

Оригинальная статья

Геохимические особенности органического вещества нижнемеловых отложений ожогиной свиты (Индигино-Зырянский прогиб)

И. Н. Зуева^{✉,1}, О. Н. Чалая¹, В. А. Каширцев^{1,2},
Ю. С. Глязнецова¹, С. Х. Лифшиц¹

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ inzu@ipng.ysn.ru

Аннотация

Имеющиеся немногочисленные данные по молекулярной геохимии свидетельствуют о преобладании в исходном материале ожогиной свиты нижнего мела террагенного органического вещества, и она рассматривается главным образом как газогенерирующая. Вместе с тем, исходя из смешанной природы исходного материала, данная свита обладала определенным потенциалом для реализации процессов нефтегенерации. Методами классической битуминологии, ИК-Фурье и газовой хромато-масс-спектрометрии изучены особенности органического вещества ожогиной свиты Индигино-Зырянского прогиба. В работе показаны закономерности распределения алканов, преобладание в их составе низкомолекулярных гомологов с максимумом на nC_{15-19} , установлены низкие значения отношений $\sum n.k.-nC_{20}/\sum nC_{21}-k.k.$, изопреноиды/ n -алканы, низкое содержание полициклических ароматических углеводородов, присутствие ванадилпорфириновых комплексов. Полученные данные позволяют утверждать, что в составе ископаемого органического вещества ожогиной свиты нижнего мела с различным по разрезу соотношением террагенной и аквагенной составляющих было существенным участие водорослевого материала. Показано сходство геохимических параметров ожогиной с верхнебастахской свитой верхней юры, особенности состава битумоидов которой во многом предопределены преобладанием планктоногенно-водорослевого материала, способного генерировать большое количество жидких углеводородов. Установленное сходство повышает оценку нефтегенерационного потенциала нижнемеловых отложений ожогиной свиты наряду с высоким газогенерационным потенциалом, присущим террагенному органическому веществу.

Ключевые слова: органическое вещество, битумоиды, углеводороды, молекулы-биомаркеры, смолы, ИК-Фурье и хромато-масс спектрометрия

Финансирование. Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ по Программе ФНИ № 122011200369-1 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант №13.ЦКП.21.0016.

Благодарности. Авторы благодарят геологов А.Ф. Сафронова и В.В. Гайдука за предоставленные образцы, а также коллег, принимавших участие в выполнении аналитических определений, и А.Р. Александрова за помощь в оформлении статьи. Мы также признательны рецензенту и редакторам за замечания и рекомендации, которые улучшили содержание статьи и ее восприятие.

Для цитирования: Зуева И.Н., Чалая О.Н., Каширцев В.А., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х. Геохимические особенности органического вещества нижнемеловых отложений ожогиной свиты (Индигино-Зырянский прогиб). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(3):384–397. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-384-397>

Geochemical features of organic matter in the Lower Cretaceous deposits of the Ozhoginskaya Suite (Indigiro-Zyryansky basin)

I. N. Zueva^{✉,1}, O. N. Chalaya¹, V. A. Kashirtsev^{1,2}, Yu. S. Glyaznetsova¹, S. Kh. Lifshits¹

¹Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

²Trofimuk Institute of petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

[✉]inzu@ipng.ysn.ru

Abstract

Limited available data on molecular geochemistry indicate the predominance of terrigenous organic matter in the source material of the Lower Cretaceous deposits of the Ozhoginskaya suite, which allows it to be considered gas-generating. However, based on the mixed nature of the source material, this suite could possess potential for liquid hydrocarbon generation. The geochemical features of the organic matter were studied using classical bituminology, Fourier transform infrared spectroscopy, gas chromatography, and mass spectrometry. The results showed a regular distribution of alkanes with a predominance of low-molecular-weight homologues with a maximum at nC₁₅₋₁₉ and low values of $\sum n.c.-nC_{20}/\sum nC_{21-c.c.}$, vanadylporphyrin complexes. Thus, the contribution of algal material could be significant to the composition of the fossil organic matter of the Lower Cretaceous Ozhoginsky suite with different ratios of terrigenous and aquatic components in the section. Our results on the Ozhoginskaya suite showed the similarity of geochemical parameters with the Upper Bastakh suite of the Upper Jurassic, the features of bitumoid composition, which were mainly due to the predominance of planktonic-algal material capable of generating a large amount of liquid hydrocarbons. This established similarity raises the estimate of the oil generation potential of the organic matter of the Lower Cretaceous deposits of the Ozhoginskaya suite, along with the high gas generation potential inherent in terrigenous organic matter.

Keywords: organic matter, bitumoids, hydrocarbons, resins, molecules-biomarkers, IR-Fourier spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry

Funding. This study was conducted within the framework of the fundamental scientific research program (number 122011200369-1) using scientific equipment of the Core Shared Research Facilities (CSRF) of the Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” (grant number 13.CSRF.21.0016).

Acknowledgements. The authors are thankful to geologists A.F. Safronov and V.V. Gaiduk for providing the samples, as well as colleagues who took part in the performance of analytical determinations and A.R. Alexandrov for help in the preparation of the article. We are also grateful to the editors and reviewers for their comments and recommendations, which have improved the manuscript and its perception.

For citation: Zueva I.N., Chalaya O.N., Kashirtsev V.A., Glyaznetsova Yu.S., Lifshits S.Kh. Geochemical features of organic matter in the Lower Cretaceous deposits of the Ozhoginskaya Suite (Indigiro-Zyryansky basin). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(3):384–397. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-384-397>

Введение

О возможной нефтегазоносности верхнеюрско-нижнемелового комплекса мезозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба с геологических позиций содержатся сведения в ряде работ [1–7]. Северо-западная часть прогиба выполнена мощной толщей (до 10 км) в основном терригенных верхнеюрских и нижнемеловых отложений, перекрытых более молодыми маломощными отложениями. Глубина погружения верхнеюрско-нижнемеловых отложений в пределах Предверхоанского прогиба составляет

до 4,5 км, что соответствует главной зоне нефтеобразования. Данные о строении осадочного чехла и составе пород западной части Индигиро-Зырянского прогиба, присутствие в разрезе верхней части верхнебастахской подбиты и по всему разрезу нижнего мела пластов песчаников с удовлетворительными коллекторскими свойствами и зафиксированные поверхностные газопроявления могут указывать на формирование зон нефтегазоаккумуляции [5, 8].

По данным геохимических исследований осадочных пород также было установлено благо-

приятное сочетание комплексов отложений для реализации процессов нефтегенерации и нефтегазонакопления [3, 4, 8, 9–11]. Немногочисленные данные по молекулярной геохимии меловых отложений свидетельствуют о преобладании в исходном материале органического вещества (ОВ) континентальных фаций. В составе молекул-биомаркеров установлены бициклические сесквитерпаны, генезис которых тесно связан с терпенами высшей растительности, присутствует широкий комплекс полициклической ароматики, что согласуется с особенностями распределения насыщенных УВ с преобладанием относительно высокомолекулярных гомологов, присущих террагенному ОВ. С геохимических позиций все это позволило высоко оценить газогенерационный потенциал изученных отложений [10]. Вместе с тем, анализ нового полученного материала [11] по геохимии ОВ верхнеюрских отложений бастакской свиты форланда Индигиро-Зырянского прогиба показал, что особенности состава битумоидов (ХБ) во многом обусловлены преобладанием планктоногенно-водорослевого материала. По некоторым геохимическим параметрам намечается сходство с группой изученных ранее битумоидов из вышележащей ожогинской свиты нижнего мела, что вызывает интерес и требует дополнительных исследований природы исходного материала нижнемеловых отложений данной свиты и, в частности, роли в его составе аквагенного ОВ, способного генерировать большое количество жидких УВ.

