НОВЫЕ НАХОДКИ БИОДЕГРАДИРОВАННЫХ НАФТИДОВ В ПОРОДАХ ХАТЫСПЫТСКОЙ СВИТЫ ВЕНДА ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ

Д.С.Мельник

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

Исследована геохимия органического вещества и пород из новых разрезов хатыспытской свиты венда на Оленекском поднятии. Анализ битумоидов позволил выявить в шести пробах признаки глубокой биодеградации насыщенных углеводородов, деметилированные терпаны. Настоящая работа нацелена на выявление особенностей состава компонентов ОВ пород, содержащих биодеградированные битумоиды, и оценку пород хатыспытской свиты в качестве потенциально нефтематеринских. Установлено, что породы обогащены органическим веществом, которое накапливалось в восстановительных условиях с возможным сероводородным заражением придонных вод, водная толща была стратифицирована. Зрелость ОВ на Оленекском поднятии соответствует начальным стадиям мезокатагенеза (началу нефтяного окна), оно могло генерировать нафтиды. Сравнительный молекулярный анализ насыщенных углеводородов показал, что источником биодеградированных битумоидов было рассеянное органическое вещество хатыспытской свиты. Особенности распределения углеводородов свидетельствуют о нескольких этапах первичной миграции битумоидов. Предполагается, что в хатыспытской свите могут быть распространены не только потенциально нефтематеринские породы, но и породы, вторично обогащенные нафтидами.

Ключевые слова: биомаркеры, нафтиды, нефтематеринские породы, хатыспытская свита, венд, Сибирская платформа.

NEW FINDINGS OF BIODEGRADED NAPHTHIDES IN ROCKS OF THE VENDIAN KHATYSPYT FORMATION OF THE OLENEK UPLIFT

D.S.Melnik

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

The geochemistry of organic matter (OM) and rocks from new sections of the Vendian Khatyspyt Formation on the Olenek uplift has been studied. The analysis of bitumens revealed signs of deep biodegradation of saturated hydrocarbons (HCs), demethylated terpanes in six samples. The present work is aimed at identifying the composition features of the OM components from rocks, containing biodegraded bitumens and assessing the Khatyspyt Formation rocks as potentially source ones. It was found that the rocks are enriched with OM, which accumulated under reducing conditions with possible sulphurous contamination of near–bottom waters, the water column was stratified. Its maturity on the Olenek Uplift corresponds to the initial stages of mesocatagenesis (the early oil window), it could generate naphthides. Comparative molecular analysis of saturated HCs showed that the source of biodegraded bitumens was represented by the dispersed OM of the Khatyspyt Formation. The peculiarities of HCs distribution indicate several stages of primary migration of bitumens. It is assumed that not only potentially oil source rocks can be distributed in the Khatyspyt Formation, but also rocks that are re-enriched with naphthides.

Keywords: biomarkers, naphthides, source rocks, Khatyspyt Formation, Vendian, Siberian Platform.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-2-48-56

На северо-востоке Сибирской платформы в отложениях вендского и раннекембрийского возраста известны скопления битумов. На Оленекском поднятии они сосредоточены в туркутской свите венда и кессюсинской серии венда и кембрия [3, 10, 13 и др.], а к востоку от Анабарского массива встречены в разрезе старореченской свиты венда [4, 8]. Одним из их источников могли быть потенциально нефтематеринские породы хатыспытской свиты венда, залегающей под туркутской [3, 4, 13]. Изучение геохимии рассеянного органического вещества (OB) пород хатыспытской свиты остается актуальной задачей региональных работ по оценке перспектив нефтегазоносности региона [1, 2, 11, 13].

Исследование крупной коллекции образцов пород хатыспытской свиты, начатое в 2017 г. и на-

правленное на детальное изучение геохимии пород и компонентов OB, позволило выявить среди УВ насыщенных фракций серию деметилированных 25-норгопанов, три- и тетрацикланов, что свидетельствует о биодеградации некоторых битумоидов хатыспытской свиты [6, 17]. Было проведено дополнительное исследование пород в шлифах, в трещинах и кавернах обнаружено концентрированное OB. Таким образом, было доказано, что породы свиты на некоторых уровнях содержат микропроявления битумов [6].

В рамках дальнейшего комплексного исследования неопротерозойских отложений северо-востока Сибирской платформы в 2018 г. автором была собрана новая коллекция пород хатыспытской свиты для исследования органической геохимии пород из неизученных разрезов. Анализ углеводородов битумоидов позволил обнаружить в шести пробах признаки биодеградации УВ.

Цель работы — установить особенности состава компонентов ОВ пород, содержащих биодеградированные битумоиды, оценить породы хатыспытской свиты в качестве потенциально нефтематеринских.

