

## Геохимические особенности битумопроявлений в нижне-среднедевонских отложениях северо-западной части о. Котельный (архипелаг Новосибирские острова)

И.Н. Зуева<sup>1\*</sup>, О.Н. Чалая<sup>1</sup>, Ю.С. Глянцева<sup>1</sup>, С.Х. Лифшиц<sup>1</sup>, А.В. Прокопьев<sup>2</sup>,

В.Б. Ершова<sup>3</sup>, Д.А. Васильев<sup>2</sup>, А.К. Худолей<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В работе представлены результаты изучения органического вещества (ОВ) пород, состава, химической структуры хлороформенных битумоидов (ХБ), их фракций и характера распределения углеводов-биомаркеров в образцах, отобранных из обнажений. Полученные результаты подтвердили существующее представление о доманикоидной природе ОВ и высоком нефтегенерационном потенциале изученных отложений. По нашим данным на аквагенный тип ОВ указывает высокое содержание  $C_{орг}$ , большой выход ХБ, высокое содержание масел в составе синбитумоидов, преобладание относительно низкомолекулярных n-алканов с максимумом на  $nC_{15-18}$ . О достаточной зрелости битумоидов можно судить по коэффициентам СРІ, близким к единице, и низким значениям коэффициентов поглощения кислородсодержащих групп и связей в ХБ, таким образом отложения вошли в зону главной фазы нефтеобразования и генерировали жидкие углеводороды (УВ), которые могли мигрировать и образовывать скопления. По данным хромато-масс-спектрометрии показано, что особенностью состава ХБ из среднедевонских отложений является присутствие высоких концентраций дибензтиофенов в отличие от среднего девона, что может быть связано с формированием исходного ОВ в обстановке с более высокой сероводородной заражённостью осадков. Высказано предположение о том, что нефти, генерированные аквагенным ОВ среднедевонских отложений, могут быть обогащены дибензтиофенами. Изученные битумопроявления носят, главным образом, сингенетичный характер и испытали влияние гипергенного окисления (судя по характеру ИК-спектров смолистых компонентов) и контактового метаморфизма. По особенностям распределения насыщенных УВ показано, что в среднем девоне битумопроявления наряду с химическим окислением были в разной степени затронуты процессами бактериального окисления в отличие от среднедевонских битумопроявлений. Полученные результаты могут быть использованы при оценке генерационного потенциала нефтематеринских толщ и при прогнозе перспектив нефтегазоносности шельфа восточного сектора Российской части Арктики.

**Ключевые слова:** о. Котельный, нижний и средний девон, органическое вещество, битумопроявления, углеводороды-биомаркеры, дибензтиофены, диагенез, гипергенез

**Для цитирования:** Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глянцева Ю.С., Лифшиц С.Х., Прокопьев А.В., Ершова В.Б., Васильев Д.А., Худолей А.К. (2019). Геохимические особенности битумопроявлений в нижне-среднедевонских отложениях северо-западной части о. Котельный (архипелаг Новосибирские острова). *Георесурсы*, 21(3), с. 31-38. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.31-38>

### Введение

Среди нефтегазоносных палеозойских бассейнов Арктической зоны Российского сектора Арктики представляет интерес территория Новосибирских островов. В разрезе нижне-среднедевонских отложений о. Котельный широко развиты битумопроявления различного характера – от сингенетично рассеянных разностей органического вещества (ОВ) до вторичных локальных скоплений битумов. По мнению ряда исследователей осадочные отложения нижнего-среднего девона среднепалеозойского потенциально нефтегазоносного комплекса относятся к нефтематеринским толщам (Граumberг, 1976; Евдокимова и др., 2008; Иванов, Клубов, 1979; Косько, 1988; Полякова и др., 2016; Сафронов, 2002). Перспективность этого комплекса отложений, наряду с сингенетичными битумопроявлениями и высокими содержаниями ОВ,

подтверждается хорошими коллекторскими свойствами пород (Граumberг, 1976).

Вместе с тем, анализ публикаций по геохимии ОВ пород девонских отложений и его битуминозной части с позиций оценки нефтематеринских свойств пород о. Котельный показал, что исследования выполнены, главным образом, на уровне определения содержания органического углерода ( $C_{орг}$ ), выхода хлороформенного битумоида (ХБ) и группового состава, т.е. недостаточно детально.

С целью выяснения нефтематеринских свойств пород и особенностей характера битумопроявлений изучены ОВ, состав и химическая структура ХБ и характер распределения углеводов-биомаркеров в образцах из обнажений пшеничинской, бысах-каргинской, шлюпочной свит нижнего девона и соколовской свиты среднего девона, отобранных на северо-западе о. Котельный.

\* Ответственный автор: Ираида Николаевна Зуева  
E-mail: [inzu@ipng.ysn.ru](mailto:inzu@ipng.ysn.ru)

### Материал и методика исследования

Аналитические определения выполнены по общепринятой схеме битуминологических исследований (Руководство по анализу битумов..., 1966). Содержание органического углерода в породах ( $C_{org}$ ) определяли методом сжигания, выход ХБ – методом горячей экстракции хлороформом. ХБ после осаждения асфальтенов избытком петролейного эфира разделяли методом колоночной хроматографии (на силикагеле АСК) на смолы и углеводороды (УВ). Структурно-групповой состав ХБ и их фракций определяли методом ИК-Фурье спектроскопии. ИК-спектры записаны на спектрометре «Protégé 460» фирмы «Nicolet» в области  $4000-600\text{ см}^{-1}$ , в кювете с окошками KBr, толщина поглощающего слоя  $33 \times 10^{-6}\text{ м}$ . Расшифровка ИК-спектров проводилась по руководству Л. Беллами (1963). Хромато-масс-спектрометрические исследования насыщенных УВ масляных фракций проводили на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890 с интерфейсом и высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 25 м, диаметром 0,25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. Газ-носитель – гелий, скорость потока 1 мл/мин. Температура испарителя  $320^{\circ}\text{C}$ ; программирование подъема температуры – от  $100$  до  $300^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $4^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  с последующей изотермой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение источника – 70 эВ, температура источника –  $220^{\circ}\text{C}$ . Масс-хроматограммы УВ получены по общему ионному току (TIC) и характеристическим фрагментным ионам. По иону  $m/z = 57$  определены алифатические УВ: n-алканы, монометилалканы и изопреноиды. Идентификация индивидуальных УВ проводилась компьютерным поиском в библиотеке Национального Института Стандартов NIST-05, по литературным данным и реконструкцией структур по характеру ионной фрагментации при электронном ударе. В целом были проанализированы 19 образцов пород из

отложений нижнего-среднего девона, в которых определено содержание  $C_{org}$  (19), выход ХБ (19), групповой состав ХБ (11). Для 11 образцов записаны ИК-спектры ХБ, для 9 – масел, 8 – смол бензольных и 8 – спиртобензольных, для 11 образцов определён индивидуальный состав насыщенных УВ масляных фракций.

