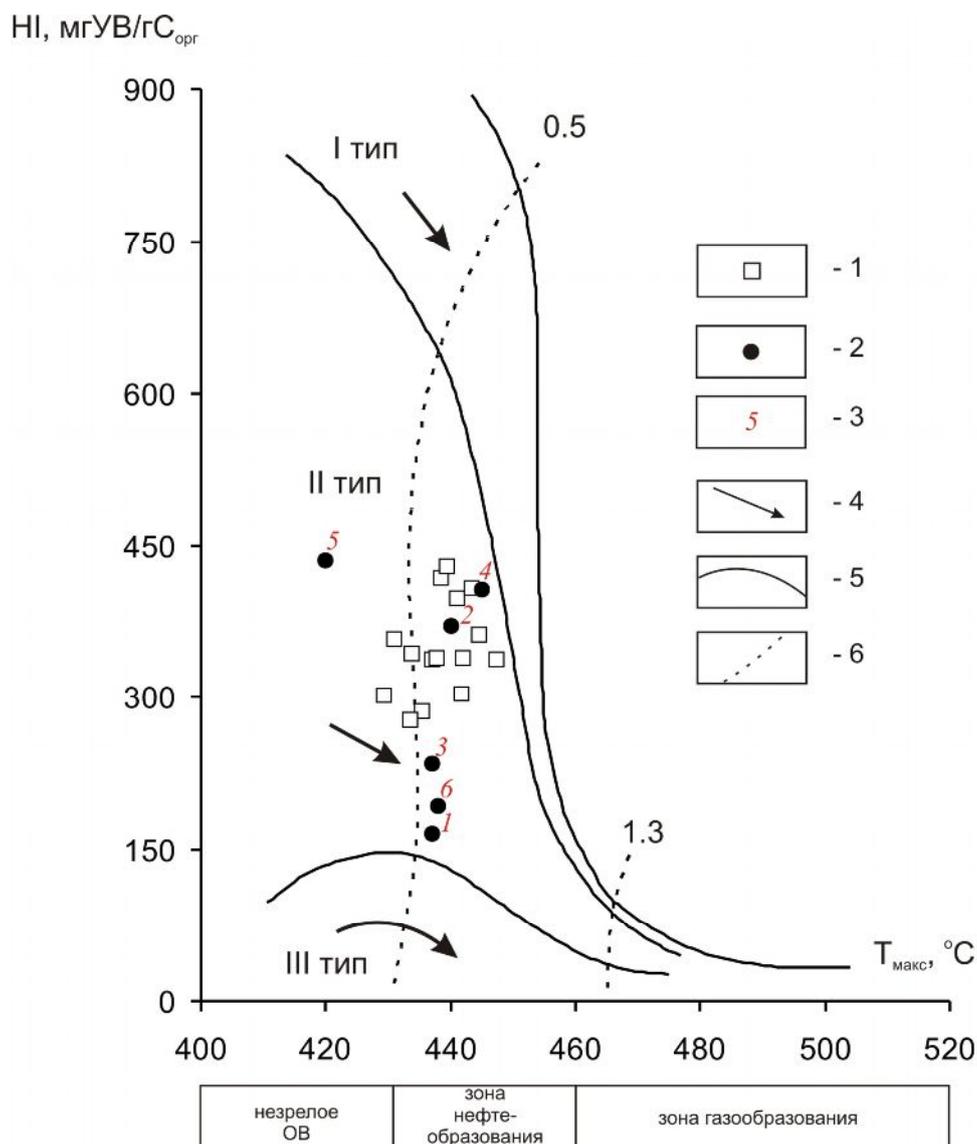


Рис. 2. Диаграмма HI-Tmax для ОВ пород куонамской и оленекской свит (р. Кюленке, р. Молодо)

1 - нефтепроизводящие породы куонамской свиты (р. Кюленке); 2 - породы, содержащие аллохтонный и паравтохтонные битумоиды; 3 - номера проб (1 - К-1-1; 2 - К-1-5; 3 - К-1-7б; 4 - К-1-8; 5 - К-2-6а*; 6 - 28); 4 - направленность изменения величин HI и Tmax в катагенезе; 5 - линии, ограничивающие максимальные значения водородного индекса (HI) для трех типов органического вещества (I аквагенного, озерного; II аквагенного, морского; III террагенного, связанного с высшей наземной растительностью); 6 - изолинии отражательной способности витринита, %.

Рассмотрим содержание и распределение УВ.

Алканы. Интересно, что только образцы К-1-5, К-2-6а и К-2-6а* характеризуются распределением нормальных алканов с максимумом в области выхода н-С₁₅₋₂₀. В остальных пробах наблюдается либо смещение пика в высокомолекулярную область, либо отсутствие некоторых н-алканов на фоне так называемых «нафтеновых горбов» [Петров, 1984] (рис. 3). Пристан (П) и фитан (Ф) доминируют в изопреноидах. Их отношение обычно меньше 1 (табл. 3).