Материалы и методы

Коллекция пород (56 образцов) неопротерозойских отложений собрана в ходе экспедиционных работ на Оленекском поднятии в бассейне р. Хорбусуонка (рис. 1). Ранее геохимия пород и органического вещества хатыспытской свиты из разрезов 1853, 0607, 0603 не исследовалась. Настоящее сообщение начинает новый цикл работ по геохимии компонентов ОВ хатыспытской свиты. Основное внимание в статье сосредоточено на детальном изучении шести образцов пород, содержащих биодеградированные битумоиды.

Изучение пород и ОВ проводилось по стандартной методике, принятой в ИНГГ СО РАН. Породы дробились до 0,25 мм. Навески порошков обрабатывались 10%-ной соляной кислотой для получения нерастворимых остатков (НО). На приборе АН-7529 путем сжигания проб НО в токе кислорода определялось содержание органического углерода на НО и на породу в массовых процентах.



Рис. 1. Схема обнажений хатыспытской свиты на Оленекском поднятии по материалам [16] с дополнениями автора

 территория исследования; 2 – обнажения хатыспытской свиты; 3 – номер обнажения; 4 – обнажения, где обнаружены биодеградированные битумоиды по данным
[6]; 5 – обнажения, где обнаружены биодеградированные битумоиды Пиролиз порошков пород и нерастворимых остатков проводился на приборе SR-Analyzer—POPI (Pyrolytic Oil Productivity Index) в режимах определения TPH/TOC (Total Petroleum Hydrocarbons/Total Organic Carbon).

Холодная многократная экстракция битумоидов проводилась из порошков пород хлороформом с использованием центрифуги. От элементарной серы экстракты очищались ртутью. Групповой состав битумоидов определялся методом хроматографии; предварительно осаждались асфальтеновые компоненты.

Фракции насыщенных углеводородов анализировались методами газожидкостной хроматографии (ГЖХ) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС). ГЖХ проводилась 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 (выдерживалась 4 мин), последующий нагрев - 4 °С/мин, конечная температура – 290 °С (выдерживалась 4 мин). ХМС проводилась на установке, состоящей 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. Температурный режим - 100 °С (выдерживался 4 мин), дальнейший нагрев 4 °С/мин до 290 °С (выдерживался 20 мин). Запись ионного тока проходила в полном сканирующем режиме (m/z 50-550) и по заданным ионам. Энергия ионизации составляла 70 eV, температура ионизации – 290 °C. Идентификация индивидуальных соединений проводилась путем сравнения масс-спектров с опубликованными материалами и данными из библиотеки масс-спектров NIST04.

Использовался метод сравнительного анализа пород и молекулярного состава УВ с опубликованными данными по геохимии ОВ пород хатыспытской свиты, содержащих автохтонные и паравтохтонные, а также биодеградированные битумоиды [2, 6, 7].

Результаты исследований

Рассматриваемые в настоящей работе породы с биодеградированными битумоидами представлены известняками, известняками кремнистыми (3 пробы), силицитами известковыми (2 пробы) (рис. 2). Содержание нерастворимого остатка в породах 5,6–73,8 %, органического углерода 0,40 % в известняке, 0,25–1,26 % в породах смешанного состава (табл. 1). Выходы хлороформенных битумоидов составляют 0,026–0,220 % и растут с содержанием С_{орг} в породах (r = 0,77). Значения битумоидного коэффициента ($\beta = b_{xn}/1,33C_{opr}$) обычно 3,7– 7,7 %, в одном образце с наивысшими значениями С_{орг} и b_{xn} битумоидный коэффициент равен 13,1 %. Групповой состав битумоидов следующий: содержа-



ние насыщенных УВ 9,4–27,4 %, ароматических УВ 2,5–22,5 %, смол 54–64,6 %, асфальтенов 1,1–8,8 % (рис. 3, см. табл. 1).

Пиролиз пород показал следующее: значения «битумоидной» составляющей S₁ варьируют обыч-



но в пределах 0,02–0,12 мг УВ/г породы, «керогеновой» составляющей $S_2 - 0,43-4,77$ мг УВ/г породы. В одном образце с максимальным содержанием C_{opr} значения S_1 и S_2 равны 0,67 и 7,84 мг УВ/г породы соответственно (см. табл. 1). Значения S_2 возрастают с увеличением содержания C_{opr} (r = 0,98). Температура максимального выхода УВ (T_{max}) 429–436 °С. Индекс продуктивности PI = $S_1/(S_1+S_2) = 0,01-0,08$, водородный индекс HI = $S_2/C_{opr} = 170-622$ мг УВ/г C_{opr} (см. табл. 1). Установлено, что значения HI увеличиваются с ростом содержания C_{opr} в породах (r = 0,94).