Данная работа посвящена детальному изучению геохимии битумоидной части смешанного ОВ пород нижнемеловых отложений ожогинской свиты Индигиро-Зырянского прогиба с целью выяснения ее газо- и нефтематеринских свойств.

Ожогинская свита нижнего мела с постепенным переходом залегает согласно на бастакской серии, хотя нередко ею перекрыта по настигам [5]. Свита сложена ритмичным переслаиванием аргиллит-алевролитовых (70 %) и аргиллитовых (30 %) пачек, которые вверх по разрезу постепенно сменяются карбонатно-глинистыми и углисто-глинистыми породами, среди которых встречаются прослой и линзы каменного угля. Мощность свиты от 600 м до 1,5 км. Видимая мощность ожогинской свиты в долине р. Индигирка составляет около 1,4 км. Степень катагенетической преобразованности ОВ соответствует градации МК₂ [6]. Накопление иско-

паемого ОВ континентальных меловых отложений происходило в слабо восстановительной, слабо окислительной и реже окислительной геохимической обстановке. В составе ископаемого ОВ существенна примесь террагенного материала [3, 9].

Материал и методы исследования

В работе представлены результаты исследований геохимическими методами 19 образцов пород нижнемеловых отложений по разрезу ожогинской свиты из естественных обнажений по берегам рек Индигирка (вблизи устья р. Красная), Кыллах и Мятись (рис. 1).

Образцы пород после дезинтеграции в шаровых мельницах экстрагировались хлороформом. Мальтеновая часть битумоидов, полученная после осаждения асфальтенов избытком петролейного эфира, исследовалась методами ИК-Фурье спектроскопии и хромато-масс-спектральным методом (ГХ/МС) на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Масс-хроматограммы получены по общему ионному току (ТИС), а также сканированием по характеристическим фрагментным ионам. Идентификация индивидуальных УВ осуществлялась компьютерным поиском в библиотеках Национального института стандартов NIST05, по литературным данным и, главным образом, реконструкцией структур по характеру ионной фрагментации при электронном ударе [12].

Результаты исследований и обсуждение

Полученные по геохимии результаты показали, что содержание ОВ в ожогинской свите изменяется в широких пределах и распределение по разрезу контролируется составом пород и, прежде всего, примесью углистого материала (табл.1). Максимальные содержания С_{орг} установлены в верхней части свиты в углисто-глинистых породах до 5,97 % и углистых аргиллитах до 9,99 %. Соответственно, в этих образцах отмечаются максимальные значения выхода битумоида до десятых долей процента 0,229–0,353 %. В нижней части свиты, представленной алевролитами, алевритистыми и мелкозернистыми песчаниками, на порядок ниже содержание С_{орг} от 0,37 до 1,37 % и выход битумоида – сотые 0,025–0,040 % и даже тысячные доли процента 0,007–0,009 %.

Исходя из полученных данных, по ряду других геохимических параметров также можно просле-

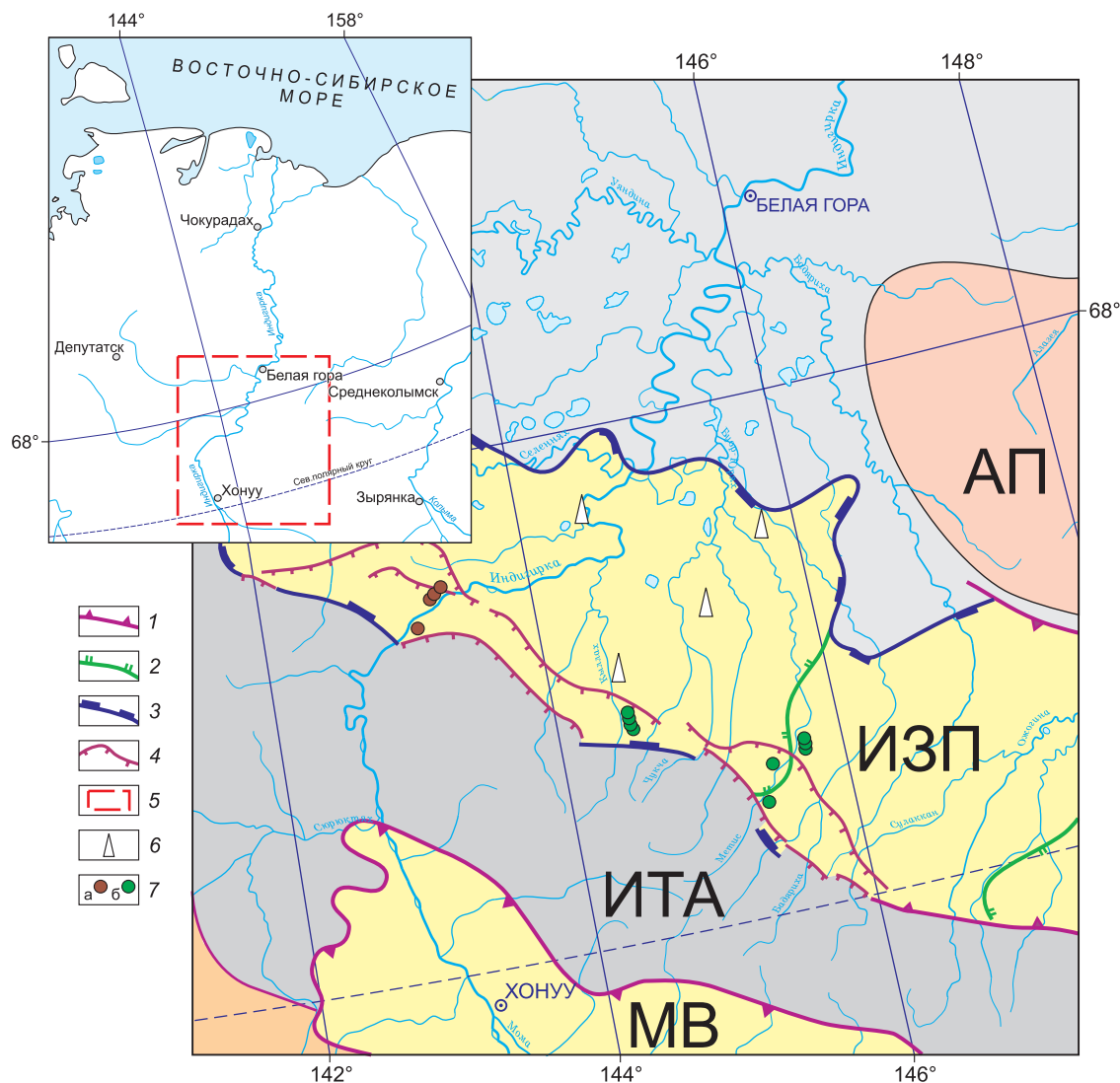


Рис. 1. Схема расположения образцов (северо-западная часть Индигино-Зырянского прогиба, Восточная Якутия). 1 – тектонические границы впадин и поднятий; 2 – границы депрессий и седловин; 3 – границы Зырянской впадины; 4 – зона надвигов; 5 – место расположения объекта; 6 – структурно-параметрические скважины; 7 – точки отбора образцов (а – образцы А.Ф. Сафронова, б – образцы В.В. Гайдука). АП – Алазейское поднятие; ИТА – Илин-Тасский антиклинорий; ИЗП – Индигино-Зырянский прогиб; МВ – Момская впадина

Fig. 1. Scheme of sample location (northwestern part of the Indigiro-Zyryansk trough, Eastern Yakutia). 1 – tectonic boundaries of depressions and uplifts; 2 – boundaries of depressions and saddles; 3 – boundaries of the Zyryansk depression; 4 – thrust zone; 5 – location of the object; 6 – structural-parametric wells. Sampling points: 7a – samples of A.F. Safronov; 7b – samples of V.V. Gaiduk. AP – Alazeya uplift; ITA – Ilin-Tas anticlinorium; IZP – Indigiro-Zyryansk trough; MV – Moma depression

дить присутствие двух групп образцов – одна из которых представлена образцами с существенным участием углистого материала и тяготеет к сингенетичным битумоидам, другая – алевролитами и песчаниками и по составу близка к смешанным разностям битумоидов со следами наложения эпибитумоидов (см. таблицу).