На рисунках 1а и 1б приведены геологическая схема изученного района, стратиграфический разрез отложений нижнего-среднего девона и месторасположение образцов. Детальная характеристика стратиграфического разреза, условий осадконакопления и характера битумопроявлений изученной территории подробно рассмотрены в работах (Объяснительная записка..., 1985; 2016). Формирование осадков в нижнем-среднем девоне происходило в условиях морских мелководных фаций с высокой сероводородной зараженностью в восстановительной среде, благоприятной для накопления и сохранения исходного аквагенного ОВ (Объяснительная записка..., 1985). По изученному разрезу распространены разнообразные битумопроявления как сингенетичного, так и эпигенетичного характера, локальные скопления битумов, битумопроявления насыщенных антраколитами горизонтов мощностью до 8-10 метров (Иванов, Клубов, 1979). Наличие антраколитов и жильных битумов является свидетельством того, что в этих отложениях проходили процессы генерации и миграции углеводородов (Сафронов, 2002).

### Результаты исследований

Полученные результаты проведенных исследований приведены в таблицах 1, 2 и на рисунках 2-4.

*Пшеницинская свита ( $D_1^{psh}$ )*. В данной свите из трёх изученных образцов в двух установлено низкое содержание  $C_{org}$  – до 0,1%, и методом горячей экстракции не извлечено ХБ. Отсутствие ХБ может быть обусловлено воздействием контактового метаморфизма на битумопроявления локального характера.

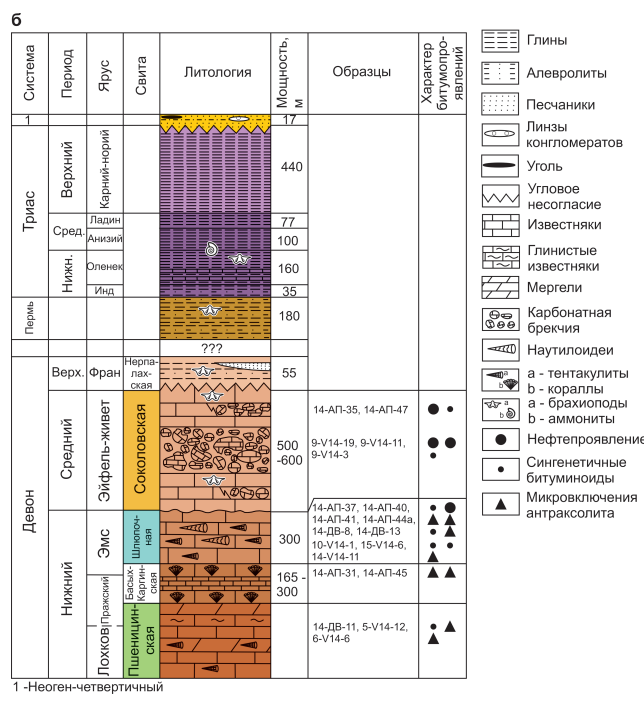
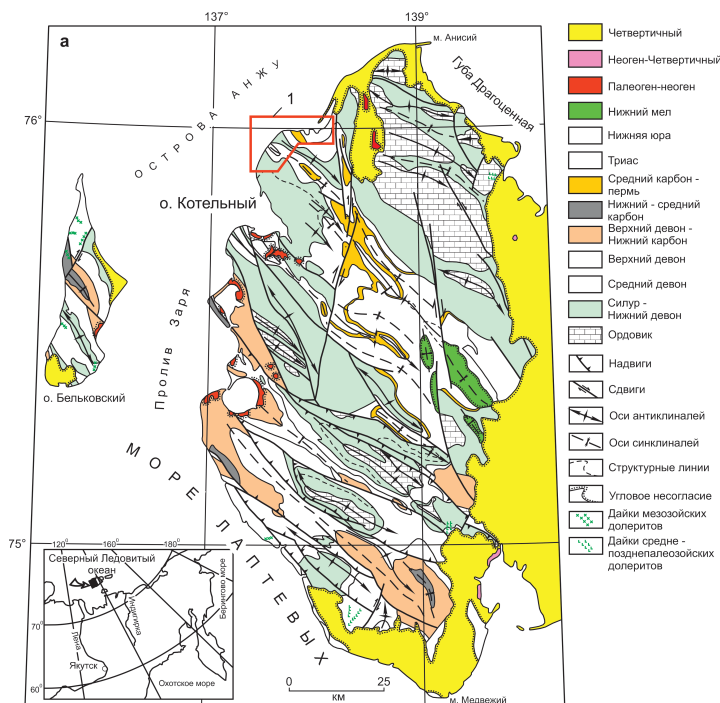


Рис. 1. а – Геологическая схема изученного района. 1 – Полярная станция, о. Котельный (по (Тектоника и геодинамика..., 2001)), б – Стратиграфический разрез отложений нижнего-среднего девона и месторасположение образцов.

Возраст, свита	Шифр образца	Литология	C <sub>орг</sub> , % на породу	ХБ, % на породу	$\beta_{ХБ}$ , %*	Групповой состав ХБ, %		
						масла	смолы	асф-ны
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	14-АП-35	битуминозный известк. песчаник	2,06	0,239	11,6	70,3	27,2	2,6
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	14-АП-47	кальцит с включениями битума	0,35	0,063	18,1	43,5	43,5	13,0
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	9-в14-19	известняк	1,25	0,135	10,8	63,5	30,2	6,3
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	9-в14-11	известняк	1,25	0,119	9,5	59,9	37,4	2,6
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	9- в14-3	известняк	0,08	0,009	11,2	43,4	46,0	10,5
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	<b>Среднее</b>		<b>1,00</b>	<b>0,113</b>	<b>12,2</b>	<b>56,1</b>	<b>36,8</b>	<b>7,0</b>
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-АП-37	известняк	0,55	0,032	5,8	16,3	73,8	9,8
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-АП-40	органогенный известняк	5,40	0,195	3,6	62,5	28,5	9,1
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-АП-41	включения битума в кальците	14,01**	не обн.				
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-АП-44а	органогенный известняк	2,28	не обн.				
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-ДВ-8	органогенный известняк	1,07	0,029	2,7	47,2	46,5	6,4
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14 ДВ-13	включения битума в кальците	36,82**	не обн.				
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	10-в14-1	органогенный известняк	0,82	0,017	2,1	49,4	48,3	2,2
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	15-в14-6	органогенный известняк	0,82	0,015	1,8	51,2	46,3	2,4
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	15-в14-11	известняк	0,23	не обн.				
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	<b>Среднее</b>		<b>1,60</b>	<b>0,058</b>	<b>2,7</b>	<b>45,3</b>	<b>48,7</b>	<b>6,9</b>
D <sub>1</sub> <sup>bs</sup>	14-АП-31	включения битума в кавернозном доломите	32,73	не обн.				
D <sub>1</sub> <sup>bs</sup>	14-АП-45	включения битума в кавернозном доломите	65,68	не обн.				
D <sub>1</sub> <sup>psh</sup>	14-ДВ-11	органогенный известняк	9,53	0,118	1,24	52,7	41,6	5,8
D <sub>1</sub> <sup>psh</sup>	5-в14-12	известняк	0,10	не обн.	0,00			
D <sub>1</sub> <sup>psh</sup>	6-в14-6	известняк	0,10	не обн.	0,00			