Распределение алкановых УВ анализировалось по результатам ГЖХ. Максимум распределения нормальных алканов обычно приходится на область n-C₁₇-n-C₂₁, в одном образце представлен широкой областью пиков от n-C₁₈ до n-C₃₀ (рис. 4). На всех ГЖхроматограммах наблюдаются высокие пики терпановых УВ, часто превышающие пики нормальных алканов (см. рис. 4). «Нафтеновые горбы» (области неразделенных УВ) наблюдаются, как правило, во временном интервале, соответствующем выходу

Рис. 3. Тригонограмма группового состава биодеградированных битумоидов хатыспытской свиты

Биодеградированные битумоиды: 1 – выявленные ранее [6], 2 – обсуждаемые в настоящей статье

№ 2(50) ♦ 2022

Таблица 1

Образец		0602-46.1	0607-0.8	0607-26.4	0701-5.3	0701-59.0	1853-(-2.0)
HO, %		42,8	59,5	14,5	73,8	25,1	5,6
C _{opr} , %		1,03	1,26	0,25	0,63	0,81	0,40
b _{xл} , %		0,049	0,220	0,026	0,064	0,074	0,040
β, %		3,5	13,1	7,7	7,7	6,9	7,6
Насыщенные УВ, %		25,4	26,4	27,4	9,4	18,0	19,4
Ароматические УВ, %		14,0	2,5	7,7	20,9	22,5	20,2
Сумма УВ, %		39,4	29,0	35,1	30,3	40,5	39,7
Смолы, %		55,0	64,6	57,2	60,9	58,4	54,0
Асфальтены, %		5,6	6,5	7,7	8,8	1,1	6,3
Пиролиз пород	S ₁ , мг УВ/ г породы	0,10	0,67	0,02	0,12	0,05	0,06
	S ₂ , мг УВ/ г породы	4,77	7,84	0,43	2,72	4,14	0,80
	T _{max} , °C	429	430	434	436	429	431
	PI	0,02	0,08	0,04	0,04	0,01	0,07
	НІ, мг УВ/г С _{орг}	462	622	170	434	511	202

Геохимическая характеристика пород и органического вещества хатыспытской свиты

гопанов (см. рис. 4), и лишь в одном образце он наблюдается в области нормальных алканов. Установлено, что значения отношения пристана к фитану (Pr/Ph) лежат в пределах 0,46–0,82, отношения Pr/n-C₁₇ и Ph/n-C₁₈ – в пределах 0,2–0,3 и 0,3–0,5 соответственно. Индекс СРІ равен 1,0–1,1 (табл. 2). Во всех пробах в следовых количествах обнаружены 12- и 13-монометилалканы, часто их пики едва различимы на ГЖ-хроматограммах, однако отчетливо видны на масс-хроматограммах по *m/z* 182.

Распределение стеранов анализировалось на масс-хроматограммах по *m/z* 217, 218, 231, 414. Рас-

чет стерановых отношений выполнялся по площадям пиков на масс-хроматограммах по m/z 217. Распределение стеранов $C_{27}-C_{30}$ характеризуется преобладанием этилхолестана C_{29} . Его относительные концентрации составляют 56–61 % на сумму $C_{27} C_{30}$. Содержание холестана C_{27} на уровне 22–27 %, метилхолестана $C_{28} - 12-16$ %, пропилхолестанов $C_{30} - 2-3$ %. Отношение гомологов C_{29}/C_{27} 2,1–2,8. Значение стерановых коэффициентов зрелости C_{29} $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ и C_{29} 205/(205 + R) – 0,3–0,5 и 0,5 соответственно (см. табл. 2). Отношение диастеранов к регулярным стеранам ($\Sigma(C_{27}-C_{30})/(\beta\alpha/(\alpha\alpha + \beta\beta))$ =