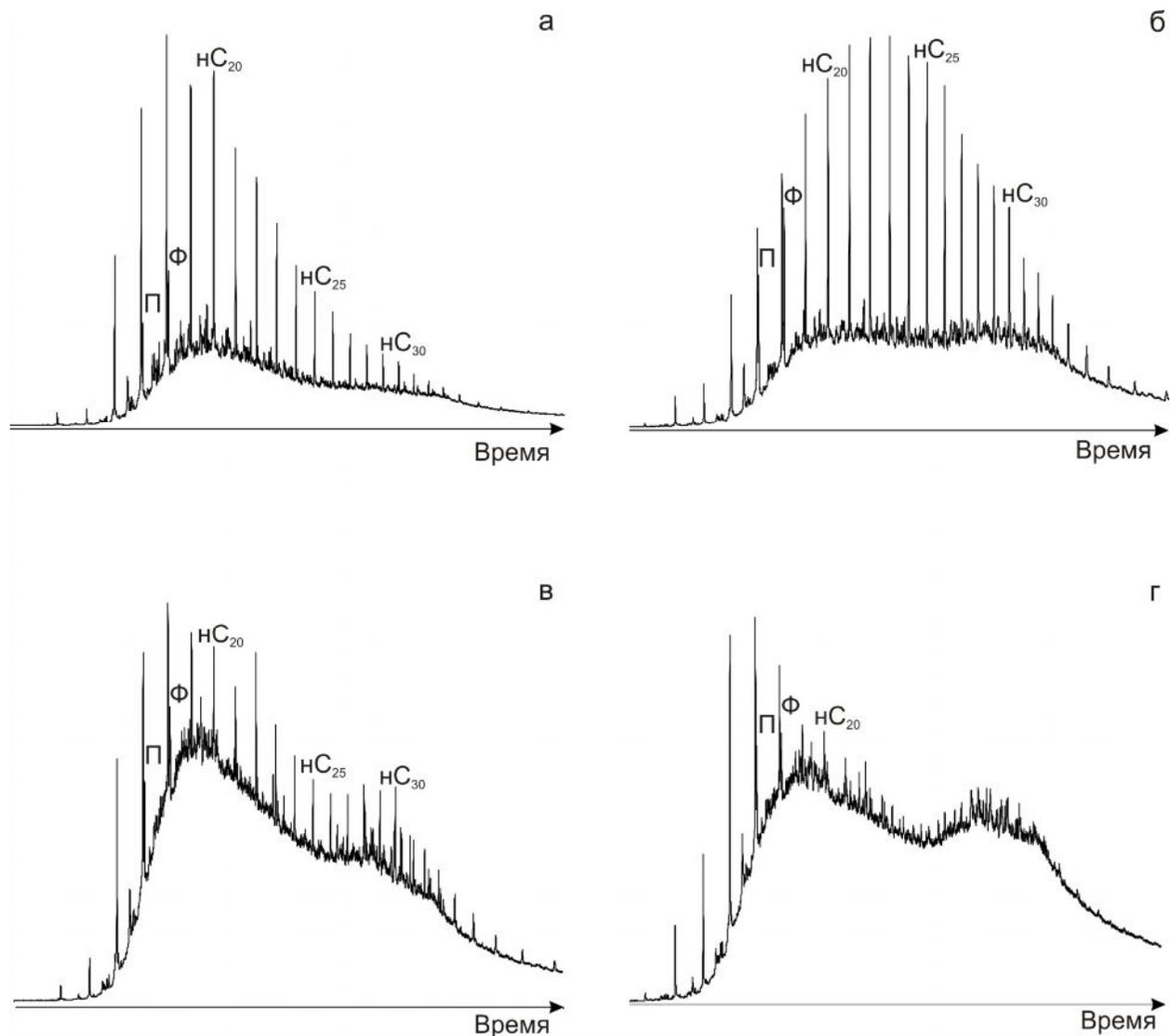


Рис. 3. Типовые хроматограммы фракций насыщенных углеводородов нефтидопроявлений

а - обр. К-2-6а (недробленный); б - К-1-7б; в - К-1-7а; г - К-1-8. П - пристан, Ф - фитан, nCn - алкановый УВ нормального строения (n - количество углеродов в структуре).

Таблица 3

Соотношение алкановых, стерановых, трициклановых и гопановых углеводородов в нефтидопроявлениях пород среднего кембрия и секущих их даек (Мунский и Оленекский своды)

Привязка	Номер образца	алканы					стераны			трицикланы	гопаны		терпаны	
		П/Ф	П/н-С ₁₇	Ф/н-С ₁₈	н-С ₂₇ /н-С ₁₇	СРІ	С ₂₉ $\frac{20S}{20S+20R}$	диастераны/ регулярные стераны	стераны/ прегнаны	$\frac{2*\Sigma(C_{19-20})}{\Sigma(C_{23-26})}$	Ts/Tm	C ₃₅ /C ₃₄	трицикланы/ (гопаны + гомгопаны)	
Свита	оленекская	КЛ-1/1	0.8	0.4	0.4	1.7	1.2	0,5	1.0	2.2	0.7	1.6	0.3	1.7
		К-1-1	1.0	1.1	0.8	1.0	1.0	0.5	0.7	5.3	0.2	1.5	0.6	1.3
	куонамская	К-1-5	1.2	0.8	0.7	0.4	1.0	0.5	0.5	5.2	0.3	1.7	0.6	1.1
		К-1-7а*	1.2	0.5	0.5	0.3	0.9	0.5	0.4	3.8	0.3	1.8	0.6	1.3
		К-1-7б	0.8	0.7	0.8	1.2	1.0	0.5	0.7	3.4	0.5	1.5	0.7	1.3
		К-1-7в*	1.8	0.6	0.4	0.2	1.0	0.5	0.5	2.6	0.4	1.7	0.6	1.5
		К-1-8	1.6	0.5	0.5	0.1	0.9	0.5	0.9	2.3	0.5	1.7	0.7	1.9
		К-2-6а*	0.8	0.3	0.3	0.2	1.0	0.5	0.3	3.3	0.3	1.3	0.7	1.3
		К-2-6а	0.7	0.3	0.4	0.2	1.1	0.5	0.3	5.2	0.3	1.2	0.7	1.1
		28	0.8	0.8	1.1	3.3	1.0	0.5	0.6	6.4	0.2	0.5	0.8	0.7
М-8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.2	0.5	0.4	9.1	0.2	0.6	0.6	0.4		
битум в дайках	КЛ-3/8	0.8	0.8	0.6	2.6	1.2	0.5	0.5	7.9	0.2	1.4	0.7	0.8	
	К-2-5а*	0.8	0.5	0.3	1.0	1.0	0.6	0.7	2.5	0.2	1.2	0.7	1.7	

* - нефтиды экстрагировали из недробленной породы

Соотношение пристана и н-С₁₇ изменяется от 0,3 до 1,1, фитана и н-С₁₈ – от 0,3 до 1,1, н-С₂₇/н-С₁₇ – от 0,1 до 3,3. Коэффициент нечетности (в англоязычной литературе CPI – carbon preferens index), численно равный отношению:

$$\text{CPI} = 0,5 * ((\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33}) / (\text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32} + \text{C}_{34}) + (\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33}) / (\text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32}))$$

лежит в интервале 0,9-1,2.