Табл. 1. Характеристика РОВ и хлороформенных битумоидов пород из отложений девона о. Котельный ст. Полярная. Обозначения: D<sub>1</sub><sup>psh</sup> – пшеицинская свита, D<sub>1</sub><sup>bs</sup> – бысах-каргинская свита, D<sub>1</sub><sup>sh</sup> – шлюпочная свита, D<sub>2</sub><sup>sk</sup> – соколовская свита; \*  $\beta_{ХБ}$  % – коэффициент битуминозности; \*\* – значения не учитывались при расчёте среднего значения C<sub>орг</sub>.

Возраст, свита	Шифр образца	$\sum$ н.к.-nC <sub>20</sub> / $\sum$ nC <sub>21</sub> -к.к.	максимум н-алканов	изопrenoиды/ н-алканы	CPI	п/ф	п/ nC <sub>17</sub>	ф/ nC <sub>18</sub>	(п+ф)/ (nC <sub>17</sub> +nC <sub>18</sub> )
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	14-АП-35	0,20	nC <sub>25,24</sub>	0,15	1,02	0,49	2,39	3,58	3,08
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	14-АП-47	0,71	nC <sub>18,19,20</sub>	0,12	0,99	0,58	0,34	0,49	0,64
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	9-V14-19	0,52	nC <sub>19,20</sub>	0,17	0,95	0,68	0,83	0,78	0,80
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	9-V14-11	0,52	nC <sub>25,26</sub> и nC <sub>15</sub>	0,19	0,97	0,13	1,61	1,65	1,63
D <sub>2</sub> <sup>sk</sup>	9-V14-3	0,78	nC <sub>16,17</sub>	0,31	0,94	1,26	1,26	1,18	1,22
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-АП-37	1,03	nC <sub>17,18</sub>	0,08	1,03	1,23	0,36	0,29	0,33
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-АП-40	1,63	nC <sub>16,17</sub>	0,05	0,94	1,49	0,20	0,13	0,16
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	14-ДВ-8	1,01	nC <sub>17</sub>	0,09	0,97	0,51	0,19	0,33	0,26
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	10-V14-1	0,52	nC <sub>16,17</sub> и C <sub>H</sub> <sub>26</sub>	0,20	0,94	1,16	0,81	0,98	0,89
D <sub>1</sub> <sup>sh</sup>	15-V14-6	0,67	nC <sub>17</sub>	0,29	0,98	1,32	0,86	0,95	0,90
D <sub>1</sub> <sup>psh</sup>	14-ДВ-11	0,67	nC <sub>17</sub>	0,10	1,00	1,15	0,50	0,46	0,65

Табл. 2. Характеристика насыщенных углеводородов ХБ РОВ девонских отложений о. Котельный, ст. Полярная. Обозначения: n – пристан (iC<sub>19</sub>), ф – фитан (iC<sub>20</sub>), CPI =  $\sum$ н-алканов с нечётным числом атомов углерода в молекуле /  $\sum$ н-алканов с чётным числом атомов углерода в молекуле.

Детально проанализирован третий образец (14-ДВ-11), представленный органогенным известняком с высоким содержанием C<sub>орг</sub> и повышенным выходом ХБ (табл. 1). Судя по низкому значению битумоидного коэффициента 1,24%, можно предположить сингенетичный характер битумоида. По групповому компонентному составу он обнаруживает сходство с образцами из залегающей выше шлюпочной свиты и характеризуется высоким содержанием асфальтово-смолистых компонентов (табл. 1, рис. 1б). В химической структуре ХБ пшеицинской свиты, как и шлюпочной свиты, доминируют ароматические циклы, судя по поглощению в области 600-900 и 1600 см<sup>-1</sup>, и существенно участие карбонильных 1700-1730 см<sup>-1</sup> и

гидроксильных 3300 см<sup>-1</sup> групп (рис. 2, 3).

Из бысах-каргинской свиты (D<sub>1</sub><sup>bs</sup>) проанализированы 2 образца (рис. 1б, табл. 1) кавернозных доломитов с включениями битума (14-ДВ-31 и 14-ДВ-45) с очень высоким содержанием C<sub>орг</sub> – 30,9 и 65,7%, и отсутствием в них ХБ. По-видимому, их можно отнести к локальным проявлениям термически высоко преобразованных разностей типа антраксолитов (Иванов и др., 1979). Сведения о присутствии твердых битумов в кавернах доломитов приводятся в работе (Объяснительная записка..., 1985), где содержание C<sub>орг</sub> также достигает высоких значений 26,4 и 61,5%, но в них установлен высокий выход ХБ – 0,120 и 0,269%.

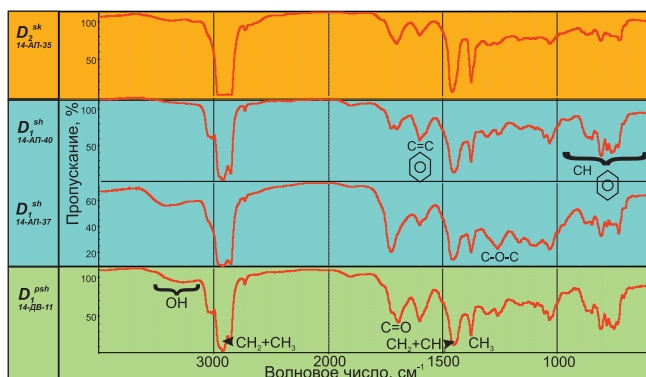


Рис. 2. ИК-спектры ХБ пород нижне-среднедевонских отложений о. Котельный

Шлюпочная свита ( $D_1^{sh}$ ). Изученные образцы представлены органогенными известняками, известняками с прослоями аргиллитов, а также известняками с включениями в кальцитовых жилах твердого битума с характерным блеском по разломам. Образцы существенно различаются по содержанию  $C_{орг}$  и выходу ХБ (табл. 1, рис. 16).