Время

Таблица 2

Образец			0602-46.1	0607-0.8	0607-26.4	0701-5.3	0701-59.0	1853-(-2.0)
	Pr/Ph		0,83	0,71	0,69	0,46	0,63	0,46
	Pr/n-C ₁₇		0,32	0,32	0,20	0,19	0,30	0,19
анг	Ph/n-C ₁₈		0,41	0,53	0,31	0,35	0,40	0,35
Алк	n-C ₂₇ /n-C ₁₇		0,51	0,58	0,73	0,76	0,93	0,76
	n-C _i /izo-C _i		10	12	20	16	13	16
	CPI*		1,08	1,07	1,05	1,03	1,0	1,03
	В % на сумму	C ₂₇	25	26	23	21	27	23
		C ₂₈	16	12	13	16	15	15
_		C ₂₉	57	60	61	61	56	60
ЧH		C ₃₀	2	2	3	2	2	2
eda	C ₂₉ /C ₂₇		2,22	2,27	2,70	2,83	2,06	2,62
Ŀ	$C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$		0,5	0,3	0,5	0,5	0,4	0,5
	C ₂₉ 20S/(20S+20R)		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	ΣC_{27} -C ₃₀ βα/(αα+ββ)		0,13	0,13	0,14	0,12	0,33	0,10
	Стераны/прегнаны		4,5	11,5	7,4	6,7	6,0	5,4
	Гопаны и гомогопаны, %		81	83	84	80	76	86
	Моретаны, %		5	5	3	5	6	4
_	Трицикланы, %		11	10	10	12	13	7
ЧH	Тетрацикланы, %		3	2	3	3	4	3
епо	Ts/Tm		0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5
Tep	Гопаны С ₂₉ /С ₃₀		0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
	Гомогопаны C ₃₅ /C ₃₄		0,75	1,04	1,13	0,89	0,97	1,13
	Трициклановый индекс		1,1	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5
	Гаммацеран, %		9,8	6,5	3,7	10,7	6,3	4,3
Стераны+прегнаны/терпаны			0,16	0,24	0,18	0,14	0,21	0,14

Характеристика состава и распределения алканов, стеранов и терпанов насыщенных фракций битумоидов хатыспытской свиты

Примечания.* – Carbon preference index, CPI = $0.5 \times ((C_{25} - C_{33})_{\text{нечетные}}/(C_{26} - C_{34})_{\text{четные}} + ((C_{25} - C_{33})_{\text{нечетные}}/(C_{26} - C_{32})_{\text{четные}}).$



Рис. 5. Масс-хроматограммы по *m*/z 191 и 177 насыщенной фракции биодеградированного битумоида хатыспытской свиты

Tr_i — трицикланы, Tet_i — тетрацикланы, Ts — триснорнеогопан, Tm — трисноргопан, C_i — гопаны и гомогопаны, C₂₈ — 29,30-бисноргопан, dC_i, dTr_i, dTet_i — деметилированные 25-норгопаны, 25-трицикланы и 25-тетрацикланы соответственно

№ 2(50) ♦ 2022 –

= 0,10–0,33. Отношение стеранов C_{27} – C_{30} к прегнанам C_{21} – C_{22} варьирует от 5 до 12, в среднем 8.

Терпановые УВ исследовались на массхроматограммах по m/z 191, 177, 205, 369, 412, 426 и др. Расчет отношений индивидуальных соединений проводился с использованием площадей соответствующих пиков на хроматограммах по *m/z* 191. Среди терпанов насыщенных фракций изученных проб доминируют гопаны и гомогопаны (27-33 и 44-57 % соответственно), их суммарное содержание равно 76-86 %. На долю трицикланов приходится 7-13 %, тетрацикланов - 2-4 %, моретанов – 3–7 %. Распределение гопанов и трицикланов во всех пробах однотипно (рис. 5). Отношение триснорнеогопана к трисноргопану Ts/Tm = 0,4-0,6, адиантана к гопану $C_{29}/C_{30} = 0,6-0,8$, гомогопанов C₃₅/C₃₄ = 0,8–1,1. Среди трицикланов преобладают гомологи С₂₁ и С₂₃. Значения трицикланового индекса (ТЦИ = $2 \cdot \sum C_{19-20} / \sum C_{23-26}$) изменяются от 0,4 до 1,1. Среди зарегистрированных тетрацикланов С24-С27 доминирует гомолог С24. Во всех пробах по высокому сигналу масс-ионов 163, 191, 369 и 384 был идентифицирован 29,30-бисноргопан. Во всех пробах зарегистрировано высокое содержание гаммацерана – от 3,7 до 10,7 % на сумму терпанов (см. табл. 2, рис. 5). Также среди терпанов были идентифицированы 8,14-секогопаны, устойчивые к биодеградации [9, 17].

Во всех пробах на масс-хроматограммах по m/z 177 элюируются деметилированные 25-норгопаны, а также 25-нортетрациклан С₂₃. В некоторых пробах отмечаются гомологи 25-нортрицикланов (см. рис. 5).

Обсуждение результатов

Известно, что разрез хатыспытской свиты сложен преимущественно известняками, обедненными или слабо обогащенными органическим веществом (0,2-0,4 %). Реже отмечаются кремнисто-карбонатные и карбонатно-кремнистые породы с повышенным содержанием Соог (1-2%), единично – черные сланцы (С_{орг} 12–14 %) [1, 2, 7, 9, 13]. Изученные нами известняки, кремнисто-карбонатные и карбонатно-кремнистые породы обогащены органическим веществом. При этом установленные значения Соог (см. табл. 1), как правило, превышают среднее его содержание в карбонатных и карбонатно-кремнистых породах хатыспытской свиты с автохтонными и паравтохтонными битумоидами (0,3 %) [2, 7, 13] а также в карбонатных и кремнисто-карбонатных породах с паравтохтонными биодеградированными битумоидами (0,3 %) [6].

