

УДК 553.98+550.4+551.73

БИТУМОИДЫ В КЕМБРИИ ПРЕДЬЕНИСЕЙСКОГО СУББАСЕЙНА: ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ, КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ

Е.А. Костырева¹, А.Э. Конторович¹, И.С. Сотнич¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект академика
Коптюга, 3, Российская Федерация

Аннотация: История геологического развития Предьенисейского осадочного суббасейна, наличие в кембрийском разрезе нескольких стратиграфических уровней распространения обогащенных органическим веществом пород и высокая стадия катагенеза предполагают интенсивные процессы нефтегазообразования в этих отложениях в геологическом прошлом. Высокая изменчивость как по содержанию, так и по групповому и углеводородному составу содержащихся в кембрийских отложениях нефтидов (битумоидов) обусловлена миграционными процессами, на что указывают установленные по закономерности Успенского-Вассоевича три поля битумоидов: аллохтонные, автохтонные, остаточные автохтонные. В статье предпринята попытка более детального дифференцирования битумоидов, предложена классификация битумоидов по групповому и углеводородному составу, согласно которой выделено 7 классов. Установлено, что на долю аллохтонных битумоидов (класс VII), углеводородных по составу и наиболее миграционно-способных, приходится около 30 % от общего количества нефтидов, еще 6 % попадают в класс автохтонно-аллохтонных (классы V, VI), остальные битумоиды – автохтонные и остаточные автохтонные, преимущественно асфальтово-смолистого состава. Анализ углеводородного состава битумоидов на молекулярном уровне показал, в целом, генетическое единство автохтонных и аллохтонных битумоидов. Однако, для аллохтонных битумоидов наблюдается больший разброс значений молекулярных показателей, подтверждающих влияние на их состав миграционных процессов.

Ключевые слова: автохтонный битумоид, аллохтонный битумоид, остаточный автохтонный битумоид, миграция, углеводороды-биомаркеры, классификация битумоидов, кембрий, Западная Сибирь

BITUMOIDS IN CAMBRIAN DEPOSITS OF THE CIS-YENISEI SUB-BASIN: FEATURES OF COMPOSITION, DISTRIBUTION AND DIAGNOSIS

E.A. Kostyreva¹, A.E. Kontorovich¹, I.S. Sotnich¹

Abstract. The geological development history of the cis-Yenisei sedimentary sub-basin, the presence of several stratigraphic levels in the Cambrian section with organic-rich rocks, and the high level of catagenesis suggest intensive hydrocarbon generation processes in these deposits in the geological past. Migration processes in the Cambrian sediments caused a high variability of bitumoids (chloroform rock extracts), both in their content and in group and hydrocarbon composition, as evidenced by three kind of bitumoids (allochthonous, autochthonous, residual autochthonous), defined according to the Uspensky-Vassoevich regularity. In order to differentiate bitumoids more precisely, the article proposes a classification of bitumoids by group and hydrocarbon composition, distinguishing 7 classes. Allochthonous bitumoids (class VII) have more hydrocarbonic composition and are the most migratory, and have been found to represent about 30% of the total amount of bitumoids, another 6% fall into the class of autochthonous-allochthonous (classes V, VI), the rest of the bitumoids are autochthonous and residual autochthonous, mainly of asphalt-resinous composition. Molecular analysis of the composition of bitumoids has generally shown the genetic unity of autochthonous and allochthonous bitumoids. For allochthonous bitumoids, however, there is a wider range of values for molecular indicators, confirming the influence of migration processes on their composition..

Keywords: autochthonous bituminous, allochthonous bituminous, residual autochthonous bitumoid, migration, biomarker hydrocarbons, bitumoid classification, Cambrian, Western Siberia

ВВЕДЕНИЕ

Предъенисейский осадочный суббассейн – мощный осадочный комплекс верхнепротерозой-палеозойского, на большей части территории кембрийского возраста, залегающий под мезозойскими отложениями на юго-востоке Западной Сибири, в котором процессы нефтегазообразования в геологическом прошлом происходили с высокой степенью интенсивности [Конторович и др., 2006, 2011; Конторович, Костырева, 2011; Стратиграфия..., 2016; Конторович, Костырева, 2023; Филиппов, 2018; Конторович и др., 2024 и др.]. В настоящее время в бассейне промышленных залежей не выявлено, территория находится на региональной стадии изучения, поэтому анализ результатов проведенных детальных геохимических исследований органического вещества позволит более достоверно оценить перспективы ее нефтегазоносности [Конторович и др., 2024 и др.].

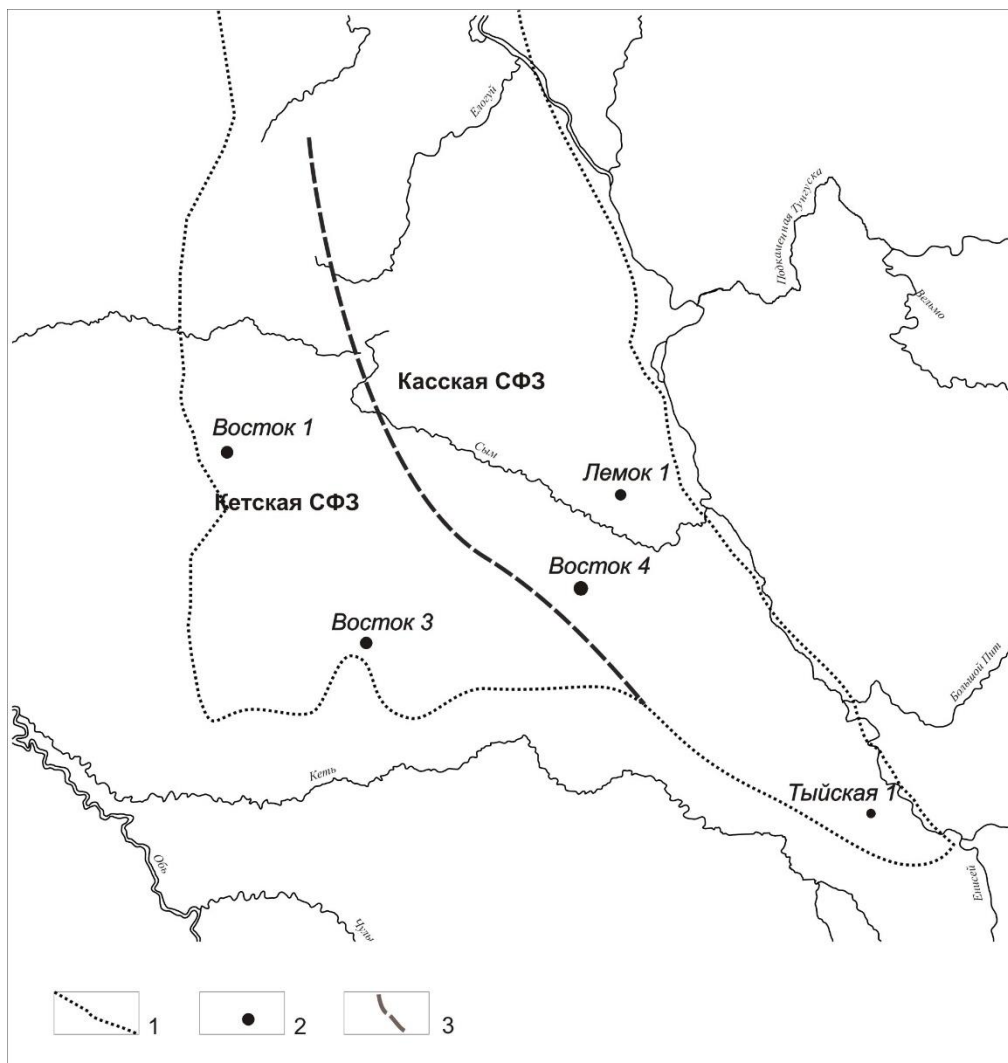


Рис. 1. Расположение скважин и структурно-фациальные зоны (СФЗ) кембрия Предьенисейского осадочного суббассейна [Контарович и др., 2021].