В углистых аргиллитах и углисто-глинистых породах особенности элементного, группового компонентного состава, химической структуры ХБ и их фракций, а также характер распределения реликтовых УВ определяются генетической принадлежностью к ОВ континентальных фаций с существенным преобладанием терраген-

Геохимическая характеристика битумоидов верхнеюрских и нижнемеловых отложений (Индигино-Зырянский прогиб)

Geochemical characteristics of bitumoids from the Upper Jurassic and Low Cretaceous deposits (Indigiro-Zyryansky basin)

Параметр Parameter	Нижний мел, ожогиная свита /МК ₂ Low Cretaceous, Ozhoginskaya suite / МК ₂		Верхняя юра, бастакская свита / МК ₂ Upper Jurassic, Upperbastakhskaya suite/ МК ₂
Литология/ Lithology	Углисто-глинистые породы, углистые аргиллиты/ Coal-clay rocks, carbonaceous argillites	Алевритистые и мелкозернистые песчаники/ Silty and fine-grained sandstones	Темно-серые алевролиты и мелкозернистые песчаники/ Dark gray aleurolites and fine-grained sandstones
1	2	3	4
$C_{орг}, \% / C_{org}, \%$	3,73–9,90	0,37–2,82	0,16–3,68
$\alpha_{ХБ}, \% / \alpha_{ChB}, \%$	0,072–0,358	0,013–0,042	0,016–0,137
$\beta_{ХБ}, \% / \beta_{ChB}, \%$	1,9–2,3	0,5–1,7	1,3–5,5
Элементный состав ХБ, % Element composition ChB, %			
С	83,2–85,5	82,6–84,7	н/д
Н	8,0–8,5	8,9–9,9	н/д
$\Sigma N, S, O$	8,4–8,9	5,4–6,6	н/д
Групповой компонентный состав ХБ, % Group-component composition ChB, %			
Масла (УВ) / Oils (HC)	32,3–42,2	43,0–55,1	47,5–66,4
Бензолные смолы / benzol resins/	10,1–16,2	12,2–22,5	14,1–20,8
Спиртобензолные смолы / Alcohol-benzol resins	13,5–20,7	17,6–24,6	15,6–31,5
Σ смол / Σ resins	23,6–36,9	29,8–47,1	29,7–52,3
Асфальтены / asphaltenes	21,0–44,1	4,9–20,1	2,8–9,6
Углеводородный состав, % на Σ УВ Hydrocarbon composition, % on Σ HC			
М-Н / M-N	32,6	54,6–75,2	н/д
Н-А / N-A	67,4	24,8–45,4	н/д
Структурно-групповой состав ХБ по методу ИКС, относительные коэффициенты поглощения $D'_v = D_v/D_{1460}$ Structural group composition of ChB by IR-spectrometry, relative coefficients absorption $D'_v = D_v/D_{1460}$			
D'_{720} – длинных метиленовых цепей/ D'_{720} – long methylene chains	0,14–0,16	0,12–0,20	0,19–0,27
D'_{1600} – ароматических циклов/ D'_{1600} – aromatic cycles	0,60–0,68	0,11–0,39	0,15–0,19 (0,19)
D'_{1710} – карбонильных групп/ D'_{1710} – carbonyl groups	0,42–0,78	0,23–0,35	0,21–0,41 (0,76)
D'_{3300} – гидроксильных групп/ D'_{3300} – hydroxyl groups	0,28–0,31	0,06–0,17	0,09–0,14

1	2	3	4
Содержание углерода в маслах, %			
Content carbon per oils, %			
$C_{\text{ароматический}} / C_{\text{aromatic}}$	46,8–62,8	12,9–17,5	н/д
$C_{\text{алифатический}} / C_{\text{aliphatic}}$	37,2–53,2	82,5–87,1	н/д
Распределение индивидуальных насыщенных УВ			
Distribution of individual saturated HC			
$\Sigma \text{н.к.} - \text{н}C_{20} / \Sigma \text{н}C_{21} - \text{к.к.}$	0,14–0,26	1,04–1,28	1,09–2,98
$\Sigma \text{b.b.} - \text{н}C_{20} / \Sigma \text{н}C_{21} - \text{f.b.}$			
Максимум н-алканов/ Maximum. n-alkanes	$\text{н}C_{21,23,25}$	$\text{н}C_{15,17,19}$	$\text{н}C_{13,15,16,18}$
Коэффициент нч/ч/ Coefficient odd/even	1,11–1,16	0,98–0,99	0,90–0,99
Изопреноиды/н-алканы/ Isoprenoids/n-alkanes	0,03–0,09	0,12–0,20	0,12–0,20
Пристан/фитан/ Pristan/phytan	1,10–1,28	2,56–2,57	0,61–2,07
iC_{19}/nC_{17}	1,32–2,05	0,50–0,91	0,34–0,61
iC_{20}/nC_{18}	0,49–0,78	0,21–0,36	0,17–0,71

Примечание. ХБ – хлороформенный битумоид; УВ – углеводороды.

Note. ChB — chloroform bitumoid; HC — hydrocarbons.

ного материала в составе исходного ОВ [3, 9, 10]. На это указывает однотипный ароматический характер ИК-спектров ХБ по всему разрезу свиты с доминированием полос поглощения (п.п.) ароматических структур, особенно четко выраженный в спектрах бензольных и спиртобензольных смол. В групповом составе установлено преобладание асфальто-смолистых компонентов, на УВ приходится 32,3–42,2 %. Большие вариации в их содержании и количестве кислородсодержащих групп и связей в химической структуре битумоидов могут свидетельствовать о присутствии в разрезе различных битуминозных разностей. Высокая степень окисленности бензольных и особенно спиртобензольных смол ($D'_{1700} > D'_{1460}$) в отдельных образцах характерна для остаточных битумоидов, что можно рассматривать как результат процессов перемещения углеводородных флюидов по разрезу свиты. На остаточный характер битумоидов может указывать и преобладание спиртобензольных смол над бензольными (см. таблицу).

Для углеводородной части характерно высокое содержание углерода в ароматических циклах 46,8–62,8 % и присутствие полициклических ароматических УВ – фенантроновых, хризеновых, пиреновых и антраценовых. Особенности

распределения насыщенных УВ с преобладанием относительно высокомолекулярных гомологов ($\Sigma \text{н.к.} - \text{н}C_{20} / \Sigma \text{н}C_{21} - \text{к.к.} = 0,36–0,84$) с максимумом распределения на $\text{н}C_{21,23,25}$ и низким содержанием изопреноидов отражают преобладание террагенного ОВ в исходном материале (рис. 2).

В составе молекул-биомаркеров были идентифицированы бициклические сесквитерпаны ряда дримана и гомодримана (рис. 3), генезис которых тесно связан с терпенами высшей растительности [13, 14].

В составе насыщенных УВ не обнаружены 12- и 13-метилалканы. Соотношение содержания н-алканов с нечетным числом атомов углерода в молекуле к н-алканам с четным числом атомов (CPI), близкое к единице, указывает на термическую зрелость ОВ.