Стераны идентифицированы на хроматограммах по m/z 217 и 218 (рис. 4). В битумоидах и битумах содержание холестанов (С₂₇) изменяется от 27 до 33%, метилхолестанов (С₂₈) – от 11 до 17%, этилхолестанов (С₂₉) – от 47 до 58%, пропилахолестанов – от 2 до 7%. Подобное распределение отмечено для ОВ высокоуглеродистых и углеродистых пород куонамского комплекса [Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2004; Парфенова и др., 2011]. Исследование изомеров этих УВ показало, что в коллекции присутствуют диастераны и регулярные стераны. В шести нефтидопроявлениях из куонамской свиты и одном из дайки долеритов (обр. К-1-7а, К-1-7в, К-1-5, К-2-6а) отношение диастеранов к регулярным стеранам лежит в интервале 0,3-0,5 (см. табл. 3). Такие значения соотношения изомеров стеранов характеризуют автохтонное ОВ куонамской свиты на северо-востоке Сибирской платформы. Типовая хроматограмма стеранов этих проб показана на рис. 4а. В шести пробах (обр. К-1-7б, К-1-8, 28, КЛ-1/1, К-1-1, К-2-5а) наблюдаются повышенные содержания диастеранов (рис. 4б, 4в). Параметр диастераны / (регулярные стераны) варьирует от 0,6 до 1,0 (см. табл. 3). Отношения изомеров 20S/(20S+20R) в битумопроявлениях (см. табл. 3) и автохтонных битумоидах куонамской свиты сохраняются на уровне 0,5 [Парфенова и др., 2004; Парфенова и др., 2011]. В пробах нефтидов и битумоидов диагностированы прегнаны (С₂₁₋₂₂). Отношение гомологов стераны/прегнаны изменяются от 2,2 до 9,1 (табл. 3).

На хроматограммах по m/z 191 определены терпаные УВ (рис. 5, 6). В них идентифицированы трицикланы, гопаны, тетрацикланы и моретаны.

Трицикланы. В составе изученных нефтидопроявлений присутствуют трициклановые УВ от С₁₉ до С₃₁. Гомологи трицикланов имеют близкое распределение. Среди них доминируют трицикланы С₂₁, С₂₃₋₂₅ (см. рис. 5, 6). Значения трицикланового индекса $2 * \sum(\text{C}_{19-20}) / \sum(\text{C}_{23-26})$ изменяются от 0,2 до 0,7 (см. табл. 3).

Гопаны. Во фракциях насыщенных УВ диагностированы все УВ гомологического ряда гопана от С₂₇ до С₃₅ (см. рис. 5, 6). Отношение трицикланы/(гопаны+гомгопаны) варьирует от 0,4 до 1,9 (см. табл. 3). Распределение гопанов изученных нефтидопроявлений

аналогично. Максимальные концентрации (24-28%) имеет гопан C_{30} . Содержание норгопана C_{29} ниже (19-21%), трисноргопанов (Ts, Tm – изомеры C_{27}) изменяется от 10 до 17%.

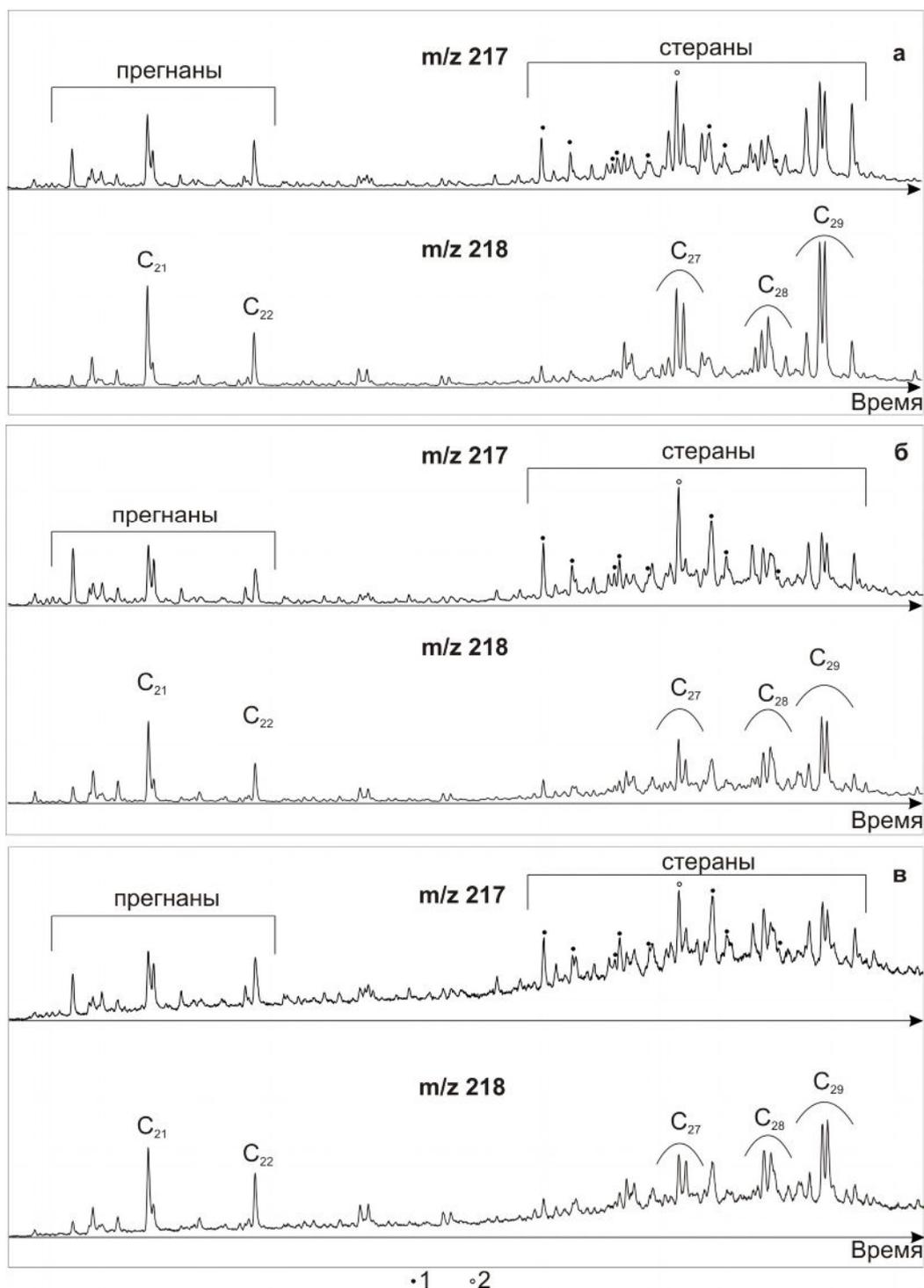


Рис. 4. Масс-хроматограммы по m/z 217 и m/z 218 насыщенных фракций нафтидов
a - обр. К-2-6а*, *б* - обр. К-1-8, *в* - обр. К-2-5а. $C_{21,22}$ - прегнаны; C_{27}, C_{28}, C_{29} - изомеры холестерина, метилхолестана и этилхолестана, соответственно. 1 - диастераны $C_{27-C_{30}}$, 2 - диастеран C_{29S} и изостеран C_{27R}