Максимальное содержание  $C_{орг}$  установлено в образцах известняков с включениями твердого битума – от 14,0 до 36,8%, причём в них отсутствуют растворимые в хлороформе битумоиды (табл. 1). Эти признаки характерны для термически высоко преобразованных разностей битумов класса антраксолитов. Сведения о выполнении пор в известняках шлюпочной и соколовской свит твёрдыми битумами типа антраксолитов на северо-западе побережья о. Котельный приводятся в ряде работ (Иванов и др., 1979; Клубов, 1983; Косьюко и др., 1975).

В карбонатных породах  $C_{орг}$  значительно ниже, чем в образцах с включениями битума. В органогенных известняках оно почти на порядок выше по сравнению с известняками. Групповой состав ХБ представлен маслами и смолистыми компонентами при низком содержании асфальтенов (табл. 1). В химической структуре ХБ доминируют углеводородные соединения (рис. 2, 3). Поглощение карбонильных групп ( $D_{1730-1700}$ ) относительно поглощения метильных и метиленовых групп ( $D_{1460}$ ) ниже

единицы – 0,19-0,47, что можно рассматривать как показатель термической зрелости ОВ, достигшего главной зоны нефтеобразования (ГФН).

От рассмотренных выше отличается образец 14-АП-37 с очень низким содержанием УВ (16,5%) и высоким содержанием асфальто-смолистых компонентов (83,5%), высокими значениями коэффициентов поглощения кислородсодержащих групп и связей (табл. 1, рис. 16). Вместе с тем, судя по характеру ИК-спектров спиртобензольных смол, все изученные образцы подверглись сильному гипергенному окислению; в большей степени это относится к образцу 14-АП-37, в ИК-спектре спиртобензольных смол которого коэффициент поглощения карбонильных групп вдвое выше поглощения метиленовых и метильных групп  $K'_{1700} > 2$ .

ХБ шлюпочной свиты отличаются и по углеводородному составу – содержание ароматического углерода в маслах изменяется в широком диапазоне от 17 до 44%. По данным ИК-Фурье спектроскопии в составе масляных фракций и нефракционированных ХБ установлено присутствие широкого спектра ароматических УВ, как и в образце пшеницинской свиты. На это указывает нетипичный для нафтидов характер ИК-спектров с большим числом полос поглощения в области 600-1000  $cm^{-1}$ , обусловленных деформационными колебаниями незамещённых атомов водорода 708, 750, 762, 780, 808, 831, 848, 868 и валентных колебаний  $C=C$  связей 1575, 1588, 1604  $cm^{-1}$  в ароматических циклах (рис. 3).

Среди изученных образцов шлюпочной свиты можно выделить два, резко различающихся по геохимическим параметрам (табл. 1). Образец 14-АП-37 по низкому выходу ХБ, низкому содержанию масел (16%) и доминированию асфальто-смолистых компонентов в составе ХБ, а также высоким значениям поглощения кислородсодержащих групп и связей можно рассматривать как сингенетичный или сингенетично-остаточный битумоид. В то время как в другом (14-АП-40) присутствуют все признаки, чтобы отнести его к параавтохтонным битумоидам  $\beta = 3,6\%$ , уже утратившим связь с материнской породой, но не покинувшим генерирующей толщи. Он близок к мальтам

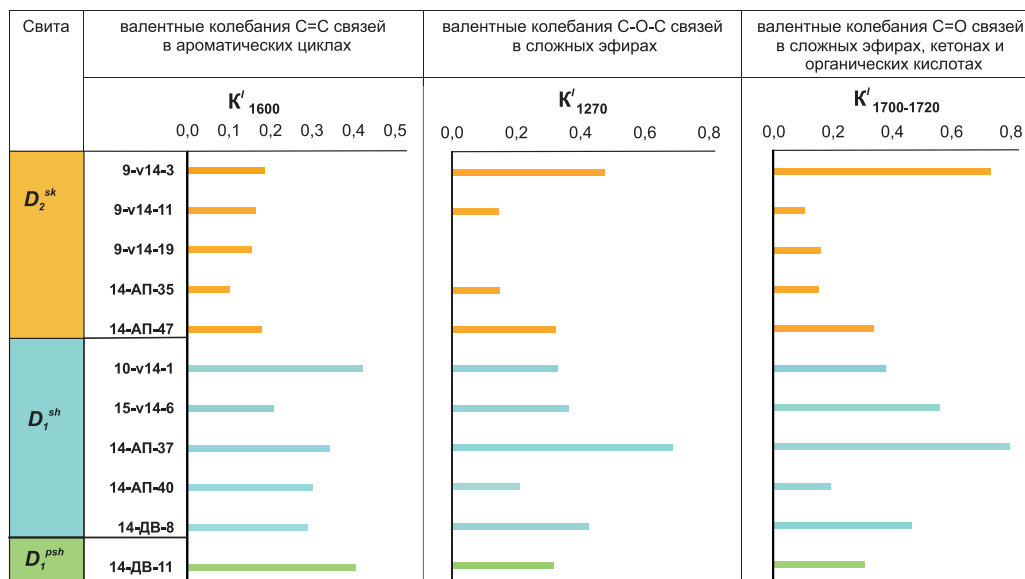


Рис. 3. Изменение относительных коэффициентов поглощения в ИК-спектрах ХБ:  $K'_{1600}$  – ароматических циклов,  $K'_{1270}$  – сложных эфиров и  $K'_{1700-1720}$  – карбонильных групп по разрезу нижне-среднедевонских отложений.

по высокому содержанию масел (62%), низкому – смол, низким относительным коэффициентам поглощения карбонильных и эфирных групп и связей (табл. 1, рис. 2, 3).

В составе насыщенных УВ шлюпочной свиты установлено высокое содержание относительно низкомолекулярных *n*-алканов ( $\sum \text{н.к.-nC}_{20} / \sum \text{nC}_{21-\text{к.к.}} = 1,01-1,63$ ) с максимумом на  $\text{nC}_{15-18}$ , присущее аквагенному ОВ (табл. 2, рис. 4). Среди насыщенных УВ пшеницинской свиты *n*-алканы составляют 56%, в их составе высоко содержание относительно низкомолекулярных гомологов с максимумом на  $\text{nC}_{17}$ . В обеих свитах алкановые УВ характеризуются низким соотношением изопреноиды/*n*-алканы. Значения коэффициента СРІ, близкие к единице, свидетельствуют о термической зрелости ОВ. В составе алкановых УВ не обнаружены 12-, 13-метилалканы, что отличает их от венд-кембрийских нефтей Сибирской платформы, генезис которых связывают с аквагенным ОВ, формировавшимся в восстановительной среде при отсутствии сероводородного заражения и преимущественно карбонатном составе материнских отложений (Каширцев и др., 2015).