Условные обозначения: 1 – границы суббассейна, 2 – скважины, 3 – границы СФЗ.

Органическое вещество вендских отложений детально охарактеризовано в одной скважине - скв. Восток-3 [Конторович и др., 2011]. Результаты изучения органического вещества в кембрийских отложениях по отдельным скважинам (рис. 1) были опубликованы в 1995-2011 годах [Каштанов и др., 1995; Костырева, 2005; Конторович и др., 2000; Конторович, Костырева, 2011; Конторович и др.,

2011]. Геохимические исследования органического вещества в фрагментарно-вскрытых осадочных отложениях предположительно ордовикско-пермского возраста [Конторович и др., 2006; Филиппов, Конторович, Сенников, 2014, Филиппов, 2018] на современном уровне в ИНГТ СО РАН не проводились. Сводная картина содержания органического углерода (C_{org}) в породах кембрия в Предьенисейском осадочном суббассейне на значительной по объему выборке впервые была рассмотрена Конторовичем, Костыревой в статье 2023 года. В этой же работе согласно особенностям распределения органического углерода, изотопного и элементного составов керогена в кембрии на территории Предьенисейского суббассейна установлено несколько стратиграфических уровней распространения обогащенных высокопреобразованным органическим веществом пород: пласт в чурбигинской свите (C_1 томмотский), прослой в оксымской свите (C_1 атдабанский), пайдугинская свита (C_1 тойонский - C_2 амгинский), прослой в елогуйской (C_2 майский), поделгинской (C_2 майский) и кондесской (C_2 аюсокканский) свитах [Конторович, Костырева, 2023]. Настоящая статья будет продолжением исследования органического вещества кембрия этого района. Цель данной работы – обобщение результатов изучения комплексом современных геохимических методов органического вещества в кембрийских отложениях и выявление особенностей распределения и состава битумоидов (хлороформенных экстрактов) в соответствии с выделенными свитами и фациями, а также установление критериев выделения автохтонных и аллохтонных битумоидов в этих отложениях.

Еще в конце 50-х годов прошлого века Н.Б. Вассоевич разъяснил химико-аналитическое понимание термина битумоид, как экстракта веществ из горных пород «такими органическими растворителями, как хлороформ или спиртобензол, независимо от их характера первичной или вторичной природы, автохтонности или аллохтонности» [Вассоевич, 1959]. Им же для установления степени битуминозности был введен параметр «битумоидный коэффициент (β)» [Вассоевич, 1958]. Закономерность «повышение величины «битумоидного коэффициента» по мере убывания содержания в породе органического вещества» была вначале замечена Успенским В.А. с соавторами (1934, 1949), а позже показана Вассоевичем Н.Б. в глинах карагано-чокракских отложений и получила название закономерность Успенского-Вассоевича [Вассоевич, 1958]. Закономерность Успенского-Вассоевича – это один из первых установленных критериев выделения автохтонных и аллохтонных битумоидов. Позже были рассмотрены уточняющие термины и синонимы этих понятий, критерии, методы их выделения для органического вещества, как правило, в главной фазе нефтеобразования [Вышемирский, Конторович, Трофимук, 1971; Вассоевич, 1972, 1984; Лопатин, Емец, 1987; Конторович и др., 2018; и др.].

Наличие аллохтонных битумоидов является одним из диагностических признаков нефтепроизводящих пород, определяющих перспективы нефтегазоносности, установление критериев их выделения очень актуально, особенно на высоких стадиях катагенеза, когда процессы миграции уже не значительны, значения содержания органического углерода, как правило, низкие ($\leq 1\%$) и поэтому классические методы, такие как пиролиз, не работают. Анализ результатов проведенных пиролитических исследований высокопреобразованных кембрийских отложений показал их противоречивый характер даже в образцах, где C_{org} на уровне 1% ($T_{max}=440\div 600^\circ C$) [Конторович и др., 2011; Конторович, Костырева, 2023].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал исследования включает 234 образца битумоидов из кембрийских отложений скв. Восток-1, 3, 4, Лемок-1, Тыйская-1 (рис. 1-2).

Изучение битумоидов проводилось по принятой в ИНГТ СО РАН схеме исследования [Костырева, 2005]. Битумоиды экстрагировались хлороформом из пород, дробленных до размерности 0,25 мм, при комнатной температуре [Руководство..., 1966; Методы..., 1975; Нефтепроизводящие...,

