

УДК 543.631, 547.7

DOI: 10.15372/KhUR2023456

EDN: RCMCBL

Геохимическая характеристика органического вещества рифейских отложений Усть-Майской параметрической скважины для оценки перспектив нефтегазоносности

Н. А. КРАСНОЯРОВА, О. В. СЕРЕБРЕННИКОВА, П. Б. КАДЫЧАГОВ

Институт химии нефти СО РАН,
Томск, (Россия)

E-mail: natalex@ipc.tsc.ru

Аннотация

Проведено исследование рассеянного органического вещества пород разведочной площади Усть-Майская. Представлены данные об особенностях состава рассеянного органического вещества в интервале 2868.73–3057.68 м. В составе углеводородов, исследованных методом хромато-масс-спектрометрии, идентифицированы алканы, моно-, би-, три-, тетра- и пентациклические арены, би-, три-, тетра- и пентацикланы, тетрациклические нафтеноароматические углеводороды, дибензотиофены, а также спектрофотометрически определены перилен и следы никелевых металлопорфиринов. Показано, что исходное органическое вещество формировалось в восстановительных и субокислительных условиях при существенном вкладе как наземной растительности, так и фитопланктона. Присутствие никелевых комплексов порфирина и перилена на отдельных участках разреза свидетельствует о мелководности бассейна седиментации и близости береговой линии в период накопления органического вещества. Расчетная отражательная способность витринита указывает на соответствие исследованных интервалов разреза стадии катагенеза $МК_2$ – главной зоне нефтеобразования.

Ключевые слова: рассеянное органическое вещество, углеводороды, гетероорганические соединения

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, расположенной на территории центральной части Сибирской платформы, в отложениях верхнего протерозоя (венд, рифей) и нижнего кембрия открыто свыше 40 месторождений углеводородов, многие из которых (Юрубчено-Тохомское, Собинское, Верхнечонское, Талаканское и др.) по запасам относятся к категориям гигантские и крупные. Оценкой перспектив расширения существующей территории нефтедобычи в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы занимались многие авторы, в частности, за счет бурения на востоке параметрических скважин перспективных рифейских

отложений Алдано-Майской впадины (Алданская антеклиза) [1, 2]. Были отмечены многочисленные проявления вязких и твердых битумов при геолого-разведочных и тематических исследованиях в естественных обнажениях карбонатных и терригенных пород средне-верхне-рифейского возраста, что позволило оценить перспективы нефтегазоносности рифейских отложений Алдано-Майской впадины положительно [3]. Более детальные оценки по данным литолого-стратиграфической характеристики рифейско-кембрийского разреза и особенностям состава битуминозной части органического вещества (ОВ) пород, проведенные в [4, 5], также подтверждают благоприятные прогнозы нефте-материнских доманикоидных отложений рифея

этой территории. В апреле 2013 г. была смонтирована и поднята буровая вышка для бурения параметрической скважины (скв.) на глубину 3700 м. Место заложения Усть-Майской скв. 366: Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция, северо-восточный склон Майского поднятия на востоке Северо-Алданской нефтегазоносной области. Геохимическое исследование кернового материала позволяет определить как специфику диагенетических и катагенетических изменений ОВ, так и его фациально-генетическую принадлежность. Данные о молекулярном составе реликтовых структур, унаследовавших основные черты строения исходных биологических молекул, могут служить базой для выяснения основного источника нефти. Поэтому цель настоящей работы – исследование распределения и состава металлопорфиринов, дибензотиофенов, алканов, моно-, би-, три-, тетра- и пентациклических аренов, би-, три-, тетра- и пентацикланов, тетрациклических нафтоароматических углеводородов для керна, поднятого из Усть-Майской скв. 366 с глубины 2868.73–3057.68 м.

ЭКСПЕРИМЕНАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Изучение состава рассеянного в породах ОВ проведено для керна, поднятого из Усть-Майской скв. 366 с глубины 2868.73–3057.68 м (табл. 1).

Все образцы были исследованы по единой методике, ранее описанной в наших работах [6–8]. Углеводороды, металлопорфирины, дибензотиофены и дибензофураны были сконцентрированы методом адсорбционной хроматографии на колонке с оксидом алюминия IV степени активности. В качестве подвижной фазы использовали гексан. Детальный анализ компонентного состава гексановой фракции, содержащей углево-

дороды, дибензотиофены и дибензофураны, осуществляли методом хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) с помощью масс-спектрометра высокого разрешения DFS (Termo Scientific, Германия) в Томском региональном центре коллективного пользования ТНЦ СО РАН. Содержание отдельных групп углеводородов рассчитывали по суммарной площади отдельных пиков с учетом поправочных коэффициентов, определенных для характеристических ионов каждого класса соединений: для молекулярных ионов би- (m/z 128, 142, 156, 170, 184), три- (m/z 178, 192, 206, 220), тетра- (m/z 202, 216, 230) и пентациклических (m/z 252, 266) ароматических углеводородов, дибензотиофенов (m/z 184 и 198) и дибензофуранов (m/z 168 и 182), для фрагментных ионов три-, тетра- и пентациклических терпанов (m/z 191), бициклических терпанов и секогепанов (m/z 123), алканов (m/z 57), алкилциклогексанов (m/z 83 и 97), стеранов (m/z 217 и 218), *n*-алкилбензолов, алкилтолуолов и арилизопреноидов (m/z 92, 105 и 133 соответственно) [9].