Анализ состава и распределения насыщенных углеводородов-биомаркеров позволил реконструировать обстановки осадконакопления ОВ хатыспытской свиты и оценить его преобразование в диагенезе, катагенезе и гипергенезе.

Отношения Pr/Ph на уровне 0,46–0,83 и гомогопанов C_{35}/C_{34} на уровне 0,8–1,1 свидетельствуют о развитии восстановительных условий в хатыспытском морском бассейне и возможном сероводородном заражении придонных вод. Прежние исследования геохимии пород и ОВ хатыспытской свиты показывают, что ее осадки отлагались в чередующихся окислительно-восстановительных обстановках, а в придонных водах периодически развивались эвксинные условия [2, 6, 7].

Особенностью рассеянного ОВ хатыспытской свиты и связанных с ним битумов Центрально-Оленекского и Восточного-Анабарского полей являются высокие концентрации гаммацерана среди терпанов [2, 8, 13] – маркера стратификации водного столба, которая обычно связана с гиперсолеными обстановками в морском бассейне [17]. Последние исследования показывают, что в автохтонных и паравтохтонных (в том числе биодеградированных) битумоидах хатыспытской свиты встречается как высокое, так и низкое содержание этого биомаркера [6, 7]. Это свидетельствует о чередовании фациальных обстановок в хатыспытском бассейне и о периодическом возникновении стратификации водной толщи [17]. В изученных нами пробах отмечаются максимальные, ранее не зафиксированные содержания гаммацерана, достигающие 10,7 % на сумму терпанов (см. табл. 2).

Такие характеристики, как отношения изомеров стеранов С₂₉ $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ и С₂₉ 20S/(20S+R) на уровне 0,3–0,5 и 0,5 соответственно, значения T_{max} = 429–436 °C, PI = 0,01–0,08, CPI = 1,0–1,1 указывают на зрелость OB, соответствующую градациям катагенеза МК₁¹ по шкале А. Э. Конторовича или началу «нефтяного окна» [5, 17]. Таким образом, породы хатыспытской свиты, изучаемые в обнажениях на Оленекском поднятии, за свою геологическую историю погружались до глубин, соответствующих главной зоне нефтеобразования, и могли генерировать нафтиды. Этот вывод согласуется с прежними результатами исследования геохимии OB хатыспытской свиты и ее насыщенных углеводородов [2, 6, 7, 13].

Сравнительно низкий катагенез ОВ хатыспытской свиты (МК₁¹ по А. Э. Конторовичу), а также высокие значения водородного индекса (до 622 мг УВ/г породы), установленные по материалам с Оленекского поднятия, свидетельствуют о слабой реализации генерационного потенциала пород хатыспытской свиты на этой территории. В тех районах, где свита погружается на глубину, катагенез ОВ и объемы генерации углеводородов могут быть выше – в направлении к морю Лаптевых (к северу от Оленекского поднятия) или в Суханском осадочном бассейне (к юго-западу от Оленекского поднятия), где кровля неопротерозойских отложений погружена до глубины 3 км [1, 13, 15].

Выходы битумоидов (см. табл. 1), как и содержание C_{opr} , в среднем повышены на фоне пород с автохтонными и паравтохтонными битумоидами (среднее содержание b_{xn} 0,031 %), а также пород № 2(50) ♦ 2022 –

с биодеградированными битумоидами (0,047 %) [2, 6, 7]. Значения битумоидного коэффициента обычно не превышают 8 %, в одном образце – высокие (b_{хл} 0,220 %, β 13 % (см. табл. 1)). Ранее на основе повышенного битумоидного коэффициента (> 10 %, редко > 25 %) в разрезе хатыспытской свиты были диагностированы паравтохтонные битумоиды, в некоторых из них установлено повышенное содержание насыщенных углеводородов в групповом составе [2, 7]. По значениям β и групповому составу, изученные битумоиды в целом подобны автохтонным битумоидам хатыспытской свиты. Следует отметить, что значения индекса продуктивности, не превышающие 0,08 (см. табл. 1), характерны для пород с битумоидами, сохранившимися в месте своей генерации [17]. Таким образом, не только битуминологические, но и пиролитические характеристики пород позволяют судить о сходстве между изученными битумоидами и автохтонными битумоидами хатыспытской свиты.