В битумоидах алевролитов и песчаников в сравнении с углистыми аргиллитами выше доля водорода в элементном составе (8,9–9,9 и 8,0–8,5 %, соответственно). Содержание масляных фракций в битумоидах песчаников составляет до 55,1 %. Тип ИК-спектров отличается заметно выраженным присутствием п.п. 720 см^{-1} насыщенных УВ, представленных н-алканами, и

Ion 57.00 (56.70 to 57.70): BG5031K1. D

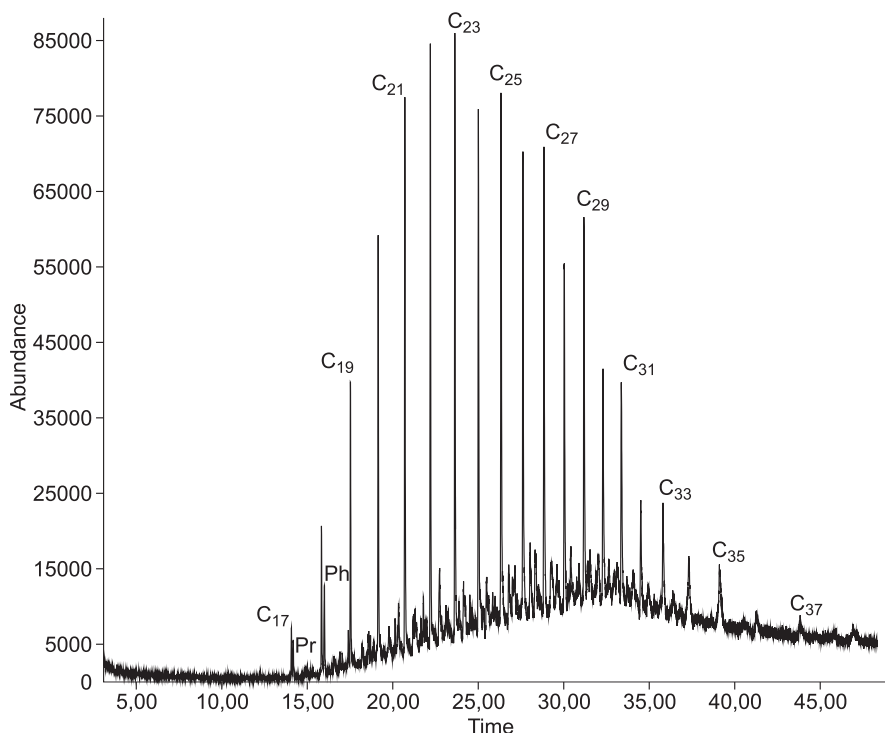


Рис. 2. Хромато-масс-фрагментограмма масляной фракции ХБ углистого аргиллита, нижнемеловые отложения

Fig. 2. GC-Mass Spectrometry of the oil fraction ChB carbonaceous mudstone from the Lower Cretaceous Deposits

меньшим – ароматических циклов ($D'_{1600} = 0,20$ против 0,64 в углистых аргиллитах). Невысокие значения коэффициента битуминозности от 1,5 до 2,5 %, по-видимому, могут свидетельствовать о параавтохтонном характере битумоидов [11].

В углеводородном составе отчетливо прослеживается существенная доля насыщенных УВ в сравнении с углистыми аргиллитами (72,5 и 32,9 % соответственно). Более низкое содержание углерода в ароматических циклах масляных фракций 12,9–17,5 % в сравнении с 46,8–62,8 % в углистых аргиллитах может быть обусловлено более значительным участием водорослевого материала в смешанном составе исходного ОВ. Следует особо отметить, что в битумоидах были обнаружены ванадиловые порфириновые комплексы от 20 до 40 мг/100 г, что сопоставимо с содержанием в древних венд-кембрийских нефтях Непско-Ботуобинской НГП и значительно ниже в сравнении с битумоидами Куонамской горючесланцевой формации [15, 16]. Интересен сам факт присутствия подобных структур в ОВ континентальных фаций, в которых условия преобразования осадков неблагоприятны для сохранения тетрапиррольных пигментов, что важ-

но для выяснения условий реконструкции преобразования исходного ОВ меловых отложений. Порфириновые комплексы, извлекаемые из гумусовых углей, совершенно уникальны и связаны с Ga, Fe, Mn [17] и непохожи на те, которые присущи планктоногенному ОВ морских фаций и нефтям, генетически связанным с этим типом ОВ. Присутствие ванадилпорфиринов в битумоидах меловых отложений ожогинской и вышезалегающих силяпской и буоркемюской свитах нижнего мела указывает прежде всего на то, что преобразование захороненных осадков происходило в анаэробной среде, обеспечивающей хорошую сохранность исходного материала. Кроме того, сам факт присутствия этих соединений свидетельствует об участии аквагенного материала в исходном ОВ, в случае террагенных разностей присутствовали бы металлоорганические комплексы с Ga, Fe, Mn [7, 18–20].

В распределении насыщенных УВ в сравнении с углистыми аргиллитами максимум n-алканов расположен в низкомолекулярной области на nC_{15-19} , заметно выше значения отношений $\sum n.k.-nC_{20}/\sum nC_{21}-k.k.$ и изопреноиды/n-алканы (рис. 4). Такие особенности состава насыщенных

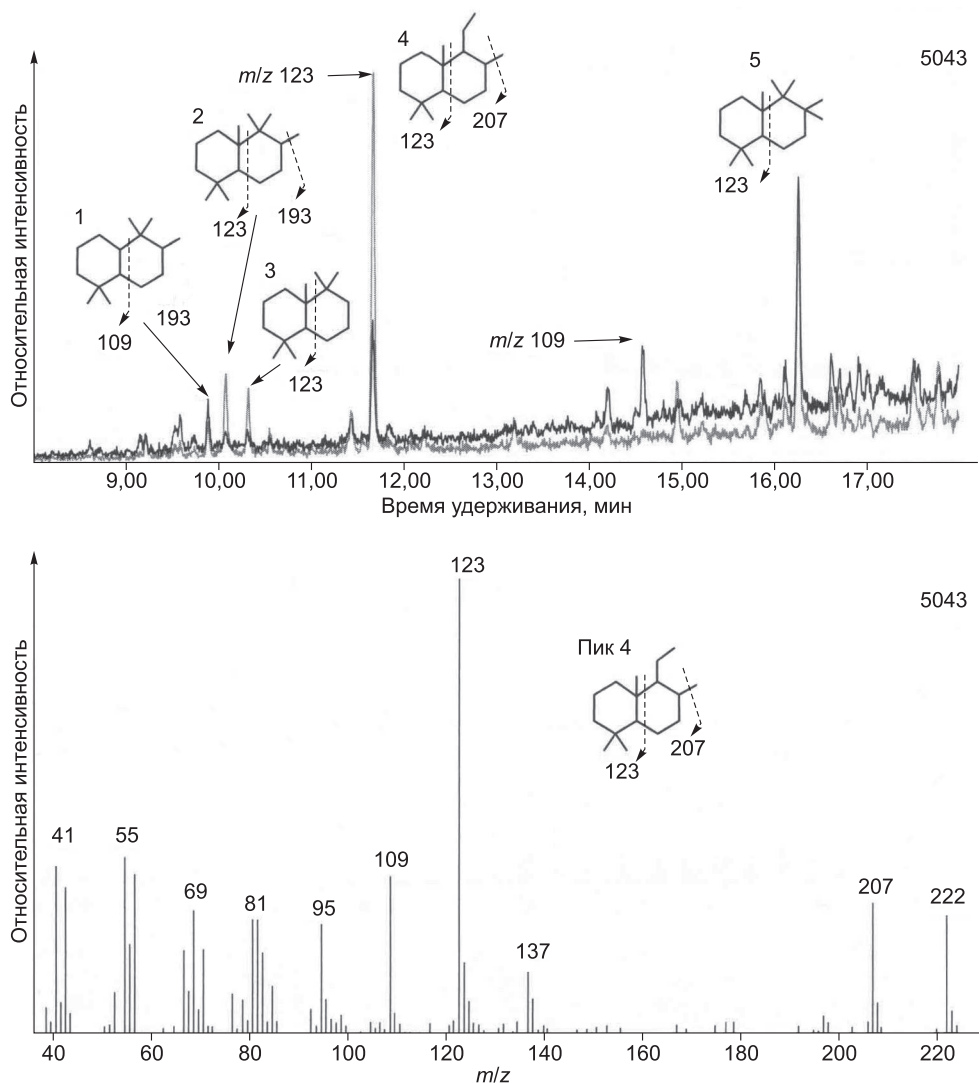


Рис. 3. Масс-хроматограммы распределения сесквитерпанов в битумоидах углистых аргиллитов, нижний мел

Fig. 3. GC-Mass Spectrometry distribution of sesquiterpanes in bitumoids of carbonaceous argillites from the Lower Cretaceous Deposits

ных УВ обусловлены участием аквагенного материала в исходном ОВ.