Содержание металлопорфиринов и периленов (Per) определяли методом электронной спектроскопии с помощью спектрофотометра СФ-56 (Россия) по интенсивности полос поглощения при 550 нм для никелевых порфиринов (Ni-P), при 570 нм для ванадиловых (VO-P) и 435 нм для периленов с использованием в расчетах коэффициентов экстинкции $2.7 \cdot 10^4$, $2.9 \cdot 10^4$ и $4 \cdot 10^4$ л/(моль · см) соответственно [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Получена совокупность данных о распределении и составе металлопорфиринов, дибензотиофенов, алканов, моно-, би-, три-, тетра- и пентациклических аренов, би-, три-, тетра- и

ТАБЛИЦА 1

Описание исследованных образцов рассеянного органического вещества пород рифейского комплекса Усть-Майской параметрической скв. 366

№ образца	Интервал отбора керна, м	Место взятия, м	Глубина отбора, м	Порода
1	2870.1–2872.3	1.37 кк	2868.73	Углеродисто-кварцевая
2	2885.5–2898.9	1.23 нк	2886.73	Песчаник
3	3009.0–3017.8	1.02 нк	3010.02	Карбонатно-терригенная
4	3019.2–3022.0	0.91 нк	3020.11	Алевролит
5	3026.1–3041.6	1.29 нк	3027.39	Алевролит
6	3041.6–3052.2	1.31 нк	3042.91	Алевролит
7	3041.6–3052.2	9.94 нк	3051.54	Алевролит
8	3052.2–3060.2	5.48 нк	3057.68	Алевролит

Примечание. нк – начало керна, кк – конец керна.

ТАБЛИЦА 2

Распределение в породах разреза скважины Усть-Майская битуминозных компонентов и гетероциклических соединений

№ образца	Глубина, м	Выход ХБ, %	ДБТ, отн. %	Ni-P, нмоль/г	Per, нмоль/г
1	2868.73	0.27	0.38	Следы	Отс.
2	2886.73	0.22	0.51	Отс.	Отс.
3	3010.02	0.42	2.09	Отс.	Отс.
4	3020.11	0.05	0.35	Следы	9
5	3027.39	0.11	0.16	Отс.	Отс.
6	3042.91	0.15	0.42	Отс.	Отс.
7	3051.54	0.03	0.15	Отс.	Отс.
8	3057.68	0.12	0.06	Отс.	Отс.

Примечания. 1. ХБ – хлороформенный битумоид; ДБТ – дибензотиофены; Ni-P – никелевые порфирины; Per – перилены. 2. Отс. – отсутствуют.

пентацикланов, тетрациклических нафтеноароматических углеводородов.

Выход хлороформенного битумоида в породах варьирует от 0.03 до 0.42 %. Среди металлопорфиринов ванадилпорфирины не обнаружены, а никелевые комплексы порфиринов присутствуют в отдельных образцах в следовых

количествах. Перилен отмечен только в алевролите с одной глубины. В породах всего разреза обнаружены дибензотиофены.

По данным ГХ-МС, доля алканов в составе идентифицированных углеводородов меняется по разрезу от 17.49 до 61.89 мас. % (рис. 1, а), при этом характер молекулярно-массового рас-

