№ 11с ◆ 2022

УДК 552.578

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ НЕФТЕНОСНОСТИ ПОРОД ИНИКАНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ НА ЮГО-ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Т. М. Парфенова[1,2], Д. С. Мельник[1,2], И. В. Коровников[1,2]

[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН; [2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Современное исследование кембрийских отложений показало, что вблизи г. Покровска на территории Лено-Амгинского междуречья скважинами вскрыт мощный разрез обогащенных органическим веществом пород иниканской свиты. Установлено, что породы являются потенциально нефтепроизводившими, обладают высоким и умеренным остаточным генерационным потенциалом, катагенез органического вещества соответствует начальной стадии мезокатагенеза. В иниканской свите выявлены автохтонные, паравтохтонные и аллохтонные битумоиды. Последние сосредоточены в породах ее нижней части. Это позволяет рассматривать иниканскую свиту на юго-востоке Сибирской платформы в качестве нетрадиционного источника углеводородного сырья – сланцевой нефти. Формирование мигрировавших битумоидов связано с генерацией нефтей двумя генетическими источниками: первый – породы иниканской свиты, второй – породы докембрия. Углеводороды паравтохтонных и аллохтонных битумоидов биодеградированы.

***Ключевые слова**: нефтепроизводившие породы, битумоиды, катагенез ОВ, нефтеносность, кембрий, Сибирская платформа.*

GEOCHEMICAL PREREQUISITES FOR OIL CONTENT OF THE LOWER AND MIDDLE CAMBRIAN INIKAN FORMATION ROCKS IN THE SOUTHEAST OF THE SIBERIAN PLATFORM

T. M. Parfenova[1,2], D. S. Melnik[1,2], I. V. Korovnikov[1,2]

[1]A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS; [2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Modern study of Cambrian deposits on the territory of the Lena-Amga interfluve near Pokrovsk shown that wells penetrated a thick section of the Inikan Formation rocks enriched with organic matter (OM). It was established that rocks were potentially oil-generating, with high and moderate remaining generative potential, the OM catagenesis corresponds to the initial stage of mesocatagenesis. Autochthonous, parautochtonous and allochtonous bitumens were identified in the Inikan Formation. Allochtonous bitumens are concentrated in the rocks of its lower part. This makes it possible to consider the Inikan Formation in the southeast of the Siberian Platform as an unconventional source of hydrocarbon raw materials – shale oil. The origin of migrated bitumens is associated with the generation of oils by two genetic sources: the first one is the rocks of the Inikan Formation, the second one is the Precambrian rocks. Hydrocarbons of parautochthonous and allochtonous bitumen are biodegraded.

***Keywords:** source rocks, bitumens, organic matter catagenesis, oil content, Cambrian, Siberian Platform.*

DOI 10.20403/2078-0575-2022-11c-64-71

Поиск новых месторождений углеводородов в слабоизученных районах нефтегазоносных областей (НГО) Сибирской платформы является актуальной задачей. Открытие залежей нефти и газа на юго-востоке региона связывают с современным геологическим, геофизическим и геохимическим исследованием докембрийских и кембрийских отложений. Известно, что на востоке изучаемой территории распространен черносланцевый куонамский комплекс нижнего и среднего кембрия, породы которого рассматривают в качестве потенциально нефтегазопроизводящих, нефтеносных и как ресурс альтернативного углеводородного (УВ) сырья [2, 3, 6–9, 13, 14].

В основном коллекции пород куонамской, иниканской свит и их фациальных аналогов (сэктэнской и синской свит) изучают по материалам из обнажений. В XXI в. начали анализировать керн скважин на современном уровне [1, 3, 4, 13, 14]. Настоящая работа направлена на исследование особенностей геохимии пород и их битумоидов, уточнение стратиграфии куонамского комплекса северного склона Алданской антеклизы на территории Лено-Амгинского междуречья.

Материалы и методы

Материалом для исследования является керн гидрогеологической скв. Красный ручей 5 на правом берегу р. Лена напротив г. Покровска. Палеонтологическое и биостратиграфическое изучение выполнено на основе анализа образцов из интервалов от 393 до 180 м. Для геохимического исследования собрана коллекция пород из интервалов отбора 354–228 м (рис. 1). В керне встречены макроскопические битумопроявления. Перед дроблением для последующего анализа пород выполнена холодная экстракция этих битумов из камней (результаты их изучения будут представлены в следующих публикациях).