Особенностью состава масляной фракции ХБ пород шлюпочной свиты, как и пшеницинской, является высокое содержание дибензтиофеновых УВ, представленных дибензтиофеном, метилдибензтиофенами, диметилдибензтиофенами, диметилнафтотиофенами, на что указывает появление набора интенсивных пиков этих соединений на хроматограммах по общему ионному току. Сложный

характер хроматограмм затрудняет идентификацию полициклических УВ ряда гопанов и стеранов, несущих ценную генетическую информацию. В ИК-спектрах масляных фракций наложение интенсивного поглощения ароматических УВ «закрывает» поглощение алканов с числом метиленовых групп более 4 и вызывает смещение максимума полосы  $720 \text{ см}^{-1}$  в область  $728-732 \text{ см}^{-1}$ . Вероятнее всего, высокие концентрации дибензтиофенов обусловлены особенностями накопления исходного ОВ этих свит в обстановке высокой сероводородной заражённости осадков на северо-западе о. Котельный. Установлено, что сероароматические соединения ряда бензтиофенов не имеют аналогов в живом веществе биологических предшественников. Их происхождение ряд исследователей связывает с процессами диагенетических преобразований аквагенного ОВ в осадках морских водоемов с сероводородным заражением (Radke et al., 1986; Schou et al., 1988; Hughes et al., 1995; Дахнова, 2000; Конторович и др., 2004; Парфенова, 2017). По присутствию дибензтиофенов эти образцы отличаются от нижнедевонских битумопроявлений в Индигино-Зырянском прогибе (Зуева и др., 2016).

*Соколовская свита ( $D_2^{sk}$ )*. Образцы отличаются по литологическому составу вмещающих пород, характеру битумонасыщения, содержанию и составу ХБ (табл. 1, рис. 1б). Содержание  $C_{\text{орг}}$  характеризуется от низких (0,08%) до повышенных значений (2,06%), разница в выходе ХБ составляет почти два порядка. В групповом составе ХБ преобладают масла и смолы. На аквагенную природу ОВ изученных битумоидов указывает характер распределения насыщенных УВ с максимумом *n*-алканов в относительно низкомолекулярной области  $\text{nC}_{16,17,19}$ . О термической зрелости ОВ, достигшего ГФН, можно судить по коэффициенту СРІ, близкому к единице.

Сравним два образца (табл. 1), отличающихся по характеру битумонасыщения, в одном – по типу порового коллектора (*14-АП-35*), в другом – жильного битума в кальците (*14-АП-47*), контрастных по составу, которые хорошо вписываются в пёструю картину битумопроявлений в данной свите (Объяснительная записка..., 1985; 2016). В составе образца *14-АП-35* доминируют масла 70,3%, что позволяет рассматривать его как нефтепроявление, в образце *14-АП-47* содержание масел – 43,5%, и он близок к мальтам. Различия в химической структуре ХБ по ИК-спектрам также показывают близость одного из них по меньшему содержанию кислородсодержащих групп и связей к нефтям (*14-АП-35*), а другого (*14-АП-47*) – к мальтам. По значениям битумоидного коэффициента (табл.1) оба битумопроявления, скорее всего, можно отнести к параавтохтонным. Сведения о присутствии в данной свите вторичных битумопроявлений с высокими коэффициентами  $\beta > 100\%$  приведены в работах (Объяснительная записка..., 1985; 2016).

В образце *14-АП-35* из нефтепроявления в углеводородном составе установлено существенное преобладание метаново-нафтенных структур  $\text{МН/НА} = 1,83$ , что отличает его от изученных образцов из нижезалегающих шлюпочной и пшеницинской свит. Содержание *n*-алканов от суммы идентифицированных УВ составляет 40,7%. Максимум распределения *n*-алканов сдвинут в высокомолекулярную область на  $\text{nC}_{24,25}$ , что может быть связано не только с природой исходного ОВ (табл. 2, рис. 4).

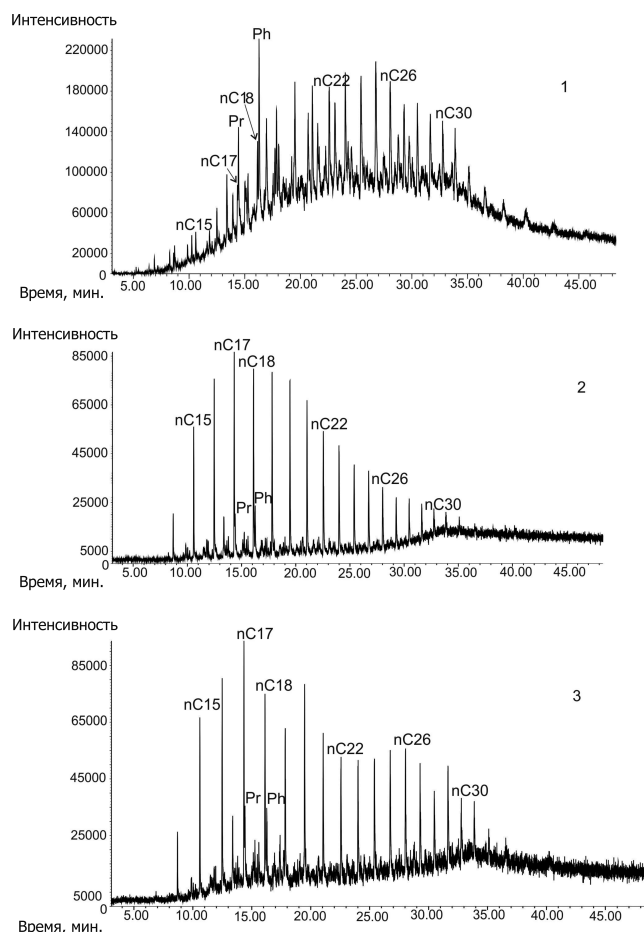


Рис. 4. Хромато-масс-фрагментограммы ( $m/z57$ ) насыщенных УВ ОВ пород: 1 – соколовской свиты (средний девон); 2 – шлюпочной и 3 – пшеницинской свит (нижний девон). Обозначения:  $\text{nC}_{15}-\text{nC}_{30}$  – *n*-алканы, Pr – пристан, Ph – фитан.

Известно, что преобладание относительно высокомолекулярных n-алканов – пристана и фитана, над рядом элюирующимися n-алканами  $C_{17}$  и  $C_{18}$  может быть обусловлено влиянием процессов биodeградации на изменение первоначального состава ХБ, результатом которых стало уменьшение содержания относительно низкомолекулярных УВ, наиболее доступных микроорганизмам. Судя по значениям коэффициентов пристан/н $C_{17}$ , фитан/н $C_{18}$  и смещению максимума в относительно высокомолекулярную область, битумоид из известняка (образец 9-V-14-II) был затронут биodeградацией в меньшей степени.