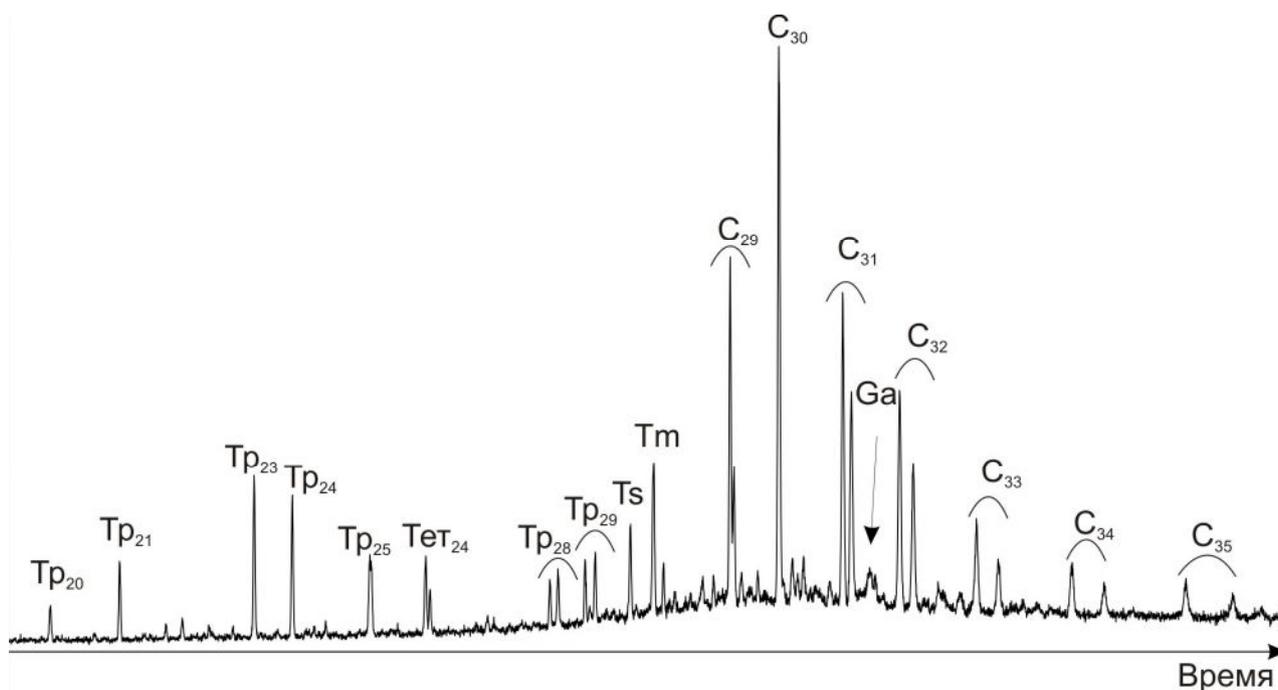


Рис. 5. Масс-хроматограмма по m/z 191 насыщенных фракций нефтида куонамской свиты (обр. М-8, р.Муна)

Трп - трициклан, *Тетп* - тетрациклан, *Тs* - триснорнеогопан, *Тm* - трисноргопан, *C₂₉* - норгопан, *C₃₀* - гопан, *C₃₁₋₃₅* - гомогопаны, *Ga* - гаммацеран, *n* - количество атомов углерода в структуре молекулы.

Высокие значения (1,2-1,7) имеет коэффициент Ts/Tm образцов из коллекции р. Кюленке и руч. Орто-Кюленке (см. табл. 3 и рис. 6). Отметим, что в автохтонных битумоидах разрезов р. Кюленке Ts/Tm изменяется от 1,1 до 1,8 [Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2011]. Соотношение Ts/Tm в нефтидах р. Муна и р. Молодо равны 0,6 и 0,5 соответственно (см. табл. 3 и рис. 5). Такие значения Ts/Tm характеризуют ОВ углеродистых пород р. Молодо [Парфенова и др., 2004]. Среди гомогопанов с ростом молекулярной массы содержание гомологов уменьшается в ряду $C_{31} > C_{32} > C_{33} > C_{34} > C_{35}$ (см. рис. 5, 6). Отношение C_{35} к C_{34} варьирует от 0,3 до 0,8 (см. табл. 3). На хроматограммах по m/z 191 в шести пробах (обр. К-1-7б, К-1-8, 28, К-2-5а*, КЛ-1/1, К-1-1) выявлен деметилированный гопан DC_{29} (см. рис. 6а, 6б).

Минимальные содержания среди терпанов имеют *тетрацикланы* (2-3 %) и *моретаны* (1-2 %). На хроматограммах терпанов идентифицирован гаммацеран - *Ga* (см. рис. 5, 6). Его содержание в терпанах, как правило, сохраняется на уровне 1 %.

В макро- и микронафтидопроявлениях куонамской (обр. К-1-7б, К-1-7в, К-1-8, 28), оленекской (обр. КЛ-1/1, К-1-1) свит и битуме из дайки долеритов (обр. К-2-5а*) наблюдаются деметилированные трицикланы, тетрацикланы и гопаны (см. рис. 6а, 6б). Обратим внимание, что в обр. К-1-7в установлено присутствие только деметилированных трицикланов (рис. 6в).