В то же время на особенности состава битумоидов ожогиной свиты могли повлиять и процессы перераспределения УВ за счет привноса углеводородных флюидов из нижележащей бастахской свиты. Осадконакопление в отложениях бастахской свиты происходило в морских и лагунных бассейнах в восстановительной и слабо восстановительной обстановке диагенеза. Исходное ОВ обогащено планктоногенным и водорослевым материалом с различной долей участия высшей континентальной растительности [2, 3, 5].

О смешанной природе исходного ОВ с преобладанием аквагенной составляющей свиде-

тельствуют и последние полученные нами результаты по геохимии ОВ верхнеюрских отложений верхнебастахской свиты в зоне форланда Индигино-Зырянского прогиба [11]. Как видно из таблицы, по ряду геохимических параметров состав битумоидов отражает присутствие аквагенного ОВ. На это указывают особенности химической структуры битумоидов, в которой наряду с ароматическими циклами значительно участие алифатических групп и связей и существенно алифатический характер углеводородной части по типу ИК-спектров. Существенно алифатический характер битумоидной части ОВ можно рассматривать как свидетельство генерации породами данной свиты УВ нефтяного ряда.

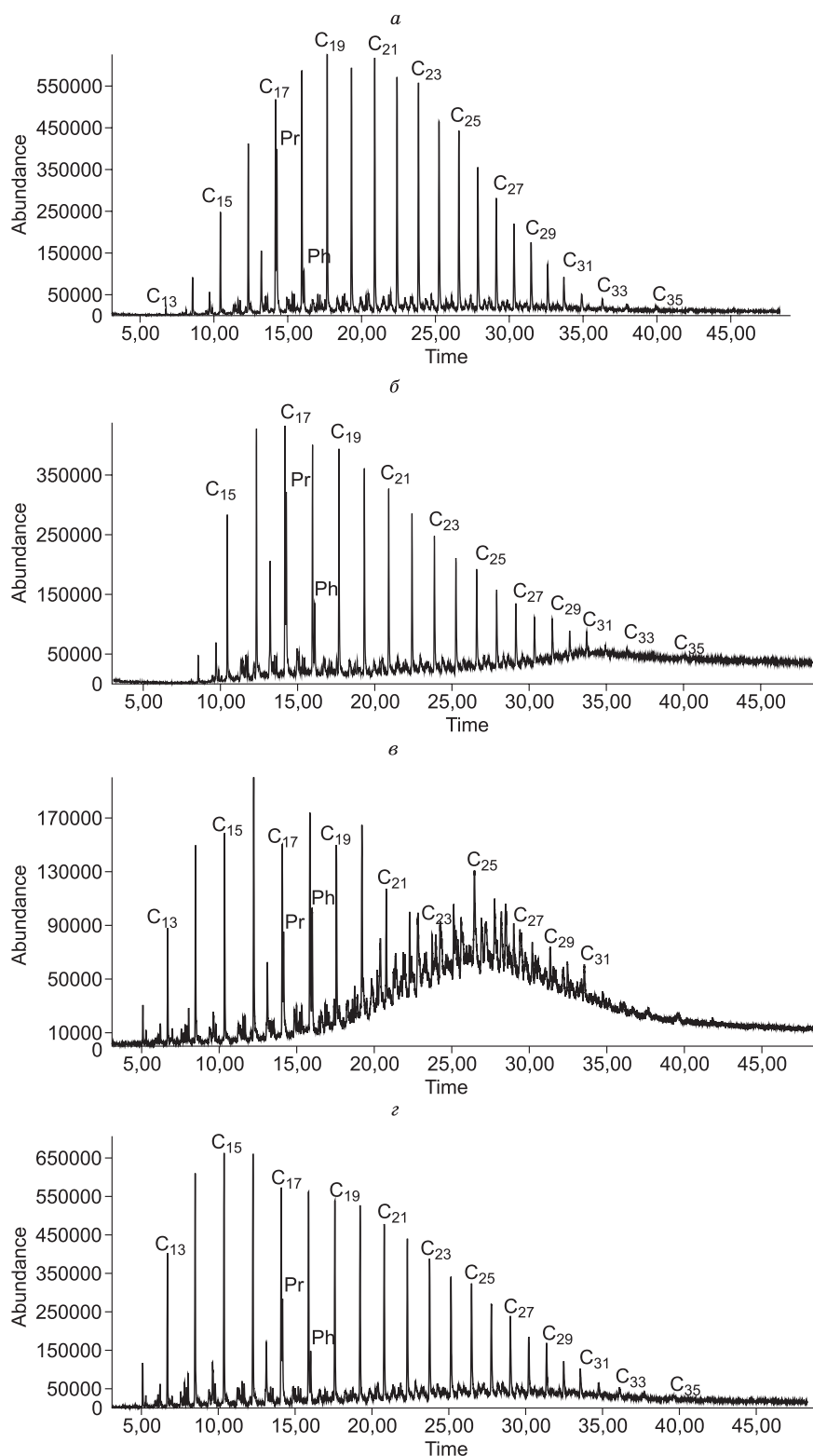


Рис. 4. Хроматомасс-фрагментограммы масляных фракций битумоидов: *а* – темно-серый аргиллит, нижний мел, ожогинская свита; *б* – песчаник, нижний мел, ожогинская свита; *в* – темно-серый алевролит, верхняя юра, верхнебастакская свита; *г* – песчаник, верхняя юра, верхнебастакская свита

Fig. 4. GC-Mass Spectrometry of the oil fractions of bitumoids: *a* – dark gray argillite, the Lower Cretaceous, Ozhoginskaya Suite; *б* – sandstone, the Lower Cretaceous, Ozhoginskaya Suite; *в* – dark gray aleurolites, the Upper Jurassic, Upperbastakhskaya Suite; *г* – sandstone, the Upper Jurassic, Upperbastakhskaya Suite

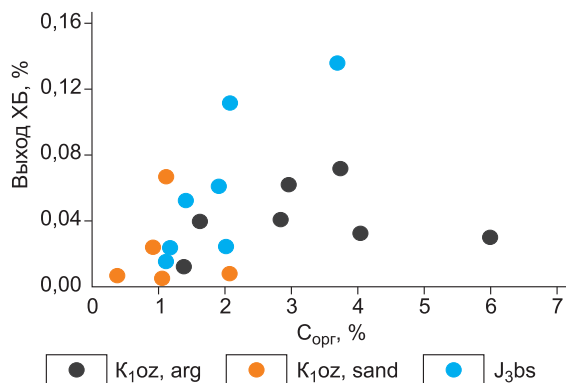


Рис. 5. Зависимость выхода битумоида – $\alpha_{ХБ}$ от содержания $C_{орг}$ в породах, отложения нижнего мела и верхней юры

Fig. 5. Dependence of the bitumoid yield – α_{ChB} on the content of C_{org} in the rocks, the Lower Cretaceous and the Upper Jurassic deposits

По составу биомаркеров и особенностям их распределения вполне отчетливо отражается двойственная природа исходного ОВ. С одной стороны, как аквагенного, по характеру распределения насыщенных УВ с преобладанием низкомолекулярных n -алканов с максимумом на nC_{13-17} (см. рис. 4) и с другой – как террагенного по ароматическому типу углеродного скелета смол и асфальтенов и значительному присутствию полициклических ароматических УВ, близких по характеру распределения, но различающихся по их суммарному содержанию в образцах с различной долей присутствия углистых фрагментов. В составе полициклических УВ обнаружены фенантрен и его метил-, диметил-, триметилзамещенные гомологи, хризен, пирен, бензпирен, перилен.