В образце 14-АП-47, отнесённом к мальтам, в отличие от нефтепроявления почти вдвое выше содержание спиртобензольных смол и в пять раз – асфальтенов. В химической структуре ХБ почти вдвое больше количество ароматических структур. Высокое содержание кислородсодержащих групп и связей в химической структуре смол и ХБ обусловлено процессами химического окисления в зоне гипергенеза. Максимум n-алканов расположен в области н $C_{18}$ -н $C_{20}$  (табл. 2). Соотношения пристана и фитана с рядом элюирующимися n-алканами меньше единицы, что характерно для нафтидов, не затронутых процессами биodeградации.

Таким образом, в соколовской свите на фоне сингенетичной битуминозности установлены битумопроявления, на формирование состава которых в разной степени оказали воздействие процессы химического и бактериального окисления, существенно изменившие первоначальный облик нафтидов.

По данным хромато-масс-спектрометрии в отличие от пшеничинской и шлюпочной свит в масляной фракции ХБ соколовской свиты дибензтиофены либо не обнаружены, либо их содержание в отдельных образцах незначительно. По-видимому, это может быть связано с различиями обстановок осадконакопления и диагенеза с меньшей степенью сероводородного заражения вод и осадков в среднем девоне по сравнению с нижним.

## Выводы

Таким образом, полученные результаты подтверждают существующую точку зрения на отложения нижнего и среднего девона о. Котельный как вмещающие потенциально нефтематеринские толщи с высоким содержанием аквагенного ОВ (Граммберг, 1976; Евдокимова и др., 2008; Иванов, Клубов, 1979; Косьюко, 1988; Полякова и др., 2016; Сафронов, 2002). По нашим данным, на это указывает высокое содержание  $S_{орг}$ , большой выход битумоидов, высокое содержание масел в составе синбитумоидов, преобладание относительно низкомолекулярных n-алканов с максимумом на н $C_{15-18}$ . О достаточной зрелости битумоидов можно судить по значениям коэффициентов CPI, близким к единице, и низким значениям коэффициентов поглощения кислородсодержащих групп и связей в ХБ, т.е. отложения вошли в зону ГФН и генерировали жидкие УВ, которые могли мигрировать и образовывать скопления.

Изученные битумопроявления, по нашим данным, носят, главным образом, сингенетичный характер и претерпели значительные изменения в зоне катагенеза и гипергенеза. Судя по ИК-спектрам смолистых компонентов, все изученные образцы подверглись сильному

гипергенному окислению. По особенностям распределения насыщенных УВ установлено, что в соколовской свите среднего девона битумопроявления наряду с химическим окислением были в разной степени затронуты процессами бактериального окисления в отличие от нижнедевонских битумопроявлений.

По данным хромато-масс-спектрометрии показано, что особенностью состава битумоидов из нижнедевонских отложений является присутствие высоких концентраций дибензтиофенов по сравнению с образцами среднего девона. Установленные различия могут быть связаны с условиями осадконакопления и диагенеза ОВ, которые в нижнем девоне отличались более высокой сероводородной заражённостью осадков. Это позволяет сделать вывод о том, что нафтиды, генерированные аквагенным ОВ нижнедевонских отложений, могут быть обогащены дибензтиофенами.

В процессе эволюции шельфа морей Лаптевых и Восточно-Сибирского среднепалеозойские породы достигли зоны апокатагенеза и в значительной мере уже реализовали свой потенциал (Граммберг, 1976; Полякова и др., 2016; Сафронов, 2002). Можно предположить, что при вертикальной миграции флюидов первично девонские нефти могли в благоприятных геологических условиях формировать залежи в вышележащих отложениях. Полученные результаты могут быть использованы при оценке генерационного потенциала нефтематеринских толщ и при прогнозе перспектив нефтегазоносности шельфа восточного сектора Российской части Арктики.

## Финансирование/Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта НИР ИПНГ СО РАН № 0377-2018-0004 и проекта НИР ИГАБМ СО РАН № 0381-2019-0001.

Авторы статьи благодарны редакции и рецензентам за проделанную работу, высказанные замечания и рекомендации, которые в значительной степени способствовали улучшению изложения работы и её восприятия.

## Литература

- Беллами Л. (1963). Инфракрасные спектры молекул. М.: ИЛ, 590 с.
- Вассоевич Н.Б. (1973). Основные закономерности, характеризующие органическое вещество современных и ископаемых осадков. *Природа органического вещества современных и ископаемых осадков*. М.: Наука, с. 11-59.
- Граммберг И.С. (1976). Потенциальные возможности нефтегазообразования в осадочных толщах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. *Геология шельфа Восточносибирских морей. Сб. науч. тр. НИИГА*, 122 с.
- Дахнова М.В. (2000). Геохимия сераорганических соединений и ее роль в прогнозе нефтегазоносности. *Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. Обзорная информация*. М.: Геоинформмарк, вып. 1, с. 52.
- Евдокимова Н.К., Яшин Д.С., Ким Б.И. (2008). Углеродородный потенциал отложений осадочного чехла шельфов восточно-арктических морей России (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского). *Геология нефти и газа*, 2, с. 3-12.
- Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Глянцева Ю.С. (2016). Нафтиды нижнедевонских отложений Селенныхского поднятия (северовосток Якутии). *Материалы VI ВНИПК «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России»*. Якутск: Изд. дом СВФУ, с. 346-349.
- Иванов В.В., Клубов Б.А. (1979). Нафтиды и нафтоиды Северо-Востока СССР. М.: Наука, 147 с.
- Каширцев В.А., Конторович А.Э., Ким Н.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. (2015). Стераны в неопротерозойских нефтях Непско-Ботубунской антеклизы Сибирской платформы и Южно-Оманского соленосного бассейна аравийской платформы. *Нефтехимия*, 55(3), с. 197-205. <https://doi.org/10.7868/S0028242115020136>

Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Иванова Е.Н., Фомин А.Н. (2004). Фенантрены, ароматические стераны и дибензтиофены в юрских отложениях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и их значение для органической геохимии. *Геология и геофизика*, 45(7), с. 873-883.

Косью М.К. (1988). Седиментационные бассейны Восточно-Сибирского и Чукотского морей. *Геология морей и океанов*, с. 188-195.

Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ (1985). М. 1:2 000 000. Новосибирские острова. Сост.: Косью М.К., Бондаренко Н.С., Непомилуев В.Ф. М.: Союзгеолфонд, 160 с.

Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ (2016). М. 1:1 000 000. Сер. Лаптево-Сибироморская. Науч. ред.: М.К. Косью, Е.А. Гусев. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 317 с.