В насыщенных фракциях исследуемых битумоидов были идентифицированы серии деметилированных 25-норгопанов, три- и тетрацикланов (см. рис. 5). Образование этих соединений связывают с процессами бактериального окисления терпановых углеводородов [17]. Для этих проб характерны «нафтеновые горбы» на газожидкостных хроматограммах и высокие пики терпановых УВ на фоне нормальных алканов (см. рис. 4), что также указывает на протекавшие процессы биодеградации битумоидов [17].

Известно, что деструкция углеводородов при биодеградации протекает в последовательности: нормальные алканы → изопреноидные алканы → гопаны и гомогопаны → три- и тетрацикланы → стераны [17]. Распределение алканов с максимумом в области n-C₁₇—n-C₂₂ (типовое для хатыспытской свиты [7]), а также значения отношений Pr/n-C₁₇ и Ph/n-C₁₈ на уровне 0,3 и 0,4 соответственно указывают на то, что алканы в насыщенных фракциях изученных проб не подвергались биологическому окислению. Обобщая вышесказанное, можно предполагать, что изученные битумоиды имеют смешанный состав и образованы в несколько этапов первичной миграции. Так, битумоиды, аккумулировавшиеся в результате первого этапа первичной миграции, были в значительной степени биодеградированы, а в составе их насыщенных УВ остались только деметилированные терпаны и, вероятно, стераны. Последующие процессы первичной миграции привели к обогащению этих битумоидов новообразованными углеводородами [17]. Ранее подобный результат был получен при изучении битумов из пород куонамского комплекса нижнего и среднего кембрия Сибирской платформы из естественных обнажений вдоль р. Кюленке [12]. Так как бактериальное окисление компонентов органического вещества происходит только на их контакте с водой [17], изученные битумоиды могут рассматриваться в качестве биодеградированных нафтидов. Таким образом, настоящее исследование показало, что в разрезе хатыспытской свиты могут быть распространены не только потенциально нефтематеринские породы, но и уровни вторичного обогащения органическим веществом в пустотном пространстве пород. При благоприятных геологических условиях в ее разрезе могут быть обнаружены скопления нефти или битумов. Одним из перспективных объектов могут быть локальные куполовидные поднятия, осложняющие Суханскую впадину одноименного осадочного бассейна [13, 15].

На литолого-стратиграфической схеме разрезов хатыспытской свиты на Оленекском поднятии видно, что породы с биодеградированными битумоидами встречаются не только вблизи кровли и подошвы свиты, но и в средних частях ее разреза (см. рис. 2). Новые данные показывают, что диапазон проявлений таких битумоидов шире, чем было установлено ранее [6, 11]. Настоящее исследование с привлечением материалов из новых разрезов также позволило расширить географию нафтидопроявлений в хатыспытской свите на Оленекском поднятии (см. рис. 1).

Присутствие 12- и 13-монометилалканов в следовых количествах, преобладание гомолога С₂₉ среди стеранов, значения трицикланового индекса обычно меньше 1, аномально высокие концентрации гаммацерана (до 10,7 %) указывают, что изученные битумоиды были генерированы рассеянным органическим веществом хатыспытской свиты [2, 7, 13]. Эти характеристики молекулярного состава насыщенных фракций (за исключением 12и 13-монометилалканов) также присущи и битумам Центрально-Оленекского и Восточного-Анабарского полей [8, 13].

Выводы

Исследование материала из новых разрезов хатыспытской свиты на Оленекском поднятии подтвердило, что ее ОВ достигло градаций катагенеза МК₁¹ и могло генерировать углеводороды. В тех районах, где хатыспытская свита погружается на глубину (к западу, северу и востоку от Оленекского поднятия), катагенез и интенсивность генерации ОВ могли быть выше.

В новой коллекции диагностированы биодеградированные битумоиды. Для них характерны «нафтеновые горбы» на газожидкостных хроматограммах, высокие пики терпанов на фоне нормальных алканов, серии деметилированных 25-норгопанов, три- и тетрацикланов среди терпанов. Существование в одной системе деметилированных терпанов и стеранов, нормальных и изопреноидных алканов свидетельствует о нескольких этапах первичной миграции битумоидов и об их смешении в пустотном пространстве пород хатыспытской свиты. Эти битумоиды предлагается рассматривать в качестве микропроявлений нафтидов. По битуминологическим и пиролитическим характеристикам они похожи на автохтонные битумоиды хатыспытской свиты. Сравнительный молекулярный анализ показал генетическое сходство нафтидов и автохтонного ОВ хатыспытской свиты.