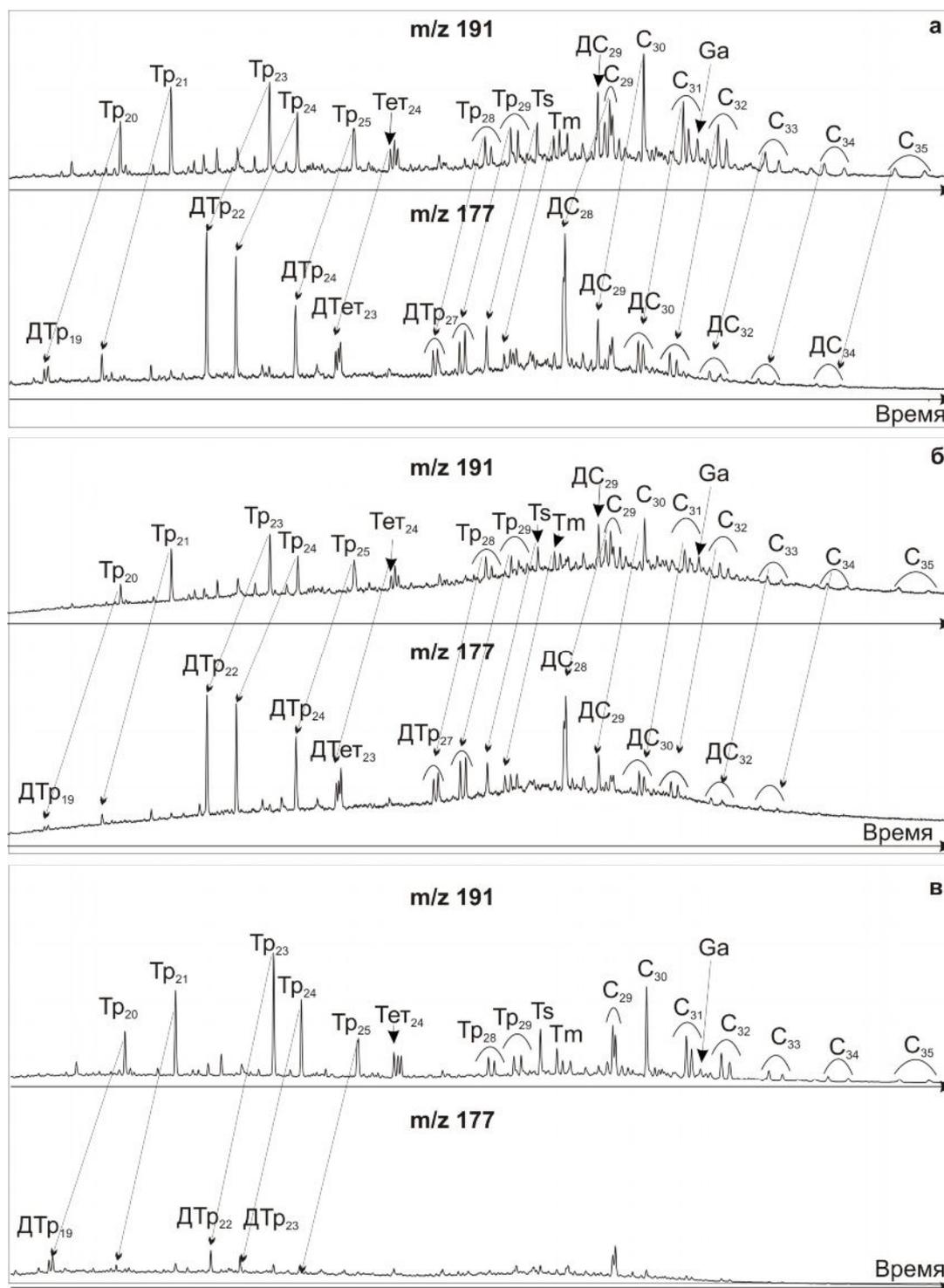


Рис. 6. Масс-хроматограммы по m/z 191 и m/z 177 насыщенных фракций нафтидов
 а - обр. К-1-76, б - обр. К-2-5а, в - обр. К-1-7е. Ts - триснорнеогопан, Tm - трисноргопан, Ga - гаммацеран, Tr₂₀-Tr₂₉ - трицикланы, Tet₂₄ - тетрациклан, C₂₉ - норгопан, C₃₀ - гопан, C₃₁-C₃₅ - гомогопаны, DTp₁₉-DTp₂₃ - деметилированные трицикланы, DTet₂₃ - деметилированный тетрациклан, DC₂₈-DC₂₉ - деметилированные норгопаны, DC₃₀-DC₃₄ - деметилированные гомогопаны.

Деметилированные углеводороды распознаны на хроматограммах по m/z 177 (см. рис. 6). Доказательством потери метильного заместителя является изменение молекулярной массы и появление нового основного иона 177 в отличие от свойственного терпановым УВ

регулярного фрагмент-иона 191. Регулярные терпаны элюируются позже деметилированных, так как их молекулярная масса больше [Каширцев, 2003; Alberdi et al., 2000; Peters, 2000; Peters, Moldowan, 1993]. На хроматограммах наблюдается закономерное смещение соответствующих пиков (см. рис. 6). В семи пробах деметилированные УВ не были обнаружены.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Макроскопическое исследование и групповой состав [Баженова и др., 1981; Геология нефти..., 1981] свидетельствуют, что битумы кембрийских отложений восточного склона Мунского свода являются мальтами, асфальтами и асфальтитами. Именно такие типы битумов ранее были обнаружены на восточном склоне Анабарской антеклизы [Баженова и др., 1981; Каширцев, 2003; Клубов и др., 1983]. Содержание их в породах невелико. С промышленной точки зрения они не представляют интереса.

Изучение молекулярного состава нафтидопроявлений показало:

- отношения пристана (П) к фитану (Ф) и нечетных нормальных (н-) алканов к четным близко к 1;
- отсутствие 12- и 13-монометилалканов;
- среди стеранов преобладает этилхолестан;
- высокое содержание диастеранов;
- среди трицикланов C_{19-31} в максимальных количествах присутствуют гомологи C_{21} , C_{23} , C_{26} ;
- уменьшение содержания гомогпанов по мере роста молекулярной массы и отношение гомогпанов C_{35} к C_{34} меньше 1;
- низкое содержание гаммацераана.

Сравнение содержаний УВ в рассмотренных гомологических рядах изученных нафтидов и автохтонных битумоидов куонамских отложений [Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2004; Парфенова, 2005; Парфенова и др., 2011] позволяет сделать вывод о едином источнике их генерации – углеродистых породах куонамской свиты. Представленные характеристики углеводородного состава битумопроявлений свидетельствуют, что исходным ОВ были преимущественно липидные компоненты водорослей и бактерий, ОВ накапливалось в осадках моря с нормальной соленостью и аэрацией вод.

Соотношения четных и нечетных н-алканов, изомеров этилхолестана (см. табл. 1, 2, рис. 2-4) указывают, что зрелость нафтидов соответствует подстадии мезокатагенеза. Изменение характеристик ОВ происходило в период регионального погружения кембрийского осадочного бассейна. Необходимо отметить, что значения коэффициента

Ts/Tm повышаются в 2-3 раза при переходе от проб р. Молодо и р. Муна к коллекции нафтидов р. Кюленке и руч. Орто-Кюленке (см. табл. 3, рис. 5-6). На северо-востоке Сибирской платформы отмечено присутствие долериторых даек, секущих породы кембрия [Геология нефти..., 1981; Клубов, 1983; Каширцев и др., 2003]. Исследование обнажений на р. Кюленке и руч. Орто-Кюленке авторами настоящей работы подтверждают это. Повидимому, на ОВ юго-восточного склона Мунского поднятия в районе р. Кюленке оказало влияние внедрение интрузий.