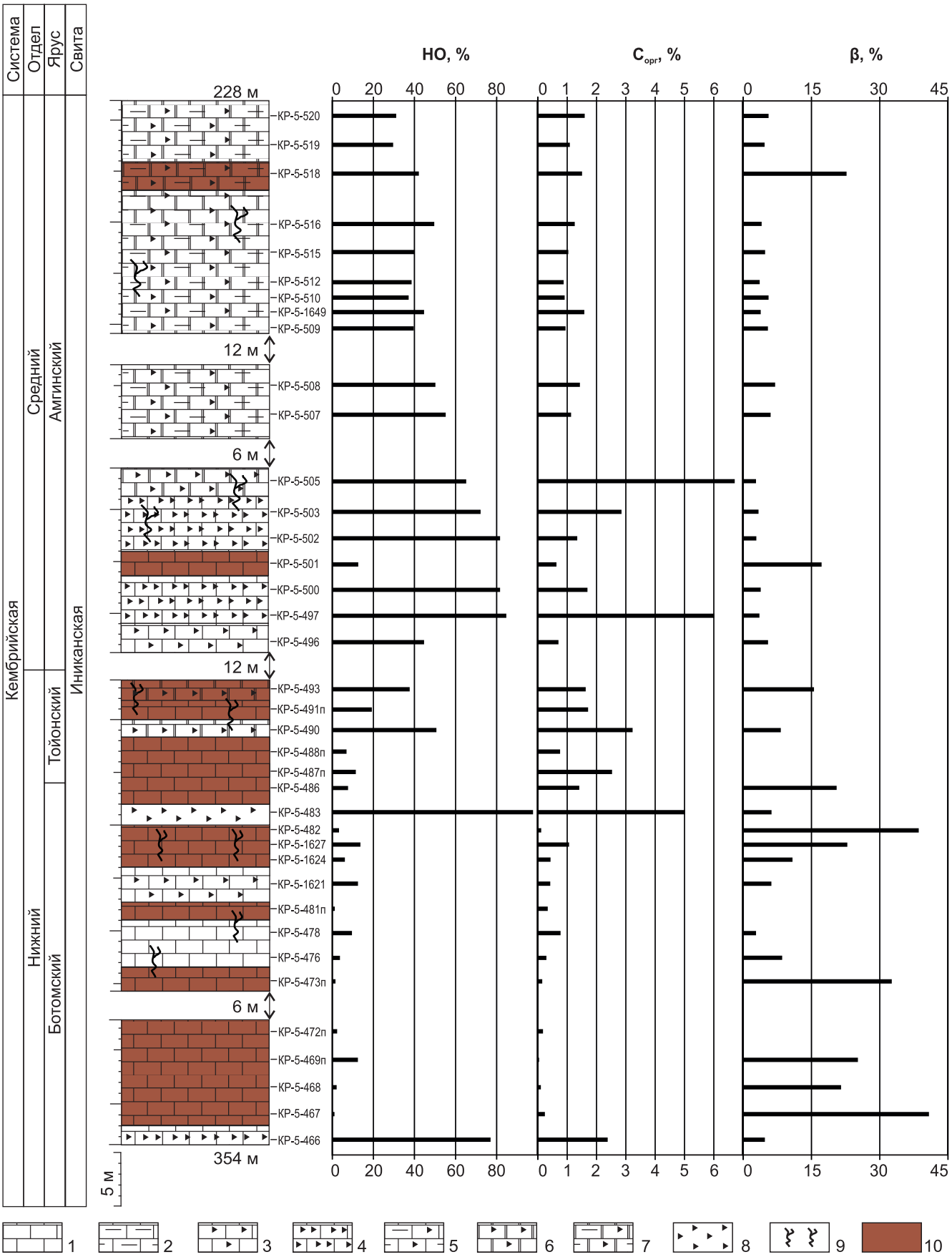

Рис. 1. Изменение содержаний нерастворимого остатка, органического углерода и битумоидного коэффициента в породах иниканской свиты по разрезу в скв. Красный Ручей 5

1 – известняк; 2 – известняк глинистый; 3 – кремнисто-известковая порода, известковый силицит; 4 – известково-кремнистая порода; 5 – кремнисто-глинисто-известковая порода; 6 – кремнистый доломит; 7 – глинисто-кремнистый доломит; 8 – силицит; 9 – вертикальные трещины; 10 – битуминозные породы

Исследование пород и ОВ проводилось по методике, принятой в ИНГГ СО РАН. Породы дробили до 0,25 мм. Навески порошков обрабатывали 10%-ной соляной кислотой для получения нерастворимых остатков (НО). На приборе АН-7529 путем сжигания проб НО в токе кислорода определяли содержание органического углерода ($C_{орг}$) на НО и на породу в массовых процентах. Пиролиз порошков пород и НО выполняли на приборе SR-Analyzer–POPI (Pyrolytic Oil Productivity Index) в режимах определения TPH/TOC (Total Petroleum Hydrocarbons/Total Organic Carbon).

Битумоиды экстрагировали хлороформом при комнатной температуре из порошков пород с использованием центрифуги (ЦДС-2). Экстракты очищались ртутью от элементарной серы. Петролейным эфиром из битумоидов выделяли асфальтеновые компоненты. Оставшиеся мальтены делили на фракции методом хроматографии на стеклянной колонке. Таким образом определяли групповой состав битумоидов.