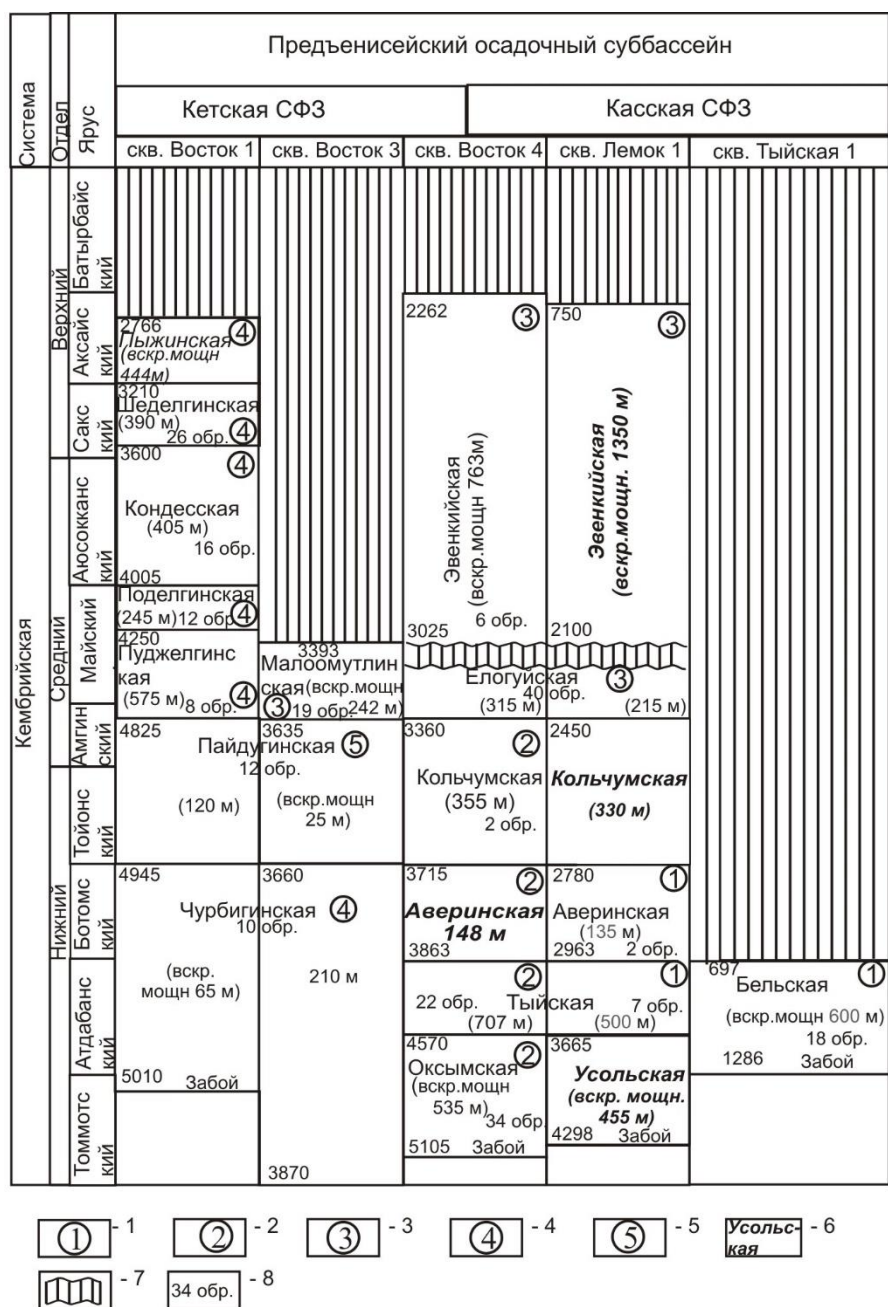


Рис. 2. Стратиграфическая схема отложений Предъенисейского кембрийского осадочного суббассейна и палеогеографические обстановки их накопления [Постановление..., 2016; Стратиграфия..., 2016, Стратиграфический..., 2019, Конторович и др., 2021, Конторович, Костырева, 2023].

Условные обозначения: 1 – эпиконтинентальное море с повышенной соленостью вод (эвапоритовый бассейн), 2 – мелкое море, осложненное системой барьерных и одиночных рифов, 3 – эпиконтинентальное море с нормальной соленостью вод, 4 – шельф и континентальный склон открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности, 5 – шельф и континентальный склон открытого моря с высоким уровнем биологической продуктивности, 6 – нет исследований органического вещества, 7 – размыв отложений, 8 – количество изученных битумоидов.

1967]. Групповой и углеводородный состав битумоидов определялся методом адсорбционно-жидкостной (элюентной) хроматографии [Руководство..., 1966; Корчагина, Четверикова, 1980] в хроматографической колонке длиной 40-70 см, забитой силикагелем марки АСК с величиной зерен

0,2-0,5 мкм. Насыщенные фракции углеводородов были изучены методами газо-жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

Хромато-масс-спектрометрические (ХМС) исследования проводились на системе, включающей газовый хроматограф AgilentTechnologies 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором MSD 5973N и компьютерной системой (ChemStation) регистрации и обработки информации HPG 1034. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой HP-5 длиной 30 м, диаметром 0.25 мм. В качестве газа-носителя служил гелий со скоростью потока 1 мл/мин. Температура испарителя составляла 290°C. Ввод проб проводился без деления потока. Программирование температуры начиналось от 100 °C (изотерма 4 мин) с последующим подъемом до 290°C со скоростью 4°C/мин и конечной изотермой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение источника - 70 эВ, температура - 230°C.

Идентификация соединений осуществлялась по времени удерживания путем сравнения полученных масс-фрагментограмм с уже имеющимися, а также с опубликованными данными, включая библиотеку Национального института стандартов (NIST).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим содержание и групповой состав всех хлороформенных экстрактов (битумоидов) в фациях (см. рис. 2), выделенных по профилю от внутренних эвапоритовых частей бассейна к открытому морю.

Фация эпиконтинентального моря с повышенной соленостью вод (1). Содержание битумоидов изменяется от следовых значений в аверинской и тыйской свитах скв. Лемок-1 до 0,07 % в бельской скв. Тыйская-1. Среднее содержание битумоидов в отложениях равно 0,01 % на породу. Битумоидный коэффициент в бельской свите варьирует от 3,7 до 25,9 % (рис. 3). В аверинской и тыйской свитах скв. Лемок-1 его значения не превышают 5 % (см. рис. 3). Среднее содержание битумоидного коэффициента равно 9,9%. В большинстве (86 %) образцов (скв. Тыйская-1) в составе битумоидов в максимальной концентрации (56,6-89,2 %) находятся асфальтово-смолистые компоненты, на асфальтены приходится от 14,1 до 55,6 %. Значения отношения насыщенные углеводороды (УВ) к ароматическим изменяется на порядок (1,0-10,2). В остальных образцах (аверинская и тыйская свиты скв. Лемок-1) в составе битумоидов доминируют углеводороды (54,7-61,1 %). Значения отношения насыщенные УВ к ароматическим равно 1,2-1,4. На асфальтены приходится всего 8 %.

Фация мелкого моря, осложненное системой барьерных и одиночных рифов (2). Содержание битумоидов в карбонатных отложениях оксымской, тыйской и кольчумской свит скв. Восток-4 не превышает 0,03 % при среднем 0,005 %. В обогащенном органическом углеродом прослое оксымской свиты концентрация битумоидов низкая (0,006 %). Битумоидный коэффициент изменяется от 1 до 90 %, при среднем 11,6 %, а в прослое оксымской свиты меньше 2 % (см. рис. 3). В групповом составе большинства (86 %) битумоидов доминируют асфальтово-смолистые компоненты (51,0-83,1 %). На асфальтены приходится от 1,4 до 31,3 %. Значения отношения насыщенные УВ к ароматическим изменяется от 1,4 до 4,5. В карбонатных породах оксымской свиты в максимальной концентрации находятся УВ (50,8-67,4 %). Значения отношения насыщенные УВ к ароматическим изменяется от 1,5 до 3,1. На асфальтены приходится всего 1 %.