Состав и особенности распределения ароматических УВ зависят от природы исходного ОВ и в большой степени от присутствия террагенной составляющей [21, 22]. Интересно отметить, что, по материалам ряда исследователей, возможно образование полициклических аренов и планктоногенным ОВ в зависимости от условий накопления и геохимической обстановки преобразования ископаемого ОВ на стадиях диагенеза и катагенеза [23–26].

Полученные результаты были использованы при сравнении геохимических параметров по составу битумоидов пород из ожогиной свиты нижнего мела с бастахской – верхней юры (см. таблицу, рис. 5–7). Как видно из рисунков, по ряду

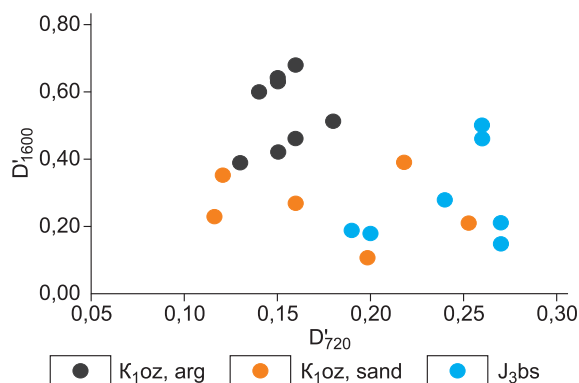


Рис. 6. Соотношение относительной оптической плотности поглощения ароматических циклов – D'_{1600} и длинных метиленовых цепей – D'_{720} в химической структуре битумоидов, отложения нижнего мела и верхней юры

Fig. 6. Ratio of relative absorption optical density of aromatic cycles – D'_{1600} and long methylene chains – D'_{720} in the chemical structure of bitumoids, the Lower Cretaceous and the Upper Jurassic deposits

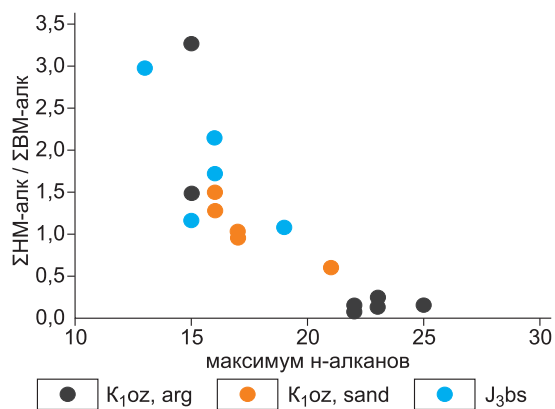


Рис. 7. Изменение отношения $\Sigma НМ$ - n -алканов/ $\Sigma ВМ$ - n -алканов ($\Sigma n.c.-nC_{20}/\Sigma nC_{21-c.c.}$) в зависимости от характера распределения n -алканов, отложения нижнего мела и верхней юры

Fig. 7. Ratio change ΣLM - n -alkanes/ ΣHM - n -alkanes ($\Sigma n.c.-nC_{20}/\Sigma nC_{21-c.}$) depending on the feature of n -alkanes distribution, the Lower Cretaceous and the Upper Jurassic deposits

геохимических параметров битумоиды ожогиной свиты из алевролитистых и мелкозернистых песчаников (без заметных включений углистых фрагментов) попадают в поле значений для битумоидов из алевролитов и песчаников верхнебастахской свиты. Это относится к соотношению выхода битумоидов $\alpha_{ХБ}$ к $C_{орг}$ (см. рис. 5), степени ароматичности по соотношению D'_{1600}/D'_{720} (см. рис. 6), а также отношению низкомолекулярных n -алканов к высокомолекулярным (см. рис. 7) и ряду других параметров.

В то же время битумоиды из углистых аргиллитов ожогиной свиты по этим показателям заметно различаются.

Из геохимической характеристики образцов видно, что накопление осадков в ожогиной свите происходило в прибрежно-морских условиях, характерных для смешанного ОВ с различным по разрезу соотношением террагенной (континентальной флоры) и аквагенной (планктоногенно-водородослевого материала) составляющих. Наибольшая обогащенность исходного ОВ планктоногенно-водородослевым материалом прослеживается для нижней части свиты, представленной переслаиванием алевролитовых (70 %) и аргиллитовых (30 %) разностей пород, и заметно уменьшается вверх по разрезу в карбонатно-глинистых и углисто-глинистых породах с прослоями и линзами каменного угля.

Следует отметить, что в работах [27, 28] по результатам геохимических исследований, выполненных по эталонному разрезу верхней юры и нижнего мела Анабарского залива, были выделены три биогеохимических горизонта с различным распределением УВ-биомаркеров: терпановый, диастереновый и гопановый. В низовьях р. Оленек выделены два уровня: нижний в объеме титона–низов бореального берриаса (диастереновый) и верхний: бореальный берриас–валанжин (гопановый), которым свойственно преимущественное распространение разных групп УВ-биомаркеров. Полученные данные отражают полифациальные условия осадконакопления в зависимости от регрессии и трансгрессии моря, что сопровождалось сменой литологического состава осадков, фаунистических и палинологических ассоциаций и, соответственно, типовых наборов УВ-биомаркеров. Авторы считают, что вариации в распределении однотипных УВ-биомаркеров и выделение на их основе геохимических горизонтов могут служить определенным коррелятивом для реконструкций геохимических обстановок формирования осадков и их последующих преобразований [28].

На рассматриваемой территории Индигиро-Зырянского прогиба полифациальные условия осадконакопления вернеюрско-нижнемеловых отложений обусловили формирование различных фациально-генетических типов рассеянного органического вещества от террагенно-аквагенного в прибрежно-морских отложениях верхнего лейаса до аквагенно-террагенного и террагенного в континентальных отложениях нижнего мела.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено сходство геохимических параметров ожогиной свиты нижнего мела с верхнебастахской свитой верхней юры, особенности состава битумоидов которой предопределены преобладанием планктоногенно-водородослевого материала, способного генерировать большое количество жидких углеводородов. В составе ископаемого ОВ ожогиной свиты нижнего мела с различным по разрезу соотношением террагенной и аквагенной составляющих также было существенным участие водородослевого материала. Это повышает оценку нефтегенерационного потенциала ОВ нижнемеловых отложений наряду с высоким газогенерационным потенциалом, присущим террагенному ОВ. Учитывая пребывание нижнемеловых отложений в условиях главной фазы нефтеобразования и главной зоны газообразования, можно предположить здесь генерацию наряду с газообразными и жидких углеводородных флюидов, а следовательно, формирование нефтяных оторочек в прогнозируемых газоконденсатных залежах, как и в газоконденсатных залежах Хапчгайских месторождений. Присутствие в разрезе верхней части верхнебастахской подсвиты, а также по всему разрезу нижнего мела пластов песчаников с удовлетворительными коллекторскими свойствами указывают на возможность формирования зон нефтегазонакопления.