Фракции насыщенных УВ анализировали методами газожидкостной хроматографии (ГЖХ) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС). ГЖХ проводили на приборе Agilent 7820A, оснащенном кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м и внутренним диаметром 0,25 мм с толщиной нанесения фазы HP-5 0,25 мкм. Газ-носитель – гелий. Начальная температура 100 °С, последующий нагрев 4 °С/мин, конечная температура 290 °С. Для ХМС использовали установку, состоящую из хроматографа Agilent 6890 и спектрометра с масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф оборудован кварцевой капиллярной неполярной колонкой HP-5 (длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина нанесения неподвижной фазы 0,25 мкм). Газ-носитель – гелий. Запись ионного тока проходила в полном сканирующем режиме (m/z 50–550) и по заданным ионам. Энергия и температура ионизации 70 eV и 290 °С соответственно. Идентификацию индивидуальных соединений проводили путем сравнения масс-спектров с опубликованными материалами и библиотекой масс-спектров NIST04.

Результаты и их обсуждение

Исследование палеонтологии и стратиграфии показало, что в скв. Красный ручей 5 можно выделить нижнюю часть чайской свиты, а также иниканскую и верхи пестроцветной. Комплексы трилобитов, которые датируют вмещающие их породы, обнаружены только в чайской свите. В инт. 185–192 м встречены трилобиты *Hypagnostus* sp., *Liostracus* cf. *latigenuinus*, характерные для зоны Corynexochus perforathus – Anopolenus henrici майского яруса среднего кембрия. Ниже по разрезу в инт. 192–222 м найдены трилобиты *Ptychagnostus atavus, Eodiscus punctatus, Solenopleura* sp., *Triplagnostus gibbus*, типичные для региональной зоны Tomagnostus fissus – Paradoxides sacheri майского яруса среднего кембрия. Нижележащие обогащенные ОВ породы, изученные из инт. 228–354 м (мощностью не меньше 126 м), ранее относили к синско-куторгиновой толще, так как в разрезах из обнажений на р. Лена суммарная мощность синской и куторгиновой свит более 150 м. В этих породах не удалось обнаружить палеонтологических остатков. Комплекс трилобитов из углеродистых пород изучен по материалам расположенной рядом скв. Хоточу 7. Первые результаты представлены в работе [10]. Выполненная корреляция разрезов скважин Красный ручей 5 и Хоточу 7 позволила определить возраст и отнести обогащенные ОВ породы к иниканской свите.

Установлено, что в породах иниканской свиты содержание $C_{орг}$ обычно больше 0,5 %, среднее 1,47 %, причем по разрезу они меняются: растут с увеличением содержания НО. Исследование подтверждает зависимость содержания $C_{орг}$ от состава пород, полученную ранее [3, 7, 9, 11 и др.]. Наиболее обогащены $C_{орг}$ породы с преимущественно глинистой и кремнистой составляющей – глинистые, карбонатно-кремнисто-глинистые, карбонатно-кремнистые породы. Аномально высокие значения отмечены в образцах из средней части разреза (обр. КР-5-505 – 6,70 %, КР-5-497 – 6,00 %, КР-5-483 – 5,01 %) (см. рис. 1). Обеднены $C_{орг}$ (до 0,04 %) известняки. Большую часть коллекции пород составляют образцы с содержанием $C_{орг}$ до 1,5 %.

По содержанию $C_{орг}$ в породах, по литологии, пиролитическим и битуминологическим характеристикам, значению битумоидного коэффициента (β), особенностям состава алканов коллекция пород разделена на две группы (см. таблицу).

Выделены углеродистые и низкоуглеродистые породы, содержащие преимущественно автохтонный битумоид. Битуминозность меньше 10 % (см. таблицу). Среди этих пород обособляются породы смешанного карбонатно-глинисто-кремнистого состава и силициты с содержанием НО 30–98 %, $C_{орг}$ 0,7–6,7 % и слабообогащенные ОВ известняки с содержанием НО до 13 % и $C_{орг}$ меньше 1 %.

Ко второй группе отнесены низкоуглеродистые породы карбонатного или смешанного глинисто-кремнисто-карбонатного состава, содержащие преимущественно мигрировавший битумоид. Для ОВ этих пород характерна повышенная битуминозность (β > 10 %). Особенности состава и распределения алканов позволили выделить две подгруппы пород: к одной отнесены породы, обогащенные паравтохтонным битумоидом, к другой – содержащие мигрировавшие из нижележащих отложений нафтиды, среди УВ которых обнаружены 12- и 13-монометилалканы. Битумоиды последних, вероятно, представляют собой смесь паравтохтонного и аллохтонного битумоидов.