Б.А. Клубов изучал битумы из разреза куонамской свиты на р. Малая Куонамка. Исследователь сделал вывод, что обедненность насыщенными и ароматическими УВ не следствие их гипергенной переработки, а отражение близости к исходному ОВ [Клубов, 1983]. Наше изучение новой коллекции битумов не позволяет согласиться с первой частью этого заключения. Типичное для аквагенного органического вещества распределение нормальных алканов с максимумом в области выхода $n-C_{15-20}$ установлено лишь для двух образцов. В остальных изученных пробах отмечено изменение распределений n -алканов и «горбообразные» формы хроматограмм. Наблюдаются существенные различия нафтидов по соотношению диастераны/регулярные стераны. Вариации этого показателя не зависят от изменений отношения Ts/Tm. Следует обратить внимание, что присутствие на хроматограммах по m/z 177 деметилированных терпанов (см. рис. 6) и повышенные значения отношения диастераны/регулярные стераны (больше 0,5 (см. табл. 3)) встречено в одних и тех же образцах. Исследование битумов и тяжелых нефтей осадочных бассейнов мира показали, что отсутствие или уменьшение содержания алканов, регулярных стеранов, а также появление три-, тетра- и пентатерпанов, лишенных метильного заместителя при 10 атоме углерода в молекуле, связаны с бактериальным окислением углеводородов в зоне гипергенеза [Каширцев, 2003; Петров, 1984; Alberdi et al., 2000; Peters, 2000; Peters, Moldowan, 1993; Seifert, Moldowan, 1993].

Экспериментальные наблюдения свидетельствуют, что в первую очередь биodeградации подвергаются нормальные и изопреноидные алканы [Петров, 1984; Peters, Moldowan, 1993]. Затем бактериями окисляются стерановые и гопановые УВ [Peters, Moldowan, 1993; Seifert, Moldowan, 1993]. Трицикланы и тетрацикланы являются наиболее устойчивыми УВ. Их биodeградация наступает значительно позже [Каширцев, 2003; Петров, 1984; Alberdi et al., 2000]. В ряде изученных нафтидопроявлений присутствуют нормальные и изопреноидные алканы. Вместе с тем фиксируются признаки бактериальной трансформации гопанов, тетра- и трицикланов. Это позволяет высказать гипотезу об этапности миграции на северо-востоке Сибирской платформы. Молекулярный состав

параавтохтонных, аллохтонных битумоидов и битумов первой генерации был изменен глубокой биодеградацией. В результате нормальные и изопреноидные алканы были полностью уничтожены, интенсивно преобразованы стерановые и терпановые УВ. Затем последовал очередной этап миграции. Повышенные содержания высокомолекулярных нормальных алканов в некоторых образцах, высокие концентрации асфальтенов и, особенно, смол позволяют предполагать остаточный характер битумопроявлений второй генерации.

Представленные в этой работе находки битумов в долеритовых дайках и различие уровня катагенеза нафтидов и ОВ углеродистых пород из разрезов р. Молодо [Парфенова и др., 2004; Парфенова, 2005], р. Муна и бассейна р. Кюленке [Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2011], дают возможность судить о нескольких фазах нефтеобразования на северо-востоке Сибирской платформы. Известно, что дайки долеритов р. Кюленке и руч. Орто-Кюленке связаны с триасовым магматизмом [Геология нефти..., 1981]. Первичная генерация нефтей, обусловленная региональным погружением осадочных пород на изученной территории, могла происходить до триаса. Внедрение даек вызвало новую генерацию нефтей на юго-востоке Мунского свода. Битумы, найденные внутри даек, свидетельствуют об образовании и миграции нефтей в постмагматический период. Заметим, что в битуме дайки, секущей оленекскую свиту вблизи руч. Орто-Кюленке, вероятно, биодеградированы только низкомолекулярные n-алканы. Битум из трещины дайки, секущей куонамскую свиту на обнажении р. Кюленке, содержит n- и изоалканы, повышенное содержание диастеранов, деметилированные трицикланы, тетрацикланы и гопаны. Это указывает не только на разную степень биодеградации рассматриваемых битумов, но и, возможно, на несколько этапов миграции в посттриасовое время.

Сегодня активно обсуждается развитие работ, направленных на поиск и разведку альтернативных источников энергии и нефтехимии в районах российской Арктики и прилегающих к ним территориях. Одним из перспективных объектов является черносланцевый куонамский комплекс. Анализируя распространение нафтидопроявлений в углеродистых куонамских отложениях можно утверждать, что в опорных разрезах северо-востока Сибирской платформы на р. Молодо, р. Муна и р. Кюленке они наблюдаются в верхней части амыдайского горизонта, малокуонамском и маспакыйском горизонтах. При проведении специальных геолого-геохимических исследований для количественной оценки ресурсов черных сланцев кембрия в качестве углеводородного сырья авторы предлагают использовать эту информацию и новые результаты исследования состава битумов с целью поиска, выделения и анализа качества ОВ битумосодержащих интервалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное исследование нефтидов среднего кембрия и опубликованный материал [Баженова и др., 1981; Геология нефти..., 1981; Каширцев, 2003; Каширцев, Конторович, 2006; Клубов, 1983; Парфенова и др., 2004; Парфенова и др., 2005] доказывают, что нефтяные компоненты образовывались в куонамской свите и мигрировали за ее пределы на склонах Анабарской и Алданской антеклиз. Это подтверждает предположение (с. 480, [Геология нефти..., 1981]), что на востоке Сибирской платформы, в частности на склонах Мунского и Оленекского сводов и Суханской впадины при наличии ловушек в перекрывающих, подстилающих, а также самих отложениях доманикового типа, могут быть залежи нефти или битума, генетически связанные с породами куонамской свиты.

Новые находки нефтидопроявлений на северо-востоке Сибирской платформы являются примером сохранившейся в природе полной генетической последовательности: автохтонный битумоид → паравтохтонный битумоид → аллохтонный битумоид → битум.

Показанные типы распределений алканов нормального строения, наличие деметилированных три-, тетра- и пентатерпанов, свидетельствуют, что нефтиды Мунского свода отличаются по степени окисления бактериями. Молекулярный анализ нефтидов указывает на различие степени их зрелости. Выявленные особенности состава УВ позволяют обсуждать дотриасовые и посттриасовые этапы генерации и миграции нефтей на склонах Мунского свода, источником которых была куонамская свита.