Таким образом, в разрезе хатыспытской свиты распространены как потенциально нефтематеринские породы, так и уровни пород, вторично обогащенных нафтидами. При благоприятных геологических условиях скопления нефти или битумов могут быть обнаружены не только в перекрывающих вендских и кембрийских отложениях, но и в самой хатыспытской свите, в пустотном пространстве ее карбонатных и карбонатно-кремнистых пород.

Работа выполнена в рамках проекта НИР № FWZZ-2022-0012 и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-35-90029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геохимические критерии нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Лено-Анабарского регионального прогиба и сопредельных территорий / П. Н. Соболев, Д. С. Лежнин, И. А. Панарин и др. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 8 (332). – С. 62–74.

2. Геохимия органического вещества хатыспытской свиты (венд, северо-восток Сибирской платформы) / Т. М. Парфенова, Б. Б. Кочнев, К. Е. Наговицин и др. // Успехи органической геохимии: матер. Всерос. науч. конф. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2010. – С. 265–268.

3. Каширцев В. А. Природные битумы северовостока Сибирской платформы. – Якутск: Изд-во ЯФ СО РАН, 1988. – 104 с.

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

5. Конторович А. Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. – Новосибирск, 1976. – 250 с. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 229).

6. **Мельник Д. С., Парфенова Т. М., Рогов В. И.** Биодеградированные рассеянные битумы в породах хатыспытской свиты венда (неопротерозоя) на северо-востоке Сибирской платформы // Георесурсы. – 2020. – № 2. – С. 37–44.

7. Мельник Д. С., Парфенова Т. М., Рогов В. И. Геохимия насыщенных углеводородов-биомаркеров рассеянного органического вещества хатыспытской свиты неопротерозоя (северо-восток Сибирской платформы) // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири: матер. 2-й Всерос. науч. конф. молодых ученых и студентов, посвящ. 85-летию акад. А. Э. Конторовича (Новосибирск, 12–13 марта 2019 г.). – Новосибирск, 2019. – С. 96–99.

8. Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы / В. А. Каширцев, А. Э. Конторович, В. Л. Иванов, А. Ф. Сафронов // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 93–105. 9. Натапов Л. М. Отложения типа доманиковой формации на северо-востоке Сибирской платформы // Советская геология. – № 11. – 1962. – С. 110– 112.

10. **Нафтидопроявления** в вендских и кембрийских отложениях в зоне вечной мерзлоты (северо-восток Сибирской платформы) / Т. М. Парфенова, Д. С. Мельник, В. А. Каширцев и др. // Дегазация Земли: геология и экология – 2018: междунар. конф. (Москва, 24–26 апреля 2018 г.). – М., 2018. – С. 1–4. – URL: http://oilgasjournal.ru/issue_23/ parfenova-vendian.html.

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. Парфенова Т. М., Каширцев В. А., Коровников И. В. Новые находки нафтидопроявлений в породах среднего кембрия на северо-востоке Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9, № 2. – С. 1–22. – http://www.ngtp.ru/rub/1/25_2014.pdf.

13. **Прямые** признаки нефтегазоносности и нефтематеринские отложения Суханского осадочного бассейна Сибирской платформы / В. А. Каширцев, Т. М. Парфенова, С. А. Моисеев и др. // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 10. – С. 1472–1487.

14. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н. В. Мельников, М. С. Якшин, Б. Б. Шишкин и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2005. – 428 с.

15. **Структурно-тектоническая** характеристика Лено-Анабарского региона / В. А. Конторович, А. Э. Конторович, С. А. Моисеев, М. В. Соловьев // Геология нефти и газа. – 2014. – № 1. – С. 74–82.

16. **Neoproterozoic** and Terreneuvian stratigraphy of the Lena-Anabar Basin and north-western slope of the Olenek Uplift, Siberian Platform / K. E. Nagovitsin, V. I. Rogov, V. V. Marusin, et al. // Revised Precambrian Research. – 2015. – Vol. 270 – P. 226–245.

17. **Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M.** The biomarker guide. 2nd ed. Vol. 1, 2. – New York: Cambridge University Press, 2005. – 1155 p.

REFERENCES

1. Sobolev P.N., Lezhnin D.S., Panarin I.A., et al. [Geochemical criteria of petroleum potential of the Riphean-Paleozoic sediments of the Lena-Anabar regional trough and adjacent territories]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* – *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields,* 2019, no. 8 (332), pp. 62–74. (In Russ.).

2. Parfenova T.M., Kochnev B.B., Nagovitsin K.E., et al. [Geochemistry of organic matter of the Khatyspyt Formation (Vendian, northeast of the Siberian Platform)]. Uspekhi organicheskoy geokhimii: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii [Proceedings of the All-Russian Scientific Conference: Advances Organic Geochemistry]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2010, pp. 265–268. (In Russ.).