Для пород, первично обогащенных ОВ, пирограммы имеют типичный вид, характерный для нефтематеринских пород – низкий пик «битумоидной» S_1 и высокий «керогеновой» S_2 составляющих.

Характеристика пород и ОВ иниканской свиты

Геохимический показатель		Группа пород			
		Углеродистые и низкоуглеродистые с преимущественно автохтонным битумоидом		Низкоуглеродистые с преимущественно мигрировавшим битумоидом	
		Карбонатные, смешанного состава, кремни	Карбонатные	Карбонатные, смешанного состава с паравтохтонным битумоидом	Карбонатные, реже смешанного состава с аллохтонным битумоидом
НО, %		30–98 56	4–13 9	14–38 26	1–13(42)* 6
$C_{орг}$, %		0,7–6,7 2,2	0,3–0,8 0,5	1,1–1,6 1,3	0,04–1,4 0,4
Пиролиз	S_1, мг УВ/г породы	0,10–1,01 0,33	0,11–0,11 0,11	0,27–0,35 0,31	0,05–0,40** 0,23
	S_2, мг УВ/г породы	2,73–31,20 7,97	1,08–1,72 1,40	2,98–6,37 4,68	1,10–8,05** 4,58
	PI	0,03–0,06 0,04	0,06–0,9 0,08	0,05–0,08 0,07	0,04–0,22*** 0,14
	HI, мг УВ/г $C_{орг}$	339–578 444	223–257 240	284–393 338	157–537*** 345
	T_{max}, °C	434–441 438	435–437 436	436–437 436	423–443*** 434
$b_{хл}$, %		0,041–0,408 0,133	0,028–0,034 0,032	0,319–0,333 0,326	0,013–0,452 0,233
β, %		2,8–8,2 4,8	2,8–8,5 5,8	15,5–22,8 19,1	10,7–40,8 25,9
Групповой состав битумоидов	Насыщенные	5,2–24,3 15,1	8,7–9,2 9,0	6,0–9,6 7,8	7,3-15,0 11,4
	Ароматические	16,0–33,3 23,7	18,9–19,7 19,2	16,7–18,9 17,8	11,1-23,8 16,5
	Сумма УВ	25,4–48,5 38,9	27,6–28,6 28,2	24,9–26,3 25,6	19,5-36,1 28,0
	Смолы	32,9–55,6 44,8	42,2–46,5 44,7	49,5–49,9 49,7	34-52,8 41,7
	Асфальтеновые компоненты	7,8–34,6 16,0	26,0–29,2 27,1	23,7–25,6 24,7	21,1-44,2 30,4
Pr/Ph		0,41–1,15 0,76	0,30–0,92 0,58	0,71–0,84 0,78	0,37–0,77 0,60
Pr/n-C_{17}		0,32–2,85 1,05	0,37–1,00 0,64	0,45–0,60 0,53	0,41–1,34 0,65
Ph/n-C_{18}		0,41–1,88 1,03	0,61–1,00 0,77	0,51–0,75 0,63	0,52–1,38 0,80
n-C_{27}/n-C_{17}		0,10–1,49 0,63	0,51–0,72(2,8) 0,62	0,38–1,74 1,06	0,39–1,93(4) 1,05
Σn-Ci/Σizo-Ci		1,41–9,79 5,05	4,21–10,89 7,83	7,04–12,46 9,75	5,95–16,67 8,47
CPI		0,91–1,27 1,07	0,98–1,06 1,02	0,88–1,07 0,97	0,91–1,04 0,96

Примечания. В числителе – разброс значений, в знаменателе – среднее. * – аномальные значения (не учитывались при расчете средних); ** – по двум образцам пород; *** – по двум образцам пород и семи образцам НО.

Для всей коллекции образцов отмечена прямая зависимость S_1 и S_2 от содержания $C_{орг}$. Нефтегенерационный потенциал пород ($S_1 + S_2$) меняется в интервале 1–32 мг УВ/г породы. По классификации [15] породы иниканской свиты в основном можно отнести к обладающим высоким и умеренным генерационным потенциалом.

Прослежена связь между значениями индекса продуктивности (PI) и содержаниями $C_{орг}$. Для пород, обогащенных ОВ, характерны низкие значения PI (до 0,06); для карбонатных пород с аллохтонным битумоидом – высокие (см. таблицу). Нередко на пирограммах для последних пород фиксируется раздвоенный пик S_2, что свидетельствует о вкладе

мигрировавшего битумоида. Значения водородного индекса (HI), как правило, выше 200 мг УВ/г $C_{орг}$, что свидетельствует о соответствии пород иниканской свиты ОВ типу II – аквагенному морскому. Значения T_{max} лежат в интервале 434–441 °С для образцов с автохтонным битумоидом и 423–443 °С – с мигрировавшим. Изменение PI, HI, T_{max} показывает, что иниканские отложения достигли начальной стадии мезокатагенеза ОВ, т. е. главной зоны нефтеобразования [9, 15]. Пиролиз пород скв. Красный ручей 5 подтверждает и дополняет результаты и закономерности, полученные ранее [3, 5, 6, 11, 14]. Анализ опубликованных материалов по изменению T_{max} и HI ОВ пород из обнажений рек Юдома и Мая, указывает, что катагенез ОВ и реализация генерационного потенциала пород иниканской свиты восточнее Лено-Амгинского междуречья были выше.