Список литературы / References

1. Черский Н.В. Перспективы нефтегазоносности северо-востока Якутской АССР. *Геология газовых месторождений*. М.: ГОСИНТИ; 1959: 26–62.
Chersky N.V. Prospects for the oil and gas potential of the northeast of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic. *Geology of gas fields*. Moscow: GOSINT; 1959: 26–62. (In Russ.)
2. Чочиа Н.Г., Баранова З.Е., Вольнов Д.А. Перспективы нефтегазоносности Зырянского прогиба. Тектоника и нефтегазоносность Востока СССР: *Труды Всесоюзного нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ)*; Вып. 309. Л.; 1972:133–150
Chochia N.G., Baranova Z.E., Volnov D.A. Prospects for the oil and gas potential of the Zyryansky trough. *Tectonics and oil and gas content of the east of the USSR: Proceedings of VNIGRI, Issue 309*. Leningrad; 1972: 133–150. (In Russ.)
3. Иванов В.В., Семенов Г.А., Гаврилов Б.П. Литолого-битуминералогическая характеристика юрских и меловых отложений Индигиро-Зырянского проги-

ба. *Проблемы нефтегазоносности Северо-Востока СССР: Труды Северо-Восточного комплексного института; Вып. 49.* Магадан; 1973:108–129.

Ivanov V.V., Semenov G.A., Gavrilov B.P. Lithological-bituminological characteristics of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Indigiro-Zyryansky trough. *Problems of oil and gas content in the North-East of the USSR: Proceedings of North-East Interdisciplinary Institute, Issue 49.* Magadan; 1973:108–129. (In Russ.)

4. Иванов В.В., Клубов Б.А. *Нафтиды и нафтотиды Северо-Востока СССР.* М.: Наука; 1979.147 с.

Ivanov V.V., Klubov B.A. *Naphthides and naphthoids of the North-East of the USSR.* М.: Nauka. 1979. 147 (In Russ.)

5. Гайдук В.В. *Реконструкция структуры надвиговых поясов и локальная оценка их нефтегазоносности на примере Индигиро-Зырянского, Предверхо-янского прогибов и Нюйско-Джербинской впадины:* Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. Новосибирск. 1995. 37 с.

Gaiduk V.V. *Reconstruction of the structure of thrust belts and local assessment of their oil and gas content on the example of the Indigiro-Zyryansky, Predverkhoyansky troughs and the Nyuysko-Dzherba depression:* Abstr... Diss. Dr.Sci., Novosibirsk. 1995. 37 (In Russ.)

6. Сяндюков И.Ш., Гайдук В.В. Историко-генетические предпосылки нефтегазоносности Индигиро-Зырянского прогиба. *Нефтегазоносность и вопросы освоения месторождений нефти и газа Якутии: Сборник научных трудов АН СССР, Сиб. отд-ние, Якут. ин-т геол. наук.* Якутск: Якут. науч. центр СО АН СССР; 1990:39–49.

Syundyukov I.Sh., Gaiduk V.V. Historical and genetic prerequisites for the oil and gas content of the Indigiro-Zyryansky trough. *Oil and gas content and development issues of oil and gas fields in Yakutia: Proceedings of Academy of Sciences of the USSR, Siberian Branch, Yakut Geology Institute.* Yakutsk: Yakut Scientific Centre, Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR; 1990: 39–49. (In Russ.)

7. Сивцев А.И., Александров А.Р., Алексеев В.А. Литологическая характеристика северо-западной части Индигиро-Зырянского прогиба. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, г. Якутск, 18–20 апреля 2018 года.* Т. 2. Якутск: ИМЗ СО РАН; 2018:175–178.

Sivtsev A.I., Aleksandrov A.R., Alekseev V.A. Lithological characteristics of the northwestern part of the Indigiro-Zyryansky trough. *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference, Yakutsk, April 18–20, 2018.* V. 2. Yakutsk: Permafrost Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2018: 175–178. (In Russ.)

8. Сивцев А.И., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Верхнеюрско-нижнемеловой нефтегазоносный комплекс вос-

тока Сибирской платформы. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири.* 2018;1(33):81–87.

Sivtsev A.I., Chalaya O.N., Zueva I.N. Upper Jurassic – Lower Cretaceous petroleum complex of the Eastern Siberian Platform. *Geology and Mineral Resources of Siberia.* 2018;1(33):81–87. (In Russ.)

9. Иванов В.В., Гревцов А.В., Щербань О.В. *Седи-кахиты осадочных бассейнов Северо-Восточной Азии.* М.: Наука; 1988.168 с.

Ivanov V.V., Grevtsov A.V., Shcherban O.V. *Sediqa-hites of sedimentary basins of Northeast Asia.* Moscow: Nauka; 1988. 166 p. (In Russ.)

10. Каширцев В.А., Гайдук В.В., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Геохимия биомаркеров и катагенез органического вещества меловых и кайнозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба (северо-востока Якутии). *Геология и геофизика.* 2012;53(8):1027–1039.

Kashirtsev V.A., Gaiduk V.V., Chalaya O.N., Zueva I.N. Geochemistry of biomarkers and catagenesis of organic matter in the Cretaceous and Cenozoic deposits of the Indigiro-Zyryansky trough (northeast of Yakutia). *Russian Geology and Geophysics.* 2012;53(8):1027–1039. (In Russ.)

11. Зуева И.Н., Чалая О.Н., Каширцев В.А., Гайдук В.В., Сафронов А.Ф. Геохимия органического вещества меловых отложений Индигиро-Зырянского прогиба. *Меловая система России и Ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Материалы Седьмого Всероссийского совещания с международным участием, г. Владивосток, 10–15 сентября 2014 г.* Владивосток: Дальнаука; 2014: 127–131.

Zueva I.N., Chalaya O.N., Kashirtsev V.A., Gaiduk V.V., Safronov A.F. Geochemistry of organic matter of Cretaceous deposits of the Indigirka-Zyryanka basin. *Cretaceous system of Russia and neighboring countries: problems of stratigraphy and paleogeography: Proceedings of the 7th All-Russian meeting with international participation, Vladivostok, September, 10–15, 2014.* Vladivostok: Dalnauka; 2014:127–131. (In Russ.)

12. Петров Ал. А., Головкина Л.С., Русинова Г.В. *Масс-спектры нефтяных углеводородов. Справочник (атлас).* М.: Недра; 1986. 312 с.

Petrov Al. A., Golovkina L.S., Rusinova G.V. *Mass spectra of petroleum hydrocarbons. Handbook (atlas).* Moscow: Nedra; 1986. 312 p. (In Russ.)

13. Bendoraitis J.G. Hydrocarbons of biogenic origin petroleum-aromatic triterpenes and bicyclic sesquiterpenes. *Advances in Organic Geochemistry.* Paris: Editions Technip; 1973:209–224.

14. Alexander R., Kagi R., Noble R. Identification of the bicyclic sesquiterpenes, drimane and eudesmane in petroleum. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications.* 1983:226–228.

15. Каширцев В.А., Сафронов А.Ф., Изосимова А.Н., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Трущелева Г.С., Лифшиц С.Х., Карелина О.С. *Геохимия нефтей востока Сибирской платформы.* Якутск: ЯНЦ СО РАН; 2009. 180 с.

Kashirtsev V.A., Safronov A.F., Izosimova A.N., Chalaya O.N., Zueva I.N., Trushcheleva G.S., Lifshits S.Kh., Karelina O.S. *Geochemistry of oils in the east of the Siberian platform*. Yakutsk: Yakut Scientific Centre SB RAS; 2009. 180 p. (In Russ.)