Фация эпиконтинентального моря с нормальной соленостью вод (3). Концентрации битумоидов в карбонатных породах елогуйской свиты скв. Восток-4, терригенных малоомутлинской скв. Восток-3 и преимущественно терригенных эвенкийской скв. Восток-4 в среднем сопоставимы

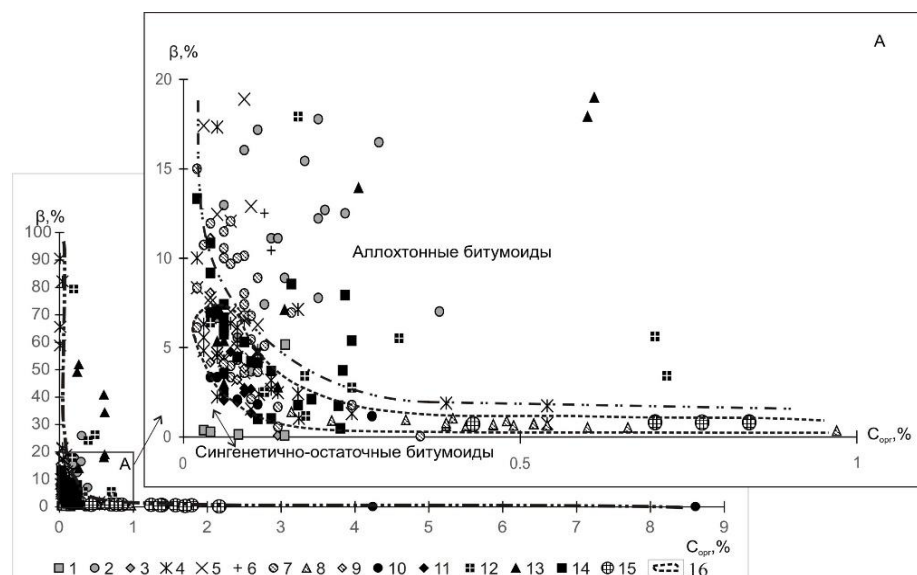


Рис. 3. Зависимость битумоидного коэффициента (β) от содержания органического углерода ($C_{орг}$) (закономерность Успенского -Вассоевича) в кембрийских отложениях Предъенисейского осадочного суббассейна (на примере скв. Восток-1, 3, 4, Тыйская-1, Лемок-1).

Условные обозначения: *Фация 1* – Эпиконтинентальное море с повышенной соленостью: 1 - тыйская (скв. Лемок-1), 2 - бельская (скв. Тыйская-1), 3 - аверинская (скв. Лемок-1); *Фация 2* – Море мелкое, осложненное системой барьерных и одиночных рифов (скв. Восток-4): 4 - оксымская, 5 – тыйская, 6 - кольчумская; *Фация 3* – Эпиконтинентальное море с нормальной соленостью: 7 - елогуйская; 8 - малоомутлинская, 9 - эвенкийская; Шельф и континентальный склон открытого моря с уровнем биологической активности: *Фация 4* – «нормальным»: 10 - чурбигинская свита; 11 - пуджелгинская, 12 - поделгинская, 13 - кондесская, 14 - шеделгинская; *Фация 5* –высоким: 15 - пайдугинская свита; 16 – область автохтонных битумоидов.

(0,004 против 0,003 и 0,003 % соответственно). Для елогуйской свиты скв. Лемок-1 в интервале 2115-2191 м отмечаются максимальные значения содержания нафтидов (0,37-1,05 %) и битумоидного коэффициента (68,5 %). Средние значения битумоидного коэффициента изменяются от 0,7 % в малоомутлинской свите до 6,9 % в елогуйской скв. Восток-4. В большинстве образцов эвенкийской свиты битумоидный коэффициент меньше 5 % (см. рис. 3). Для группового состава битумоидов скв. Восток-3, 4 характерно доминирование (до 85,4 %) асфальтово-смолистых компонентов. На асфальтены приходится от 13,6 до 37,5 %. Значения отношения насыщенные УВ к ароматическим изменяется от 0,6 до 9,7. В скв. Лемок в максимальной концентрации находятся углеводороды (53,1-59,1 %). Значение отношения насыщенные УВ к ароматическим равно $0,8 \div 1,2$. На асфальтены приходится от 8 до 21 %.

Фация шельфа и континентального склона открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности (4). В чурбигинской, пуджелгинской свитах и большинстве образцов шеделгинской содержание битумоидов изменяется от 0,001 до 0,004 %. В кондесской, поделгинской и единичных образцах шеделгинской свит концентрация битумоидов увеличивается до 0,03%. Битумоидный коэффициент изменяется от 0,5% до 24,2 % (см. рис. 3), при среднем 4,9 %. Для обогащенных органическим углеродом прослоев кондесской и поделгинской свит отмечаются повышенные значения хлороформенного экстракта (до 0,22 % и 0,11 % соответственно). Битумоидный коэффициент в этих прослоях высокий (в среднем 28,7-35,5 %). В пласте чурбигинской свиты, где $C_{орг}$ достигает 4-8 %, концентрация битумоидов низкая (0,003 %), битумоидный коэффициент меньше 1 %. В большинстве битумоидов поделгинской, кондесской свит, в обогащенном органическим углеродом пласте чурбигинской и единичных образцах пуджелгинской и шеделгинской свит отмечается доминирование УВ (50,2-95,5 %). В их составе содержание насыщенных УВ более, чем в 3 раза выше ароматических. На асфальтены приходится менее 10 %. В

остальных битумоидах при максимальной концентрации асфальтово-смолистых компонентов содержание асфальтенов достигает 20 %. Значение отношения насыщенные УВ к ароматическим изменяется от 0,8 до 18,9.

Фация шельфа и континентального склона открытого моря с высоким уровнем биологической продуктивности (5). Содержание битумоидов в пайдугинской свите не превышает 0,01 % при низком (<1%) битумоидном коэффициенте (см. рис. 3). В 75 % битумоидов доминируют углеводороды (50,1-62,6 %), в составе которых насыщенные структуры превышают ароматические в 1,2-6,6 раза. На асфальтены приходится не более 5%. Значение отношения смолы к асфальтенам изменяется от 7,4 до 9,5.

Высокая преобразованность ОВ, значительный разброс значений битумоидного коэффициента и доминирование углеводородов в составе хлороформенных экстрактов предполагает наличие миграционных битумоидов в кембрийском разрезе на изучаемой территории. Ранее [Конторович, Костырева, 2024] было принято, как и в работе [Вышемирский и др., 1971], что для автохтонных битумоидов $\beta \leq 5\%$. Однако, как видно из рис. 3, граничным значением β для этой коллекции более правильно принять не 5 %, а 7,5 %.

Битумоиды из фаций 1, 3, 4 попадают во все 3 области: аллохтонные, автохтонные и в меньшей степени в остаточные, из фации 2 в 2 области: аллохтонные, автохтонные и из фации 5 только в автохтонные (см. рис. 3).

На основе группового и углеводородного состава построена классификация битумоидов кембрия Предъенисейского суббассейна. В качестве диагностических параметров выбраны: сумма смол и асфальтенов (NSO) и соотношение концентраций насыщенных (метаново-нафтенных) и ароматических (нафтенно-ароматических) (Me-Nn/Nn-Ar) углеводородов. Концентрация гетероциклических соединений (сумма смол и асфальтенов) в битумоидах меняются от 5-7 % до 75-80 %, отношение Me-Nn/Nn-Ar от 1-2 до 6-8, в единичных образцах до 10-12. Принимая модель хроматографической дифференциации битумоидов в ходе первичной и вторичной миграции, которая была рассмотрена в работе (Вышемирский и др., 1971), по соотношению этих показателей были диагностированы битумоиды как остаточные (максимальные значения концентраций (N+S+O), минимальные отношения Me-Nn/Nn-Ar) и аллохтонные (минимальные значения концентраций (N+S+O), максимальные отношения Me-Nn/Nn-Ar). Между ними были выделены классы, представляющие смешанные группы битумоидов (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1. Классификация битумоидов из кембрийских отложений Предъенисейского осадочного суббассейна

Класс битумоидов	Групповой состав битумоидов		Наименование класса
	[NSO]	Me-Nn/ Nn-Ar	
I	>70	<3	остаточные
II	[>60 <80]	<4	миграционно-остаточные-1
III	[>45 <60]	<4	миграционно-остаточные-2
IV	[>50 <85]	4-12	аллохтонные и автохтонные
V	[>40 <50]	4-12	автохтонно-аллохтонные-1
VI	[>30 <40]	4-12	автохтонно-аллохтонные-2
VII	[>30 <45]	<4	аллохтонные
	[>5 <30]	4-12	

На рис. 4 показаны выделенные классы в кембрийском разрезе для автохтонных (классы I – IV при $\beta \leq 7,5\%$) и аллохтонных ($\beta > 7,5\%$ и классы V-VII при $\beta \leq 7,5\%$) битумоидов по свитам и фациям.