Ранее было показано, что для пород иниканской свиты характерны следующие содержания битумоидов: 0,30–1,15 % [3], 0,064–0,294 % [11], 0,063–0,224 % [14].

Для кремней и карбонатно-кремнистых пород выходы автохтонного битумоида ($b_{хл}$) максимальны и достигают 0,408 % (см. таблицу), β не превышает 8,2 %, содержание УВ в битумоидах пород составляет 25,4–48,5 %, на долю насыщенных в среднем приходится 15,1 %, ароматических – 23,7 %. Это максимальные концентрации УВ по сравнению с другими породами. Содержания смол и асфальтеновых компонентов в среднем 44,8 % и 16,0 % соответственно. Для известняков с автохтонным ОВ характерны пониженные выходы битумоидов. Они обеднены ОВ. Значения β в среднем 5,8 %. Для битумоидов этих пород типичны меньшие содержания УВ, но большие – асфальтенов (см. таблицу). Установлена прямая связь между содержаниями $C_{орг}$ и $b_{хл}$. Эта закономерность была показана ранее сибирскими исследователями [3, 9, 14].

Кремнисто-карбонатным породам с преимущественно паравтохтонным битумоидом при тех же содержаниях $C_{орг}$ свойственны повышенные значения $b_{хл}$ (до 0,333 %), β = 15,5–22,8 % (см. таблицу). Это указывает на миграционную природу битумоида, который накапливался в трещиноватых и кавернозных породах преимущественно карбонатного состава. Суммарное содержание УВ пониженное по сравнению с другими битумоидами. Концентрации смол и асфальтенов в среднем 49,7 и 24,7 % соответственно.

Для низкоуглеродистых, как правило карбонатных, пород, обогащенных аллохтонным битумоидом, наблюдаются повышенные значения $b_{хл}$ (до 0,452 %, в среднем 0,233 %) (см. таблицу), β = 10,7–40,8 %. Следует обратить внимание, что большинство образцов этих пород приурочено к нижней части разреза, к инт. 321-354 м (см. рис. 1). В групповом составе битумоидов содержание УВ в среднем 28 %, смол 41,7 %, асфальтеновых компонентов 30,4 % (см. таблицу).

Несмотря на представленные различия автохтонных и мигрировавших битумоидов по групповому составу, содержания их фракций часто имеют близкие значения (см. таблицу). Это свидетельствует о генетическом родстве битумоидов. Известно [9], что, как правило, автохтонные битумоиды беднее углеводородами и богаче смолисто-асфальтеновыми компонентами. Особенности группового состава битумоидов пород из керна скв. Красный Ручей 5 показывают обратную картину.

На ГЖ-хроматограммах метанонафтеновых фракций автохтонных битумоидов видно, что для них типично низкое содержание высокомолекулярных n-алканов (рис. 2, а). Как правило, наблюдается два типа распределения УВ. Для первого характерен пик, приходящийся на n-C_{19}–C_{21}, содержания пристана и фитана ниже n-C_{17} и n-C_{18} соответственно (см. рис. 2, а). Для второго типа максимум распределения алканов отмечается на n-$C_{17–19}$, содержания Pr и Ph выше n-C_{17} и n-C_{18}. Для углеродистых и низкоуглеродистых силицитов и карбонатно-кремнистых пород отношения Pr/Ph, как правило, варьируют в пределах 0,41–1,15, в среднем 0,76 (см. таблицу). Это свидетельствует о восстановительных условиях при формировании осадка. Средние значения отношений пристана к нормальному алкану C_{17} и фитана к n-C_{18} – 1,05 и 1,03 соответственно. В сравнении со значениями, свойственным другим битумоидам иниканской свиты, они повышены. Значения Σn-C_i/Σizo-C_i в среднем составляют 5,05, отношения n-C_{27} к n-C_{17} в среднем 0,63. Значения меньше 1 характерны для аквагенного морского ОВ. Индекс CPI (коэффициента нечетности) в среднем равен 1,07 (см. таблицу).