Парфенова Т.М. (2017). Геохимия серы и сернистых соединений куонамского комплекса нижнего и среднего кембрия (восток Сибирской платформы). *Георесурсы*, 19(1), с. 45-51. <https://doi.org/10.18599/grs.19.1.8>

Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч., Сидоренко С.А. (2016). Углеводородный потенциал рифейско-нижнемеловых комплексов Лаптевоморского региона. *Арктика: экология и экономика*, 1(21), с. 56-65.

Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород (1966). Под ред. В.А. Успенского, К.Ф. Родионовой, А.И. Горской, А.П. Шишкиной. Л.: Недра, 316 с.

Сафронов А.Ф. (2002). Перспективы нефтегазоносности арктической части территории Западной Якутии. *Российская Арктика (геологическая история, минерагения, геоэкология)*. С-Пб.: Изд-во ВНИИОкеангеология, 960 с.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) (2001). М: Маик «Наука/Интерпериодика», 571 с.

Hughes W.B., Holba A.G.Dzou, L.I.P. (1995). The ratio of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phetane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks. *Geochem. And Cosmochem. Data*, 59, pp. 147-152. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00225-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00225-0)

Radke M., Welte D.H., Willsch H. (1986). Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type. *Org. Geochemistry*, 10, pp. 51-63. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(86\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0146-6380(86)90008-2)

Schou L., Myhr M.B. (1988). Sulfur aromatic compounds as maturity parameters. *Org. Geochemistry*, 13, pp. 61-66. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(88\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0146-6380(88)90025-3)

### Сведения об авторах

*Ираида Николаевна Зуева* – ведущий научный сотрудник, канд. геол.-мин. наук, лаборатория геохимии каустобиолитов, Институт проблем нефти и газа СО РАН Россия, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, д. 1  
Тел: +7(4112)33-58-33, e-mail: inzu@ipng.ysn.ru

*Ольга Николаевна Чалая* – ведущий научный сотрудник, канд. геол.-мин. наук, заведующий лабораторией геохимии каустобиолитов, Институт проблем нефти и газа СО РАН Россия, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, д. 1

*Сара Хаимовна Лифшиц* – ведущий научный сотрудник, канд. хим. наук, лаборатория геохимии каустобиолитов, Институт проблем нефти и газа СО РАН Россия, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, д. 1

*Юлия Станиславовна Глязнецова* – ведущий научный сотрудник, канд. хим. наук, лаборатория геохимии каустобиолитов, Институт проблем нефти и газа СО РАН Россия, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, д. 1

*Андрей Владимирович Прокопьев* – зам. директора, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, д. 39

*Виктория Бэртовна Ершова* – зав. кафедрой, канд. геол.-мин. наук, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9

*Дмитрий Анатольевич Васильев* – научный сотрудник, лаборатория геодинамики и региональной геологии Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, д. 39

*Андрей Константинович Худoley* – профессор, доктор геол.-мин. наук, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9

Статья поступила в редакцию 24.08.2018;  
Принята к публикации 12.04.2019;  
Опубликована 01.09.2019

IN ENGLISH

## Geochemical features of bitumen shows in the Lower-Middle Devonian deposits of the Northern-Western part of Kotelny Island (Novosibirsk Island Archipelago)

*I.N. Zueva<sup>1\*</sup>, O.N. Chalaya<sup>1</sup>, Ju. S. Glyaznetsova<sup>1</sup>, S.H. Lifshits<sup>1</sup>, A.V. Prokopiev<sup>2</sup>, V.B. Ershova<sup>3</sup>, D.A. Vasiliev<sup>2</sup>, A.K. Khudoley<sup>3</sup>*

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

<sup>2</sup>Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

\*Corresponding author: Iraida N. Zueva, e-mail: inzu@ipng.ysn.ru

**Abstract.** The work presents the results of organic matter (OM) study of rocks, the composition, chemical structure of chloroform bitumen (CB), their fractions and the nature of the hydrocarbon biomarkers distribution in samples taken from outcrops. The obtained results confirmed the existing idea of the domanicoid nature of OM and the high oil and gas potential of the studied deposits. According to our data, the aquagenic type of OM is indicated by a high content of C<sub>org</sub>, a high yield of CB, a high content of oils in the composition of synbitumoids, and the predominance of relatively low molecular weight n-alkanes with a maximum at nC<sub>15-18</sub>. A sufficient maturity of bitumen can be judged by CPI coefficients close to unity and low absorption coefficients of oxygen-containing groups and bonds in the CB, thus deposits entered the main oil generation zone and generated

liquid hydrocarbons that could migrate and form clusters. According to the data of Chromato Mass Spectrometry, it is shown that a feature of the composition of CB from the Lower Devonian sediments is the presence of high concentrations of dibenzothiophenes, in contrast to the Middle Devonian, which may be associated with the formation of the initial OM in an environment with higher hydrogen sulfide contamination of sediments. It has been suggested that naphthides generated by aquagenic OM of the Lower Devonian deposits can be enriched with dibenzothiophenes. The studied bitumen shows are mainly syngenetic in nature and have been influenced by hypergenic oxidation (judging by the nature of the IR spectra of resinous components) and contact metamorphism. According to the characteristics of the distribution of saturated hydrocarbons, it was

shown that, in the Middle Devonian, bitumen occurrences along with chemical oxidation were affected to a different degree of bacterial oxidation processes, in contrast to the Lower Devonian bitumen shows. The results can be used to assess the generation potential of oil source strata and to forecast the prospects of oil and gas potential in the shelf of the eastern sector of the Russian part of the Arctic.

**Keywords:** Kotelny Island, Lower and Middle Devonian, organic matter, bitumen shows, hydrocarbon biomarkers

**Recommended citation:** Zueva I.N., Chalaya O.N., Glyaznetsova Yu.S., Lifshits S.Kh., Prokopiev A.V., Ershova V.B., Vasiliev D.A., Khudoley A.K. (2019). Geochemical features of bitumen shows in the Lower-Middle Devonian deposits of the Northern-Western part of Kotelny Island (Novosibirsk Island Archipelago). *Georesursy = Georesources*, 21(3), pp. 31-38. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.31-38>

#### Acknowledgments/Funding

The authors are grateful to the editors and reviewers for the work done, the comments and recommendations made, which greatly contributed to improving the manuscript and its perception.

The work was performed in the framework of the Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences research project No. 0377-2018-0004 and the Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences research project No. 0381-2019-0001.

#### References

Bellami L. (1963). *Infrakrasnye spektry molekul* [Infrared spectra of molecules]. Moscow: IL, 590 p. (In Russ.)