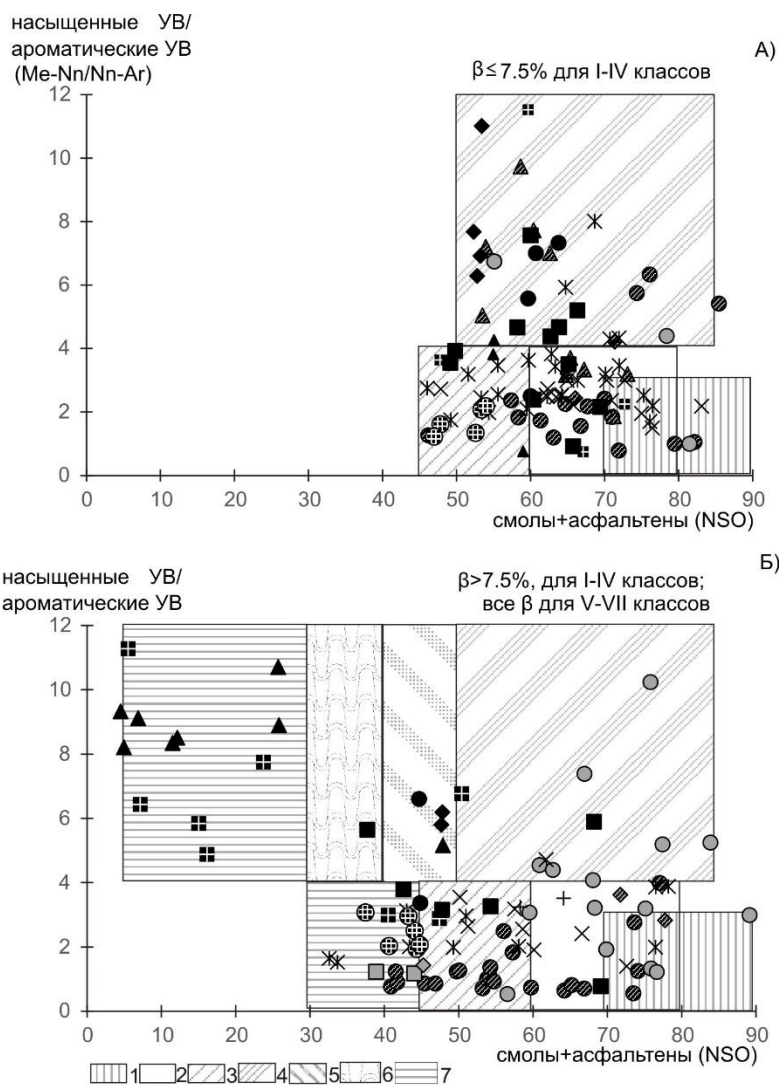


Рис. 4. Классы автохтонных (А) и аллохтонных (Б) битумоидов Предьенисейского осадочного суббассейна в кембрийское время. Условные обозначения. Классы битумоидов: 1 - остаточные (I), 2 - миграционно-остаточные-1 (II), 3 - миграционно-остаточные-2 (III), 4 - аллохтонные и автохтонные (IV), 5 - автохтонно-аллохтонные-1 (V), 6 - автохтонно-аллохтонные-2 (VI), 7 - аллохтонные (VII). Остальные условные обозначения на этом и рис. 5-7 смотри на рис. 3.

Анализ рис. 4 А показал, что меньше всего битумоидов в I классе (17%), затем их количество увеличивается до 25, 29 и 30% в III, II и IV классах соответственно. При этом, распределение битумоидов по классам происходит независимо от фаций накопления исходного ОВ (рис. 4 А). Наиболее углеводородным групповым составом (класс IV) среди автохтонных битумоидов характеризуются преимущественно битумоиды чурбигинской, пуджелгинской, малоомутлинской и шеделгинской свит, ОВ которых накапливалось в эпиконтинентальном море или шельфе с «нормальным» уровнем солености (фации 3 - 4). Автохтонные битумоиды пайдугинской свиты (фация 5) попадают в область миграционно-остаточных-2 (класс III). Остальные битумоиды распределены неравномерно по классам I-IV.

Среди аллохтонных битумоидов (рис. 4 Б) больше всего образцов находится в области III и VII классов (28 и 32% соответственно). В I, II и IV классах их концентрация уменьшается до значений 10 - 13 %. На V и VI классы приходится всего 5 и 1 % битумоидов соответственно. Битумоиды всех фаций, включая и образцы с повышенным содержанием $C_{орг}$ поделгинской, кондесской и чурбигинской свит по групповому составу близкие к нефтям оказываются в области VII класса (рис. 4 Б). В классы автохтонно-аллохтонных битумоидов (классы V, VI) попадают образцы, ОВ которых накапливалось в обстановках шельфа и континентального склона открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности (фация 4). Относительно повышенными содержаниями углеводородных фракций в групповом составе (класс IV) характеризуются битумоиды бельской

свиты, формировавшейся в условиях эпиконтинентального моря с повышенной соленостью вод (фация 1). Остальные битумоиды рассматриваемой выборки находятся в области распространения классов I-III и по своему групповому составу не отличаются от автохтонных битумоидов.

Рассмотрим более детально содержание и состав автохтонных и аллохтонных битумоидов.

Автохтонные битумоиды. Содержание автохтонных битумоидов низкое ($<0,01\%$) во всех классах и фациях. Состав автохтонных битумоидов по распределению нормальных алканов и изопреноидов идентичен ($n\text{-}C_{27}/n\text{-}C_{17} < 1,0$, П/Ф $< 1,5$, CPI ≈ 1). Как видно из зависимости Коннана-Кассоу ($\text{Pr}/n\text{-}C_{17}$ от $\text{Ph}/n\text{-}C_{18}$), образцы бельской свиты (фация 1) и единичные образцы фации 3 не попадают в область аквагенного органического вещества, что свидетельствует о их большей окисленности (рис. 5 А). По распределению углеводородов стеранового ряда ($C_{27}\text{-}C_{30}$) в автохтонных битумоидах Предъенисейского суббассейна также наблюдается единство состава, отмечается концентрационный ряд: $C_{27} \geq C_{29} > C_{28} > C_{30}$ ($C_{29}/C_{27} \leq 1$) и лишь в единичных образцах фации 2 и 3 значения C_{29}/C_{27} достигают 1,4 (рис. 6-7). По распределению трицикланов можно отметить, что доминируют углеводороды со средней длины цепи ($C_{23}\text{-}C_{26}$). Значения трицикланового индекса (рис. 7 А), в среднем, меньше единицы в фации 3 (III класс), 1 и 2, в остальных фациях этот параметр изменяется от 1,1 до 1,3, при этом единичные значения в фациях 3 (I, II, IV классы), 4 (II - IV классы) могут возрастать до 2-2,3.