Хроматограммы фракций насыщенных УВ автохтонных битумоидов из известняков в целом очень похожи на уже рассмотренные. Отличие заключается в смещенном максимуме в область высокомолекулярных нормальных алканов (см. рис. 2, б). Для УВ битумоидов известняков отмечены пониженные отношения Pr/Ph (0,30–0,92). Средние значения Pr/n-C_{17} и Ph/n-C_{18} составляют 0,64 и 0,77 соответственно, Σn-C_i/Σizo-C_i – 7,83, n-C_{27}/n-C_{17} – в среднем 0,62. Значения коэффициента нечетности лежат в пределах 0,98–1,06 (см. таблицу).

На ГЖ-хроматограммах насыщенных УВ паравтохтонных битумоидов максимумы распределения часто фиксируются на алканах n-C_{21}–C_{25}, n-C_{30}–C_{35}. Содержание низкомолекулярных n-алканов понижены. Наблюдаются «нафтеновые горбы» [12]. Выделяются пики терпановых УВ, что подтверждено исследованием методом ХМС (см. рис. 2, в). В целом разброс значений Pr/Ph и CPI схож с этими параметрами для автохтонных битумоидов (см. таблицу), что указывает на генетическую связь между автохтонными и паравтохтонными битумоидами. Пониженные средние значения Pr/n-C_{17} и Ph/n-C_{18} на уровне 0,5 и 0,6 соответственно, а также повышенные Σn-Ci/Σizo-Ci (9,75) и n-C_{27}/n-C_{17} (1,06)

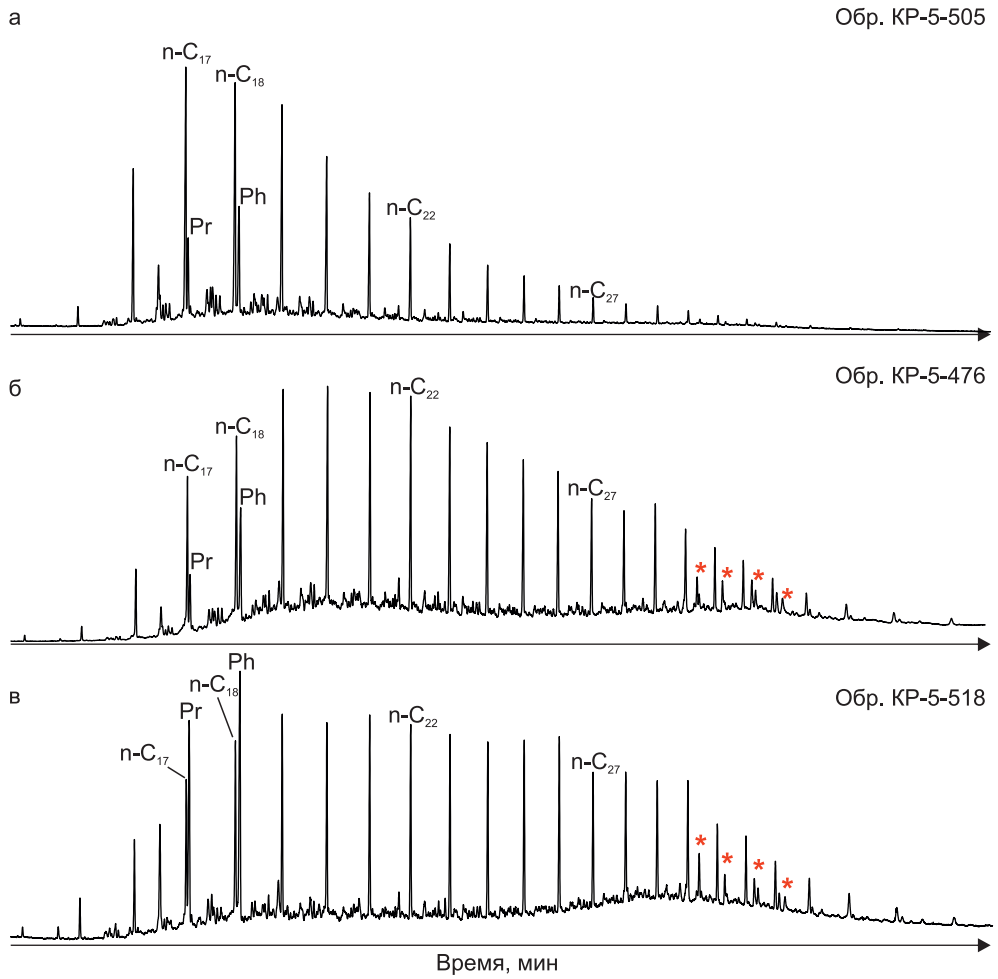

Рис. 2. Типовые газожидкостные хроматограммы насыщенных фракций автохтонных (а, б) и паравтохтонных (в) битумоидов из пород иниканской свиты

Pr – пристан, Ph – фитан, n-C_i – нормальные алканы, где i – количество атомов углерода в молекуле; звездочкой обозначены терпаны