Работа выполнена в рамках проекта № VIII.73.4.3, № НШ-402.2014.5, междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 78, программы ОНЗ-1 РАН.

Литература

Баженова Т.К., Белецкая С.Н., Беляева Л.С., Биккенина Д.А., Гурко Н.Н., Ивановская А.В., Ипатов Ю.И., Кичуева У.О., Макаров К.К., Неручев С.Г., Парпарова Г.М., Rogozina Е.А., Рудавская В.А., Соловьева И.Л., Файзулина Е.М., Шапиро А.И., Шиманский В.К., Шуменкова Ю.М., Арефьев О.А., Гуляева Н.Д., Кулибакина И.Б., Работнов В.Т., Прохоров В.С., Шадский И.П. Органическая геохимия палеозоя и допалеозоя Сибирской платформы и прогноз нефтегазоносности. – Ленинград: Недра, 1981. – 211 с.

Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторович, В.С. Сурков, А.А. Трофимук. – М.: Недра, 1981. – 552 с.

Каширцев В.А. Органическая геохимия нефтидов востока Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ изд-ва СО РАН, 2003. –159 с.

Каширцев В.А., Конторович А.Э. Алкилстераны и алкилтриароматические стероиды - новые биометки в докембрийских и кембрийских нефтях Непско-Ботуобинской и Алданской антеклиз (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. - 2006. – Т. 47. – № 6. – С. 812-819.

Клубов Б.А. Природные битумы Севера. – М.: Наука, 1983. – 208 с.

Конторович А.Э., Варламов А.И., Емешев В.Г., Ефимов А.С., Клец А.Г., Комаров А.В., Конторович В.А., Коровников И.В., Сараев С.В., Филиппов Ю.Ф., Вараксина И.В., Глинских В.Н., Лучинина В.А., Новожилова Н.В., Пегель Т.В., Сенников Н.В., Тимохин А.В. Новый тип разреза кембрия в восточной части Западно-Сибирской плиты (по результатам бурения параметрической скважины Восток-1) // Геология и геофизика. - 2008. – № 11. – С. 1119-1129.

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 нефтепроизводящих толщ Сибирской платформы. – М., Наука, 1981. – С. 19-42.

Конторович А.Э., Каширцев В.А., Меленевский В.Н., Тимошина И.Д. Состав углеводородов биомаркеров в генетических семействах нефтей докембрия и кембрия Сибирской платформы // Докл. РАН. - 2005. – Т. 402. – № 5. – С. 651-655.

Конторович А.Э., Савицкий В.Е. К палеографии Сибирской платформы в раннюю и среднюю кембрийские эпохи // Вопросы литологии и палеографии Сибири. Тр. СНИИГГиМСа, Новосибирск. –1970. - Вып. 106. – С. 95-108.

Конторович А.Э., Костырева Е.А. Нафтиды кембрия Предъенисейской субпровинции // Геология нефти и газа. – 2011. – № 5. – С. 73-77

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.

Парфенова Т.М., Бахтуров С.Ф., Шабанов Ю.Я. Органическая геохимия нефтепроизводящих пород куонамской свиты кембрия (восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика. - 2004. – №7. – С. 911-923.

Парфенова Т.М. Нафтидопроявление в породах малокуонамского горизонта среднего кембрия как доказательство первичной миграции нефти в куонамской свите (северо-восток Сибирской платформы) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2005. – №7. – С. 26-30.

Парфенова Т.М., Коровников И.В., Иванова Е.Н., Меленевский В.Н. Геохимия

органического вещества нефтепроизводящих пород среднего кембрия (северо-восток Сибирской платформы) // Геология нефти и газа. - 2011. – № 5. – С. 64-72.

Петров А.А. Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 264 с.

Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири, часть I (верхний докембрий, нижний палеозой). – Новосибирск, 1983. – 216 с.

Alberdi M., Moldowan J.M., Peters K.E., Dahl J.E. Stereoselective biodegradation of tricyclic terpanes in heavy oils from Bolivar Coastal Fields, Venezuela // Organic Geochemistry, 2000. – V. 32. – P. 181-191.

Peters K.E. Petroleum tricyclic terpanes: predicted physicochemical behavior from molecular mechanics calculations // Organic Geochemistry, 2000. – V. 31. – P. 497-507.

Peters K.E., Moldowan J.M. The biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments // Prentice Hall (New Jersey): – Englewood Cliffs, 1993. – 363 p.

Seifert W.K., Moldowan J.M. The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979. – V. 43. – P. 111-126.

Parfenova T.M., Kashirtsev V.A., Korovnikov I.V.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, ParfenovaTM@ipgg.sbras.ru, KashirtsevVA@ipgg.sbras.ru, KorovnikovIV@ipgg.sbras.ru

NEW NAPHTHIDE SHOWS FINDS IN THE MIDDLE CAMBRIAN ROCKS IN THE NORTH-EASTERN SIBERIAN PLATFORM

The results of geochemical studies of new naphthide hydrocarbons discoveries of in the Middle Cambrian section on the Muna uplift slopes are presented. It is proved on the basis of molecular composition study that the allochthonous and par-allochthonous bitumoids and bitumen found in Cambrian rocks were generated by rocks of Lower and Middle Cambrian Kuonamka Formation. The Cambrian hydrocarbon migration in north-eastern Siberian platform is discussed. The maturity of naphthides founded in the sections on the Muna and Molodo rivers is lower than maturity determined in the outcrops of Kyulenke River basin. Features of naphthides composition indicate that some of them has been biodegraded in varying degrees.

Keywords: geochemistry, naphthides, biomarkers, katagenesis, hydrocarbon generation, migration, biodegradation, Cambrian, Siberian platform.

References

Alberdi M., Moldowan J.M., Peters K.E., Dahl J.E. Stereoselective biodegradation of tricyclic terpanes in heavy oils from Bolivar Coastal Fields, Venezuela. *Organic Geochemistry*, 2000, vol. 32, p. 181-191.