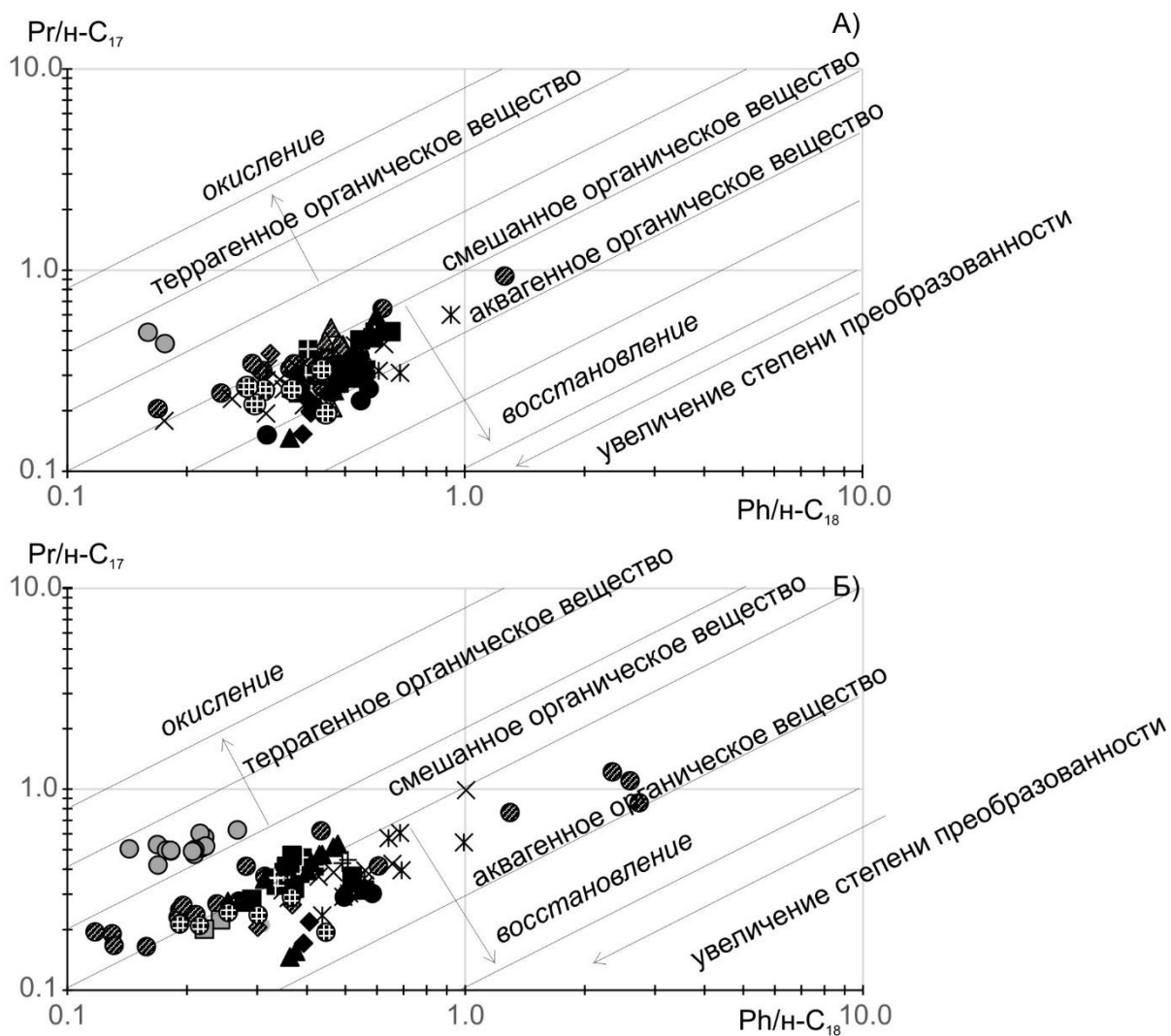


Рис. 5. Зависимость $\text{Pr}/n\text{-}C_{17}$ от $\text{Ph}/n\text{-}C_{18}$ (диаграмма Коннана-Кассоу) в насыщенной фракции автохтонных (А) и аллохтонных (Б) битумоидов.

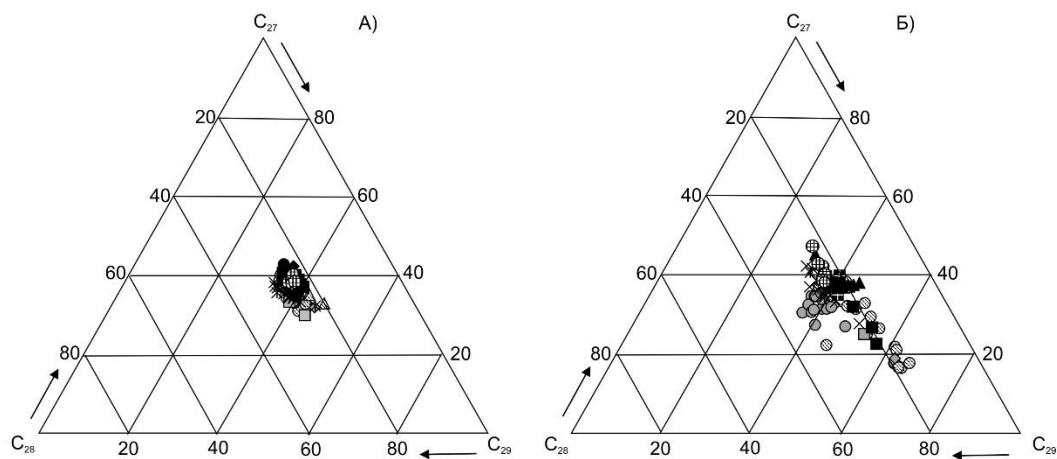


Рис. 6. Тригонограмма распределения стеранов C_{27} - C_{29} в насыщенной фракции автохтонных (А) и аллохтонных (Б) битумоидов.