Dakhnova M.V. (2000). Geochemistry of organic sulfur compounds and its role in the prediction of oil and gas potential. *Geologiya, metody poiskov, razvedki i otsenki mestorozhdenii toplivno-energeticheskogo syr'ya. Obzornaya informatsiya* [Geology, methods of prospecting, exploration and evaluation of fuel and energy raw materials]. Moscow: Geoinformmark, is. 1, p. 52. (In Russ.)

Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation (1985). Scale 1:2 000 000. Novosibirsk Islands. Compiled by: Kosko M.K., Bondarenko N.S., Nepomiluev V.F. Moscow: Soyuzgeolfond, 160 p. (In Russ.)

Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation (2016). Scale 1:1 000 000. Laptev-Sibiromorsky Series. Scientific editors: M.K. Kosko, E.A. Gusev. St. Petersburg: VSEGEI, 317 p.

Evdokimova N.K., Yashin D.S., Kim B.I. (2008). Hydrocarbon potential of sedimentary cover deposits of offshore East Arctic Seas of Russia (Laptev, East Siberian and Chukotsk). *Geologiya nefii i gaza = Oil and gas geology*, 2, pp. 3-12. (In Russ.)

Gramberg I.S. (1976). Potential opportunities of oil and gas formation in sedimentary strata of the Laptev and East-Siberian seas. *Geologiya shel'fa Vostochnosibirskikh morei. Sb. nauchnykh trudov NIIGA* [The geology of the shelf of the East Siberian seas: Coll. papers]. 122 p. (In Russ.)

Guide to the analysis of bitumen and scattered organic matter of rocks (1966). Ed. V.A. Uspensky, K.F. Rodionova, A.I. Gorskaya, A.P. Shishkina. Leningrad: "Nedra" Publ., 316 p. (In Russ.)

Hughes W.B., Holba A.G. Dzou, L.I.P. (1995). The ratio of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phthane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks. *Geochem. And Cosmochem. Data*, 59, pp. 147-152. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00225-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00225-0)

Ivanov V.V., Klubov B.A. (1979). Naftidy i naftoidy Severo-Vostoka SSSR [Naphthides and naphthoids of the North-East of the USSR]. Moscow: "Nauka" Publ., 147 p. (In Russ.)

Kashirtsev V.A., Kontorovich A.E., Kim N.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. (2015). Steranes in neoproterozoic oils from the Nepa-Botuoba anticline in the Siberian platform and the South Oman salt basin in the Arabian platform. *Neftekhimiya = Petroleum Chemistry*, 55(3), pp. 197-205. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0028242115020136>

Kontorovich A.E., Melenevskii V.N., Ivanova E.N., Fomin A.N. (2004). Phenanthrenes, aromatic steranes and dibenzothiophenes in the Jurassic sediments of the West Siberian oil and gas basin and their significance for organic geochemistry. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 45(7), pp. 873-883. (In Russ.)

Kosko M.K. (1988). Sedimentatsionnye basseiny Vostochno-Sibirskogo i Chukotskogo morei [Sedimentation basins of the East Siberian and Chukchi seas]. *Geologiya morei i okeanov*, pp. 188-195. (In Russ.)

Parfenova T.M. (2017). Geochemistry of Sulfur and Sulfur Compounds of the Cambrian Kuonamka Complex (Eastern Siberian Platform).

*Georesursy = Georesources*, 19(1), pp. 45-51. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.1.8>

Polyakova I.D., Borukaev G.Ch., Sidorenko S.A. (2016). Hydrocarbon potential of the Riphean-Lower Cretaceous complexes of the Laptev Sea region. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*, 1(21), pp. 56-65. (In Russ.)

Radke M., Welte D.H., Willsch H. (1986). Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type. *Org. Geochemistry*, 10, pp. 51-63. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(86\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0146-6380(86)90008-2)

Safronov A.F. (2002). Perspektivy neftegazonosnosti arkticheskoi chasti territorii Zapadnoi Yakutii. Rossiiskaya Arktika (geologicheskaya istoriya, minerageniya, geokologiya) [Oil and gas potential in the Arctic part of the Western Yakutia. Russian Arctic (geological history, minerageny, geocology)]. St. Petersburg: VNIIOkangeologiya, 960 p. (In Russ.)

Schou L., Myhr M.B. (1988). Sulfur aromatic compounds as maturity parameters. *Org. Geochemistry*, 13, pp. 61-66. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(88\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0146-6380(88)90025-3)

Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic territory (Yakutia) (2001). Moscow: Maik "Nauka/Interperiodika", 571 p. (In Russ.)

Vasoevich N.B. (1973). Osnovnye zakonomernosti, kharakterizuyushchie organicheskoe veshchestvo sovremennykh i iskopaemykh osadkov. Priroda organicheskogo veshchestva sovremennykh i iskopaemykh osadkov. [The main patterns that characterize the organic matter of modern and fossil sediments. The nature of the organic matter of modern and fossil sediments]. Moscow: "Nauka" Publ., pp. 11-59. (In Russ.)

Zueva I.N., Chalaya O.N., Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S. (2016). Naftides of the Lower Devonian sediments of the Selennyakhsky uplift (north-east of Yakutia). *Materialy VI Konf. «Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii»* [Proc. VI Conf.: Geology and mineral resources of the North-East of Russia]. Yakutsk: SVFU Publ., pp. 346-349. (In Russ.)

#### About the Authors

*Iraida N. Zueva* – Leading Researcher, PhD (Geology and Mineralogy), Laboratory of Caustobioliths Geochemistry, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russian Federation  
Tel: +7(4112)33-58-33, e-mail: [inzu@ipng.ysn.ru](mailto:inzu@ipng.ysn.ru)

*Olga N. Chalaya* – Leading Researcher, PhD (Geology and Mineralogy), Head of the Laboratory of Caustobioliths Geochemistry, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russian Federation

*Sara H. Lifshits* – Leading Researcher, PhD (Chemistry), Laboratory of Caustobioliths Geochemistry, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russian Federation

*Julia S. Glyaznetsova* – Leading Researcher, PhD (Chemistry), Laboratory of Caustobioliths Geochemistry, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russian Federation

*Andrey V. Prokopiev* – Deputy Director, PhD (Geology and Mineralogy), Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

39 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russian Federation

*Viktoria B. Ershova* – Head of the Department, PhD (Geology and Mineralogy), Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University

7/9 Universitetskaya em., St.Petersburg, 199034, Russian Federation

*Dmitry A. Vasiliev* – Researcher, Laboratory of Geodynamics and Regional Geology, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

39 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russian Federation

*Andrey K. Khudoley* – Professor, DSc (Geology and Mineralogy), Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University

7/9 Universitetskaya em., St.Petersburg, 199034, Russian Federation

Manuscript received 24 August 2018;

Accepted 12 April 2019; Published 1 September 2019