3. Kashirtsev V.A. *Prirodnyye bitumy severo-vostoka Sibirskoy platformy* [Natural bitumens of the northeastern Siberian Platform]. Yakutsk, YaB SB RAS Publ., 1988. 104 p. (In Russ.).

4. Klubov B.A. *Prirodnyye bitumy Severa* [Natural bitumen of the North]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 208 p. (In Russ.).

5. Kontorovich A.E. [Geochemical methods for the quantitative evaluation of the petroleum potential of sedimentary basins]. *Trudy SNIIGGiMS* [SNIIGGiMS Proceedings]. Moscow, Nedra Publ., 1976, issue 229. 250 p. (In Russ.).

6. Melnik D.S., Parfenova T.M., Rogov V.I. [Biodegraded bitumens dispersed in Vendian (Neoproterozoic) rocks of the Khatyspyt Formation, Northeastern Siberia]. *Georesursy* – *Georesources*, 2020, no. 2, pp. 37–44. (In Russ.).

7. Melnik D.S., Parfenova T.M., Rogov V.I. [Geochemistry of saturated hydrocarbon biomarkers of dispersed organic matter of the Neoproterozoic Khatyspyt Formation (northeast of the Siberian Platform)]. *Aktualnyye problemy geologii nefti i gaza Sibiri: Materialy 2-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov, posvyashchennoy 85-letiyu akademika A.E.Kontorovicha, Novosibirsk, 12–13 marta 2019* [Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific Conference of Young Scientists and Students, devoted to the 85th anniversary from the birth of Acad. A.E.Kontorovich: Actual problems of the geology of oil and gas of Siberia, 12–13 March 2019]. Novosibirsk, 2019, pp. 96–99. (In Russ.).

8. Kashirtsev V.A., Kontorovich A.E., Ivanov V.L., Safronov A.F. Natural bitumen fields in the northeast of the Siberian Platform (Russian Arctic Sector). *Russian Geology and Geophysics*, 2010, vol. 51, no. 1, pp. 72–82.

9. Natapov L.M. [Deposits of the domanic formation type in the northeast of the Siberian Platform]. *Sovetskaya geologiya*, 1962, no. 11, pp. 110–112. (In Russ.).

10. Parfenova T.M., Melnik D.S., Kashirtsev V.A., et al. [Naphthide shows in Vendian and Cambrian depos-

its permafrost (north-east of the Siberian Platform)]. Degazatsiya Zemli: geologiya i ekologiya – 2018: mezhdunarodnaya konferentsiya (Moskva, 24–26 aprelya 2018) [Earth degassing: Geology and Ecology – 2018: International Conference (Moscow, April 24–26, 2018)]. Moscow, 2018, pp. 1–4. URL: http://oilgasjournal.ru/ issue_23/parfenova-vendian.html. (In Russ.).

11. Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Zheglova T.P., et al. *Neftematerinskiye formatsii, nefti i gazy dokembri-ya i nizhbego – srednego kembriya Sibirskoy platformy* [Oil source formations, oils and gases of the Precambrian and Lower-Middle Cambrian of the Siberian Platform]. Moscow, VNIGNI Publ., 2014. 128 p. (In Russ.).

12. Parfenova T.M., Kashirtsev V.A., Korovnikov I.V. [New naphthide shows finds in the Middle Cambrian rocks in the north-eastern Siberian Platform]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2014, vol. 9, no. 2, pp. 1–22. URL: http://www.ngtp.ru/ rub/1/25_2014.pdf (In Russ.).

13. Kashirtsev V.A., Parfenova T.M., Moiseev S.A., et al. The Sukhana sedimentary basin, Siberian Platform: source rock characterization and direct evidence of oil and gas presence. *Russian Geology and Geophysics*, 2019, vol. 60, no. 10, pp. 1175–1187.

14. Melnikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B., et al. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of the oil and gas basins of Siberia. The Riphean and Vendian of the Siberian Platform and its folded frame]. Novosibirsk, Geo Publ., 2005. 428 p. (In Russ.).

15. Kontorovich V.A., Kontorovich A.E., Moiseev S.A., Solovyev M.V. [Structure-tectonic characteristic of Leno-Anabar region]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2014, no. 1, pp. 74–82. (In Russ.).

16. Nagovitsin K.E., Rogov V.I., Marusin V.V., et al. Neoproterozoic and Terreneuvian stratigraphy of the Lena-Anabar Basin and north-western slope of the Olenek Uplift, Siberian Platform. *Revised Precambrian Research*, 2015, vol. 270, pp. 226–245.

17. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. 2nd ed. Vol. 1, 2. New York: Cambridge University Press, 2005. 1155 p.

© Д. С. Мельник, 2022