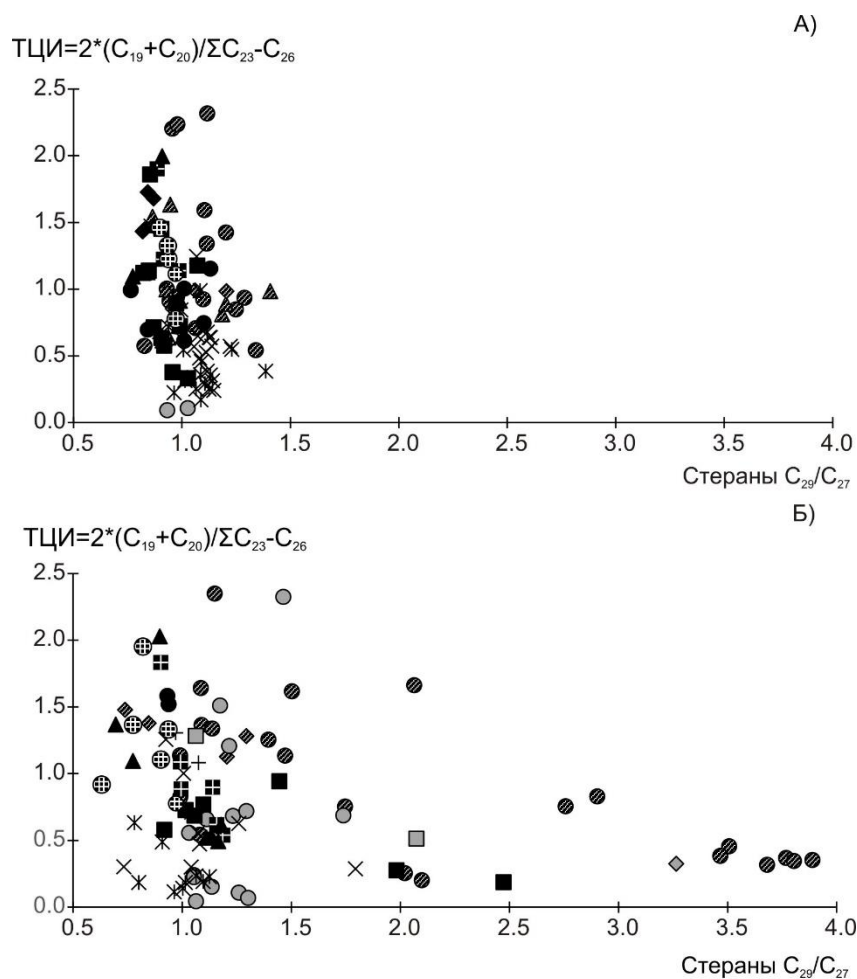


Рис. 7. Зависимость трициклового индекса (ТЦИ) от стеранового (C_{29}/C_{27}) в насыщенной фракции автохтонных (А) и аллохтонных (Б) битумоидов.

Аллохтонные битумоиды. Содержание аллохтонных битумоидов изменяется от тысячных долей процента до 1,05 %. Минимальные значения ($\leq 0,01$ %) характерны для всех битумоидов V и VI

классов и большинства (82-85 %) в I-III классах, а также порядка 40-47 % в IV и VII классах. Максимальные значения (0,65-1,05%) битумоидов отмечаются в единичных образцах фации 3 (елогуйская свита, скв. Лемок-1) в III и VII классах. Повышенные значения (0,1-0,2%) зафиксированы в VII классе фации 4 (поделгинская и кондесская свиты).

Состав аллохтонных битумоидов по распределению нормальных алканов и изопреноидов во всех классах и фациях в большинстве образцов идентичен автохтонным битумоидам ($n\text{-}C_{27}/n\text{-}C_{17} < 1,0$, $П/Ф \leq 1,5$, $СРІ \approx 1$). Однако, как видно из рис. 5Б, все образцы на диаграмме зависимости Коннана-Кассоу по сравнению с автохтонными битумоидами более сдвинуты в сторону смешанного ОВ. Аллохтонные битумоиды бельской свиты (фация 1), как и её автохтонные битумоиды, попадают в область распространения более окисленного ОВ. Среди углеводородов стеранового ряда отмечается большой разброс значений ($0,6 \div 4,1$) отношения C_{29}/C_{27} в отличие от автохтонных (см. рис. 6-7). Для всех образцов фации 5, большинства битумоидов (70-90 %) фаций 2 (I-IV, VII), 4 (III-V, VII) значения параметра $C_{29}/C_{27} \leq 1$. Повышенные ($1,1 \div 2,0$) значения отношения стеранов C_{29}/C_{27} в основном можно отметить в фациях 1 (I-IV) и 3 (I-III). Высокие значения ($2,0 \div 4,1$) этого показателя характерны для фации 3 (елогуйская свита: скв. Лемок-1(III и VII), Восток-4 (III)) и единичных из фации 4 (шеделгинская (II и VII)) и 1 (скв. Лемок-1, VII: аверинская, тыйская). По распределению трицикланов также, как и в автохтонных можно отметить доминирование углеводородов со средней длиной цепи ($C_{23}\text{-}C_{26}$). Значения трицикланового индекса, в среднем, выше единицы только в фациях 3 (II), 4 (V) и 5 (VII), в остальных битумоидах этот параметр меньше единицы, при этом единичные значения в фациях 3 (II, III классы), 1 (II, IV классы), 4 (III, V) и 5 (VII) могут возрастать до 1,5-2,4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Анализ особенностей распределения и состава битумоидов в кембрийских отложениях Предъенисейского суббассейна показал, что наиболее обогащены нафтидами (0,4-1,0 %) углеродистые прослой елогуйской свиты скв. Лемок-1, органическое вещество которой накапливалось в условиях эпиконтинентального моря с нормальной соленостью (фация 3). Относительно повышены концентрации битумоидов (0,1-0,2%) в прослоях кондесской и поделгинской свит (фация 4 – шельф и континентальный склон открытого моря с «нормальным» уровнем биологической продуктивности), для остальных отложений характерно низкое ($\leq 0,01$ %) содержание битумоидов.

Все битумоиды на диаграмме зависимости битумоидного коэффициента от $C_{орг}$ (закономерность Успенского-Вассоевича) неравномерно распределились по областям: автохтонные, остаточные автохтонные и аллохтонные. Для изученной коллекции установлено граничное значение автохтонности битумоидов β равное 7,5 %.

Высокой степенью изменчивости группового и углеводородного составов характеризуются битумоиды из фации 4, которые неравномерно распределились по всем выделенным классам (см. рис. 4). Большинство экстрактов из фаций 1 - 3 относятся к классам I-IV. Битумоиды пайдугинской свиты (фация 5), попавшие по закономерности Успенского-Вассоевича только в автохтонные ($\beta \approx 1$ %), согласно разработанной классификации находятся в области III (миграционно-остаточные) и VII (аллохтонные) классов. Таким образом, состав битумоидов кембрийского разреза свидетельствует об интенсивно протекавших миграционных процессах, что и определяет разнообразие классов битумоидов в разработанной классификации (см. табл.1, рис. 4).

Высокая степень битуминозности ($\beta \geq 7,5$ %) отмечается в большинстве образцов кондесской и поделгинской свит (фация 4), елогуйской свиты (фация 2), а также в образцах бельской свиты (фация 1). Аллохтонный характер нафтидов для поделгинской и кондесской свит также подтверждается их групповым составом - VII класс, согласно предложенной классификации (см. табл.1, рис. 4).

Анализ углеводородного состава битумоидов на молекулярном уровне показал, в целом, генетическое единство автохтонных и аллохтонных битумоидов. Тем не менее, для аллохтонных

битумоидов наблюдается большой разброс значений молекулярных показателей, подтверждающих влияние на их состав миграционных процессов (см. рис. 5-7).