16. Зуева И.Н., Чалая О.Н. Микроэлементы и металлопорфирины как показатели генетической природы органического вещества и нефтяных. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, в 2-х томах, г. Якутск, 10–12 апреля 2019 г.* Т. 1. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2019:225–228.

Zueva I.N., Chalaya O.N. Trace elements and metalloporphyrins as indicators of the genetic nature of organic matter and naphthides. *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Proceedings of the 9th All-Russian scientific and practical conference, Yakutsk, April 10–12, 2019*. V. 1. Yakutsk: NEFU Publishing House; 2019:225–228 (In Russ.)

17. Baker E.W., Louda I.W. Porphyrins in the geological records. *Biological markers in the sedimentary records*. Amsterdam: 1986:125–225.

18. Пуанова С.А. Микроэлементы нефтяных в процессе онтогенеза углеводородов в связи с нефтегазоносностью: Дис. ... докт. геол.-минер. наук. М.; 2017. 278 с.

Punanova S.A. *Trace elements of naphthides in the process of hydrocarbon ontogenesis in connection with oil and gas potential*: Diss. ... Doct. Sci. Moscow; 2017. 278. (In Russ.)

19. Пуанова С.А. Микроэлементы нефтяных нефтегазоносных бассейнов. *ДАН*. 2019;488(5):534–538. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524885534-538>

Punanova S.A. Trace elements of naphthides of oil and gas basins. *DAN*. 2019;488(5):534–538. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524885534-538>

20. Пуанова С.А. Оценка микроэлементного состава нефтяных – необходимый этап нефтехимических исследований. *Деловой журнал Neftegas.ru*. 2022; 122(2):56–63.

Punanova S.A. Evaluation of the microelement composition of naphthides is a necessary stage in petrochemical research. *Neftegas.ru*. 2022;2(122):56–63. (In Russ.)

21. Hauk V., Adam P., Trendel J.M. Isoarborinol through geological times: evidence for its presence in the Permian and Triassic. *Organic Geochemistry*. 1995;23: 91–93.

22. Borrego A.G., Blanco C.G., P'ttmann W. Geochemical significance of the aromatic hydrocarbon distribution in the bitumens of the Puertollano oil shales, Spain. *Organic Geochemistry*. 1997;26:219–228.

23. Azevedo D.A., Aquino Neto F.R., Simoneit B. R. T., Pinto A. C. Novel series of tricyclic aromatic terpanes characterized Tasmanian tasmanite. *Organic Geochemistry*. 1992;18:9–16.

24. Парфенова Т.М., Коровников И.В., Эдер В.Г., Меленевский В.Н. Органическая геохимия синской

свиты нижнего кембрия (северный склон Алданской антеклизы). *Геология и геофизика*. 2017;(5):723–738. <https://doi.org/10.15372/GiG20170504>

Parfenova T.M., Korovnikov I.V., Eder V.G., Melenevsky V.N. Organic geochemistry of the Lower Cambrian Sinyaya Formation (northern slope of the Aldan antecline). *Russian Geology and Geophysics*. 2017;(5):723–738. <https://doi.org/10.15372/GiG20170504>. (In Russ.)

25. Парфёнова Т.М. Геохимия стеранов и триароматических стероидов битумоидов иниканской свиты кембрия (юго-восток Сибирской платформы). *Химия нефти и газа: Материалы IX Международной конференции, г. Томск, 22–25 сентября 2015 г.* Томск: Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН; 2015:69–74.

Parfenova T.M. Geochemistry of steranes and triaromatic steroids of bitumoids of the Inikan Formation of the Cambrian (southeast of the Siberian Platform). *Chemistry of Oil and Gas: Proceedings of the International Conference, Tomsk, September 22–25, 2015*. Tomsk: Zuev Institute of Atmospheric Optics of Siberian Branch of the Russian Academy of Science; 2015:69–74. (In Russ.)

26. Каширцев В.А., Парфенова Т.М., Головки А.К., Никитенко Б.Л., Зуева И.Н., Чалая О.Н. Биомаркеры-фенантрены в органическом веществе докембрийских и фанерозойских отложений и в нефтях Сибирской платформы. *Геология и геофизика*. 2018;59(10):1720–1729. <https://doi.org/10.15372/GiG20181013>

Kashirtsev V.A., Parfenova T.M., Golovko A.K., Nikitenko B.L., Zueva I.N., Chalaya O.N. Phenantrenes biomarkers in organic matter of Precambrian and Phanerozoic deposits and in oils of the Siberian platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(10):1720–1729. <https://doi.org/10.15372/GiG20181013>

27. Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пещевская Е.Б., Фурсенко Е.А. Биогеохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела Анабарского залива моря Лаптевых. *Геология и геофизика*. 2018; 59(4):481–501. <https://doi.org/10.15372/GiG20180405>

Kashirtsev V.A., Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Fursenko E.A. Biogeochemistry and microfossils of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous, Anabar Bay, Laptev Sea. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(4):481–501. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG20180405>

28. Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пещевская Е.Б., Фурсенко Е.А., Шевченко Н.П. Органическая геохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела низовьев р. Оленек (северо-восточное обрамление Сибирской платформы, Арктическая Сибирь). *Геология и геофизика*. 2020;61(12):1716–1734. <https://doi.org/10.15372/GiG2020131>

Kashirtsev V.A., Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Fursenko E.A., Shevchenko N.P. Organic geochemistry and microfossils of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous strata in the lower reaches of the Olenek River (northeastern framing of the Siberian platform, Arctic Siberia). *Russian Geology and Geophysics*. 2020;61(12):1716–1734 (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG2020131>

Об авторах

ЗУЕВА Ираида Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7576-8282>, ResearcherID: J-9373-2018, РИНЦ AuthorID: 64320, e-mail: inzu@ipng.ysn.ru

ЧАЛАЯ Ольга Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-9662-2028>, ResearcherID: J-9329-2018, e-mail: oncha@ipng.ysn.ru

КАШИРЦЕВ Владимир Аркадьевич, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-3873-1901>, ResearcherID: N-1655-2014, РИНЦ AuthorID: 60908, e-mail: KashirtcevVA@ipgg.sbras.ru

ГЛАЗНЕЦОВА Юлия Станиславовна, кандидат химических наук, заведующая лабораторией, <https://orcid.org/0000-0002-9195-5296>, ResearcherID: J-9714-2018, РИНЦ AuthorID: 232039, e-mail: glyaz1408@mail.ru

ЛИФШИЦ Сара Хаимовна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-5881-2720>, ResearcherID: K-1438-2018, e-mail: shlif@ipng.ysn.ru

About the authors

ZUEVA, Iraida Nikolaevna, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7576-8282>, ResearcherID: J-9373-2018, RISC AuthorID: 64320, e-mail: inzu@ipng.ysn.ru

CHALAYA, Olga Nikolaevna, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9662-2028>, ResearcherID: J-9329-2018, e-mail: oncha@ipng.ysn.ru

KASHIRCEV, Vladimir Arkadievich, Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Corresponding member of RAS, Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3873-1901>, ResearcherID: N-1655-2014, RISC AuthorID: 60908, e-mail: KashirtcevVA@ipgg.sbras.ru

GLYAZNETSOVA, Yuliya Stanislavovna, Cand. Sci. (Chem.), Head of the Laboratory, <https://orcid.org/0000-0002-9195-5296>, ResearcherID: J-9714-2018, RISC AuthorID: 232039, e-mail: glyaz1408@mail.ru

LIFSHITS, Sara Khaimovna, Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-5881-2720>, ResearcherID: K-1438-2018, e-mail: shlif@ipng.ysn.ru

Поступила в редакцию / Submitted 21.07.2023

Поступила после рецензирования / Revised 03.08.2023

Принята к публикации / Accepted 09.08.2023