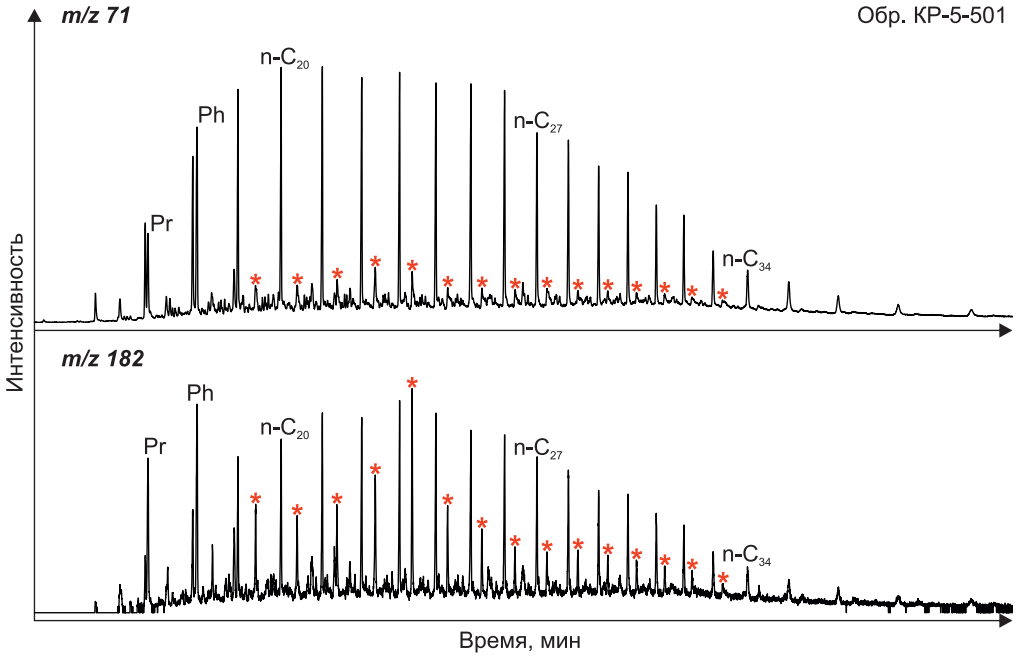

Рис. 3. Масс-хроматограммы по m/z 71 и 182 насыщенной фракции преимущественно аллохтонных битумоидов из породы иниканской свиты

Pr – пристан, Ph – фитан, n-C_i – нормальные алканы, где i – количество атомов углерода в молекуле; звездочкой обозначены сдвоенные пики 12- и 13-монометилалканов

интерпретированы нами как результат биодеградации низкомолекулярных алканов нормального строения.

На ГЖ-хроматограммах насыщенных фракций аллохтонных битумоидов фиксируются широкие области повышенных содержаний n-C_{20}–C_{26} и «нафтеновых горбов», отмечаются повышенные пики терпанов. Обычно значения Pr/Ph и CPI близки к этим отношениям автохтонных и паравтохтонным битумоидов (см. таблицу), что указывает на родство битумоидов. Средние значения Pr/n-C_{17} и Ph/n-C_{18} составляют 0,65 и 0,80 соответственно, n-C_{27}/n-C_{17} – на уровне 1; отношения Σn-C_i/Σizo-C_i повышены до 16,68. Алканы аллохтонных битумоидов биодеградированы, так же как паравтохтонных. Вывод о начальной стадии биодеградиции нафтидов кембрия, генерированных ОВ иниканской свиты, на территории Лено-Амгинской междуречья впервые сделан В. А. Каширцевым с коллегами [4]. На ГЖ-хроматограммах идентифицированы 12- и 13-монометилалканы. Изучение насыщенных фракций битумоидов с применением ХМС позволило это подтвердить. На масс-хроматограммах по m/z 71 и 182 идентифицированы 12- и 13-монометилалканы (рис. 3), которые являются редкими биомаркерами, впервые обнаруженными в древних нефтях докембрия и кембрия на Сибирской платформе [12].

Присутствие 12- и 13-монометилалканов в битумоидах иниканских пород свидетельствует, что эти преимущественно мигрировавшие битумоиды представляют собой смесь аллохтонного и паравтохтонного битумоидов. Их источником было ОВ докембрийских отложений и иниканской свиты. Известно, что в осадочных комплексах на северном склоне Алданской антеклизы установлены разрывные нарушения [2]. В керне скв. Красный Ручей 5 отмечены многочисленные субвертикальные трещины (см. рис. 1). Это позволяет предполагать, что в карбонатные породы мигрировали нафтиды из нижележащих отложений. Исследование нефтенасыщенного керна усть-юдомской свиты венда и тумулдурской свиты нижнего кембрия из колонковой скв. 37, пробуренной на р. Амга в 20 км выше пос. Верхняя Амга (Лено-Амгинское междуречье), позволило обнаружить в них в аномальных концентрациях 12- и 13-монометилалканы [4], характерные для древних нефтей Непско-Ботуобинской и Юрубчено-Тохомской НГО. Вероятно, названные нами преимущественно аллохтонными битумоиды скв. Красный Ручей 5 являются результатом вертикальной миграции (перетока) нефтей по трещинам в породы иниканской свиты.