Обобщение детальных геохимических исследований подтвердило умеренно оптимистичную оценку перспектив нефтегазоносности Предьенисейского осадочного бассейна, основанную на результатах проведенного геолого-геофизического изучения [Филиппов, Сараев, 2019; Конторович и др., 2024 и др.]. На следующем этапе исследования классификация пройдет апробацию на коллекции битумоидов из палеозойских отложений юго-востока Западной Сибири.

БЛАГОДАРНОСТИ И ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта FWZZ-2022-0011 «Органическая геохимия нефтепроизводящих пород и нафтидов, геохимические предпосылки нефтегазоносности протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнов Сибири и Республики Саха (Якутия), включая Арктическую зону».

ЛИТЕРАТУРА

Вассоевич Н.Б. Дисперсные битумоиды в осадочных породах // Справочник по геологии нефти и газу / Под ред. Н.А. Еременко. М., Недра, 1984, с. 68–78.

Вассоевич Н.Б. Исходное вещество для нефти и газа // Происхождение нефти и газа и формирование их месторождений / Под ред. М.Ф. Мирчинка. М., Недра, 1972, с. 39–70.

Вассоевич Н.Б. Микронефть // Исследования ВНИГРИ в области нефтяной геологии / Под ред. В.А. Успенского. Л., Гостоптехиздат, 1959, с. 131–162. (Тр. ВНИГРИ, вып.132).

Вассоевич Н.Б. Образование нефти в терригенных отложениях (на примере чокракско-караганских слоев Терского передового прогиба) // Вопросы образования нефти / Под ред. Н.Б. Вассоевича. Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 9–22. (Тр. ВНИГРИ, вып.128).

Вышемирский В.С., Конторович А.Э., Трофимук А.А. Миграция рассеянных битумоидов. Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 1971, 168 с.

Каштанов В.А., Варламов А.И., Данилова В.П., Дашкевич Н.Н., Ефимов А.С., Ильина В.И., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Пак К.Л., Филиппов Ю.Ф., Чунихина Л.Д. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений левобережья Енисея (Тыйская параметрическая скважина). Новосибирск, 1995, 53с. (Препринт №1, ОИГГиМ СО РАН)

Конторович А.Э., Варламов А.И., Ефимов А.С., Конторович В.А., Коровников И.В., Кринин В.А., Сараев С.В., Сенников Н.В., Филиппов Ю.Ф. Стратиграфическая схема кембрийских отложений юга Предьенисейской части Западной Сибири // Геология и геофизика, 2021, т. 62 (3), с. 443–465. doi: 10.15372/GiG2020206

Конторович А.Э., Ефимов А.С., Кринин В.А., Хоменко А.В., Гилинская Л.Г., Данилова В.П., Меленевский В.Н., Костырева Е.А., Махнева Е.Н., Юдина Н.Т. Геолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности кембрия и верхнего протерозоя юго-востока Западной Сибири // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (12), с. 1615–1636.

Конторович А.Э., Конторович В.А., Филиппов Ю.Ф., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Вольчак В.И., Евграфов А.С., Ефимов А.С., Каштанов В.А., Конторович А.А., Петров В.Н., Хоменко А.В. Предьенисейская нефтегазоносная область – новый перспективный объект поисков нефти и газа в Сибири. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2006, №№ 5-6, с. 9–23.

Конторович А.Э., Костырева Е.А. Критерии выделения автохтонных и аллохтонных битумоидов в палеозойских отложениях Западно-Сибирского осадочного бассейна на примере Предьенисейского суббассейна /Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 15-17 мая 2024 г.): Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 8 т. Новосибирск, СГУГиТ, 2024, том 2(1), с. 49–55. doi: 10.33764/2618-981X-2024-2-1-49-55

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

Конторович А.Э., Костырева Е.А. Распределение органического углерода в кембрии Предьенисейского суббассейна. // Геология и геофизика, 2023, т. 69 (7), с. 1008–1017. doi: 10.15372/GiG2023109

Конторович А.Э., Костырева Е.А., Родякин С.В., Сотнич И.С., Ян П.А. Геохимия битумоидов баженовской свиты // Геология нефти и газа, 2018, №2, с. 79–88. doi: 10.31087/0016-7894-2018-2-79-88

Конторович А.Э., Костырева Е.А., Сараев С.В., Меленевский В.Н., Фомин А.Н. Геохимия органического вещества кембрия Предьенисейской субпровинции (по результатам бурения скважин Восток-1 и Восток-3) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (6), с. 737–750.

Конторович В.А., Конторович А.Э., Аюнова Д.В., Ибрагимова С.М., Бурштейн Л.М., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Канакова К.И., Костырева Е.А., Соловьев М.В., Филиппов Ю.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири // Геология и геофизика, 2024, т. 65 (1), с. 72–100. doi: 10.15372/GiG2023181

Корчагина Ю.И., Четверикова О.П. Методы интерпретации аналитических данных о составе рассеянного органического вещества. М., Недра, 1980, 228 с.

Костырева Е.А. Геохимия и генезис палеозойских нефтей юго-востока Западной Сибири. Новосибирск, СО РАН, филиал «ГЕО», 2005, 183 с.

Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. М., Наука, 1987, 144 с.

Методы битуминологических исследований. Задачи исследований и пути их разработки. В.А. Успенский, О.А. Радченко, А.И Горская, А.П. Шишкова. Л., Недра, 1975, 319 с.

Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской плиты / Конторович А.Э., Бабина Л.И., Богородская Л.И., Винокур Б.Г., Зимин Ю.Г., Колганова М.М., Липницкая Л.Ф., Луговцов А.Д., Мельникова В.М., Парпарова Г.М., Рогозина Е.А., Стасова О.Ф., Трушков П.А., Фомичев А.С. Л., Недра, 1967, 224 с.

Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий (Отв. ред. А.И. Жамойда). СПб., ВСЕГЕИ, 2016, 68 с. (МПР, Роснедра, ВСЕГЕИ, РАН, МСК России, вып. 44).

Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород (для лабораторий геологоразведочных организаций) / Под ред. В.А. Успенского, К.Ф. Родионовой, А.И. Горской, А.П. Шишковой. Л., Недра, 1966, 315 с.

Стратиграфический кодекс России / Ред. А.И. Жамойда. Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ, 2019, 96 с.

Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы / Гл. ред. А.Э. Конторович. Ред. Ю.Я. Шабанов. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2016, 497 с.

Филиппов Ю. Ф., Конторович В. А., Сенников Н. В. Новый взгляд на схему стратиграфии палеозоя юго-востока Западной Сибири // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2014, № 2с, с. 7–21.

Филиппов Ю.Ф. Геологическая модель Предьенисейского верхнепротерозой-палеозойского осадочного бассейна на юго-востоке Западно-Сибирской провинции // Геология нефти и газа, 2018, № 4, с. 53–62. doi: 10.31087/0016-7894-2018-4-53-62

Филиппов Ю.Ф., Сараев С.В. Потенциально нефтегазоносные комплексы Предьенисейского осадочного бассейна на юго-востоке Западной Сибири [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2019, т. 14 (2), с. 1–29. doi: 10.17353/2070-5379/19_2019