Bazhenova T.K., Beletskaya S.N., Belyaeva L.S., Bikkenina D.A., Gurko N.N., Ivanovskaya A.V., Ipatov Yu.I., Kichueva U.O., Makarov K.K., Neruchev S.G., Parparova G.M., Rogozina E.A., Rudavskaya V.A., Solov'eva I.L., Fayzzulina E.M., Shapiro A.I., Shimanskiy V.K., Shumenkova Yu.M., Aref'ev O.A., Gulyaeva N.D., Kulibakina I.B., Rabotnov V.T., Prokhorov V.S., Shadskiy I.P. *Organicheskaya geokhimiya paleozoya i dopaleozoya Sibirskoy platformy i prognoz neftegazonosnosti* [Organic geochemistry of Paleozoic and Pre-Paleozoic Siberian platform and forecast of oil and gas potential]. Leningrad: Nedra, 1981, 211 p.

Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platformy [Oil and Gas Geology of the Siberian Platform]. Editor A.E. Kontorovich, V.S. Surkov, A.A. Trofimuk. Moscow: Nedra, 1981, 552 p.

Kashirtsev V.A. *Organicheskaya geokhimiya naftidov vostoka Sibirskoy platformy* [Organic geochemistry of naphthides of East Siberian platform]. Yakutsk: Yakutsk branch of SO RAN, 2003, 159 p.

Kashirtsev V.A., Kontorovich A.E. *Alkilsterany i alkiltriaromaticheskie steroidy - novye biometki v dokembriyskikh i kembriyskikh neftyakh Nepsko-Botuobinskoy i Aldanskoy antekliz (Sibirskaya platforma)* [Alkylsterane and alkyltriaromatic steroids - new biomarkers in Precambrian and Cambrian oils and Nepa-Botuoba Aldan anteklises (Siberian Platform)]. *Geologiya i geofizika*, 2006, vol. 47, no. 6, p. 812-819.

Klubov B.A. *Prirodnye bitумы Severa* [Natural bitumen of the North]. Moscow: Nauka, 1983, 208 p.

Kontorovich A.E., Evtushenko V.M., Ivlev N.F., Larichev A.I. *Zakonomernosti nakopleniya organicheskogo veshchestva na territorii Sibirskoy platformy v dokembrii i kembrii* [Regularities of organic matter accumulation in the Siberian platform in the Precambrian and Cambrian]. In: *Litologiya i geokhimiya nefteproizvodyashchikh tolshch Sibirskoy platformy*. Moscow: Nauka, 1981, p. 19-42.

Kontorovich A.E., Kashirtsev V.A., Melenevskiy V.N., Timoshina I.D. *Sostav uglevodorodov biomarkerov v geneticheskikh semeystvakh neftey dokembriya i kembriya Sibirskoy platformy* [Hydrocarbon biomarkers composition in genetic families of Precambrian and Cambrian oils of the Siberian Platform]. *Dokl. RAN*, 2005, vol. 402, no. 5, p. 651-655.

Kontorovich A.E., Kostyreva E.A. *Naftidy kembriya Pred"eniseyskoy subprovintsii* [Naphthides of Cambrian Pre-Yenisei subprovince]. *Geologiya nefti i gaza*, 2011, no. 5, p. 73-77.

Kontorovich A.E., Kostyreva E.A., Saraev S.V., Melenevskiy V.N., Fomin A.N. *Geokhimiya organicheskogo veshchestva kembriya Pred"eniseyskoy subprovintsii (po rezul'tatam bureniya skvazhin Vostok-1 i Vostok-3)* [Geochemistry of organic matter of Cambrian Pre-Yenisei subprovince (based on drilling of Vostok-1 and Vostok-3 wells)]. *Geologiya i geofizika*, 2011, vol. 52, no. 6, p. 737-750.

Kontorovich A.E., Savitskiy V.E. *K paleografii Sibirskoy platformy v rannyyu i srednyuyu kembriyskie epokhi* [On the paleography of Siberian platform in the early and middle Cambrian era]. In: *Voprosy litologii i paleografii Sibiri. Trudy SNIIGGiMS, Novosibirsk, 1970*, vol. 106, p. 95-108.

Kontorovich A.E., Varlamov A.I., Emeshev V.G., Efimov A.S., Klets A.G., Komarov A.V., Kontorovich V.A., Korovnikov I.V., Saraev S.V., Filippov Yu.F., Varaksina I.V., Glinskikh V.N., Luchinina V.A., Novozhilova N.V., Pegel' T.V., Sennikov N.V., Timokhin A.V. *Novyy tip razreza kembriya v vostochnoy chasti Zapadno-Sibirskoy plity (po rezul'tatam bureniya parametriceskoy skvazhiny Vostok-1)* [A new type of Cambrian section in the eastern part of the West Siberian Plate (based on drilling of Vostok-1 parametric well)]. *Geologiya i geofizika*, 2008, no. 11, p. 1119-1129.

Parfenova T.M. *Naftidoproyavlenie v porodakh malokuonamskogo gorizonta srednego kembriya kak dokazatel'stvo pervichnoy migratsii nefti v kuonamskoy svite (severo-vostok Sibirskoy platformy)* [Naphthide manifestations in rocks of Middle Cambrian Malo-Kuonamka horizon as evidence of primary oil migration in Kuonamka Formation (northeastern Siberian platform)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanikh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2005, no. 7, p. 26-30.

Parfenova T.M., Bakhturov S.F., Shabanov Yu.Ya. *Organicheskaya geokhimiya nefteproduyashchikh porod kuonamskoy svity kembriya (vostok Sibirskoy platformy)* [Organic geochemistry of Cambrian oil-producing rocks of Kuonamka Formation (East Siberian platform)]. *Geologiya i geofizika*, 2004, no.7, p. 911-923.

Parfenova T.M., Korovnikov I.V., Ivanova E.N., Melenevskiy V.N. *Geokhimiya organicheskogo veshchestva nefteproduyashchikh porod srednego kembriya (severo-vostok Sibirskoy platformy)* [Geochemistry of organic matter of oil-producing Middle Cambrian rocks (north-east of the Siberian platform)]. *Geologiya nefti i gaza*, 2011, no. 5, p. 64-72.

Peters K.E. Petroleum tricyclic terpanes: predicted physicochemical behavior from molecular mechanics calculations. *Organic Geochemistry*, 2000, vol. 31, p. 497-507.

Peters K.E., Moldowan J.M. *The biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice Hall (New Jersey), Englewood Cliffs, 1993, 363 p.

Petrov A.A. *Uglevodorody nefti* [Petroleum hydrocarbons]. Moscow: Nauka, 1984, 264 p.

Seifert W.K., Moldowan J.M. The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, vol. 43, p. 111-126.

© Парфенова Т.М., Каширцев В.А., Коровников И.В., 2014