Выводы

В результате нового геохимического исследования иниканской свиты выявлено, что породы неравномерно обогащены ОВ. Значения HI, отношения Pr/Ph на уровне 1, максимум распределения нормальных алканов автохтонных битумоидов, приходящийся на n-$C_{17–19}$, позволили отнести ОВ к типу II (аквагенному морскому). Породы обладают высоким генерационным потенциалом на северном склоне Алданской антеклизы. Органическое вещество зрелое, его катагенез соответствует $МК_1^1$ (по шкале [9]). Высокие значения β (до 40,8 %) и PI (до 0,22) свидетельствуют о присутствии мигрировавших битумоидов в иниканской свите. Это позволяет рассматривать иниканскую свиту в качестве нетрадиционного источника углеводородного сырья. Особенности состава алканов изученных битумоидов показывают, что нефтеносность иниканской свиты может быть связана с двумя генетическими источниками: 1) вмещающими обогащенные ОВ породами нижнего и среднего кембрия, 2) докембрийскими нефтепроизводившими породами. Вероятно, причиной повышенных содержаний асфальтеновых компонентов и пониженных концентраций УВ в групповом составе мигрировавших битумоидов является установленная биодеградация нормальных алканов.

Работа выполнена по проектам № FWZZ-2022-0011, FWZZ-2022-0012 государственной программы фундаментальных научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Биомаркеры-фенантрены** в органическом веществе разновозрастных отложений и в нефтях Сибирской платформы / В. А. Каширцев, Т. М. Парфенова, А. К. Головко и др. // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 10. – С. 1720–1729.

2. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.

3. **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. – С. 87–91.

4. **Геохимия** венд-кембрийских нефтепроявлений Лено-Амгинского междуречья (Сибирская платформа) / В. А. Каширцев, К. И. Микуленко, А. Ф. Сафронов и др. // Актуальные вопросы геологии нефти и газа Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ СО РАН, 2004. – С. 156–168.

5. **Дахнова М. В., Жеглова Т. П., Можегова С. В.** Генерационные характеристики ОВ и распределение биомаркеров в битумоидах нефтематеринских пород рифея, венда и кембрия Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5–6. – С. 953–961.

6. **Каширцев В. А.** Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ СО РАН, 2003. – 160 с.

7. **Кембрий** Сибирской платформы (Юдомо-Оленекский тип разреза. Куонамский комплекс отложений) / В. Е. Савицкий, В. М. Евтушенко, Л. И. Егорова и др. – М.: Недра, 1972. – 200 с.

8. **Кембрийские** отложения доманикового типа востока Алданского щита / Б. С. Неволин, С. В. Потапов, В. Т. Гудзенко, Ф. В. Каминский // Сов. геология. – 1974. – № 3. – С. 83–94.

9. **Конторович А. Э.** Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. – М.: Недра, 1976. – 250 с. – (Тр. СНИИГГиМС, вып. 229).

10. **Коровников И. В.** Трилобиты иниканской свиты среднего кембрия северо-запада Алданской антеклизы (скв. Хоточу-7 и Красный Ручей-5) // Палеонтология и стратиграфия: современное состояние и пути развития: матер. LXVIII сес. Палеонт. об-ва при РАН, посвящ. 100-летию со дня рождения А. И. Жамойды. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2022. – С. 70–71.

11. **Нефтематеринские** формации, нефти и газы докембрия и нижнего – среднего кембрия Сибирской платформы / Т. К. Баженова, М. В. Дахнова, Т. П. Жеглова и др. – М.: ВНИГНИ, 2014. – 128 с.

12. **Петров Ал. А.** Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 263 с.

13. **Соболев П. Н.** О перспективах добычи сланцевой нефти в куонамской битуминозной формации в Восточной Сибири // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2020. – № 4. – С. 14–19.

14. **Соболев П. Н., Попова М. В., Прокудин С. Г.** Доманикоидные отложения иниканской свиты нижнего – среднего кембрия в скважине Усть-Майская 366 (юго-восток Сибирской платформы) // Черные сланцы: геология, литология, геохимия, значение для нефтегазового комплекса, перспективы использования как альтернативного углеводородного сырья: матер. Всерос. науч.-практ. конф., 23–25 июля 2015 г. – Якутск: Асхаан, 2015. – С. 81–84.

15. **Тиссо Б., Вельте Д.** Образование и распространение нефти. – М.: Мир, 1981. – 502 с.

© Т. М. Парфенова, Д. С. Мельник,
И. В. Коровников, 2022