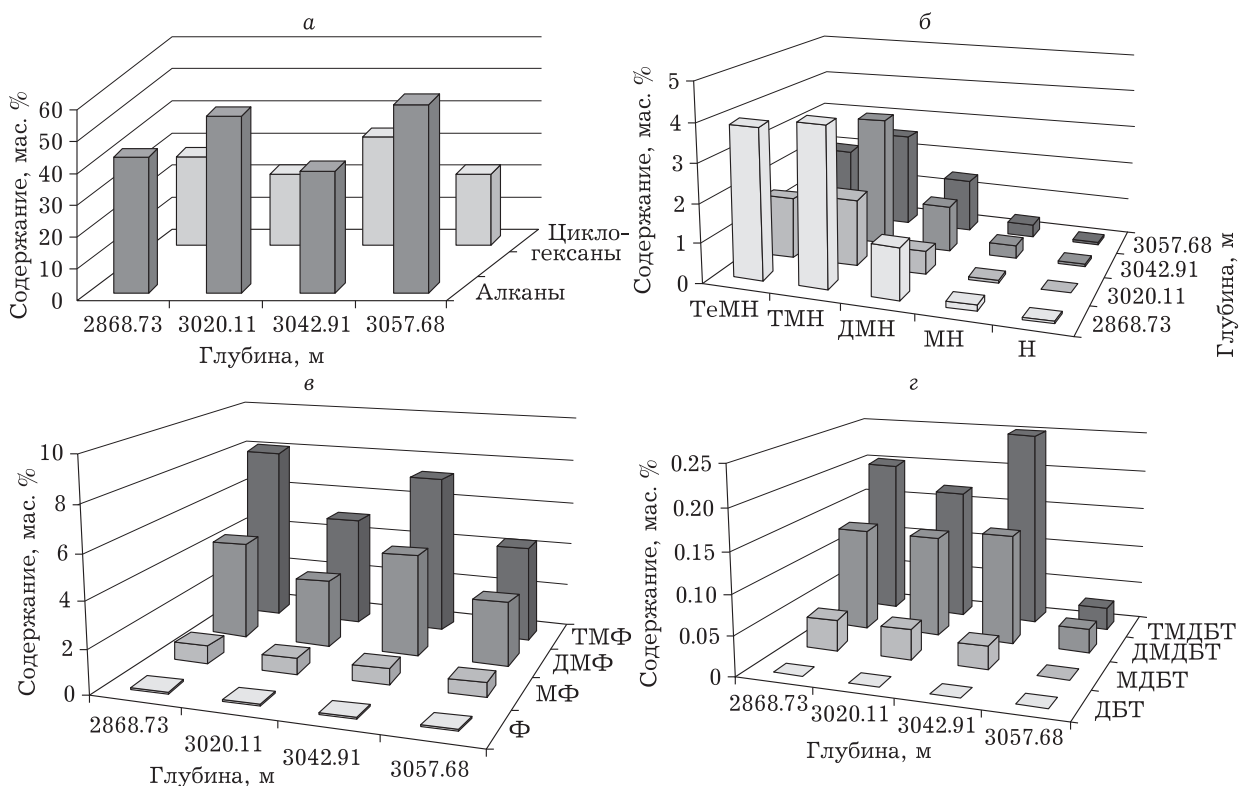


Рис. 1. Распределение и относительное содержание (на сумму идентифицированных компонентов, мас. %) в исследованном рассеянном органическом веществе по данным ГХ-МС: а – алканов и циклогексанов, б – нафталинов, в – феноантронов, г – дибензотиофенов. Усл. обозн.: Н, МН, ДМН, ТМН, ТеМН – нафталин и его гомологи (метил-, диметил-, триметил-, тетраметилнафталины соответственно); Ф, МФ, ДМФ, ТМФ – феноантрен и его гомологи (метил-, диметил-, триметилфеноантроны соответственно); ДБТ, МДБТ, ДМДБТ, ТМДБТ – дибензотиофены и его гомологи (метил-, диметил-, триметилдибензотиофены соответственно)

пределения алканов унимодальный с максимумами в области C_{17} – C_{18} . Среди ароматических соединений преобладают нафталины. Среди гомологов нафталина и фенантрена отмечено нарастание содержания от метил- к тетраметилзамещенным структурам (см. рис. 1, б и в). Дибензотиофены представлены метил-, диметил-, триметилзамещенными гомологами (см. рис. 1, г).

Среди тетрациклических аренов не обнаружены голаядерные флуорантен и пирен, но присутствуют их метил- и диметилпроизводные, хризен присутствует в небольшом количестве в отличие от его метил- и диметилзамещенных гомологов (рис. 2, а). В составе углеводородов отсутствуют алкилбензолы и триметилалкилбензолы, три- и тетрациклические терпаны, го-пананы представлены отдельными гомологами не во всех образцах разреза (см. рис. 2, б). Отсутствуют также секогопананы, сесквитерпаны, диастераны, регулярные, три- и моноароматиче-

ские стераны. По всему разрезу обнаружен сквален (m/z 69), а ретен, кадален и симонеллит (m/z 198, 234, 252 соответственно) отсутствуют.

Согласно литературным данным, с увеличением степени термической преобразованности ОВ отмечается возрастание расчетной отражательной способности витринита (R_o); соотношение изомеров C_{27} -гопанов (Ts/Tm), отношение триароматических к моноароматическим стеранам (TAS/MAS), коэффициент нечетности (CPI) стремится к 1. В зрелом ОВ величина отношения S/R изомеров гопанов C_{32} – H_{32} (S/R) – больше 1, отсутствуют биологические (β) изомеры гопанов, нафтеноароматические трициклические структуры (симонеллит) и сквален.

Значения всех этих отношений для битуминозных компонентов пород исследованного разреза приведены в табл. 3. Расчетная отражательная способность витринита указывает на близость пород разреза по этому параметру и

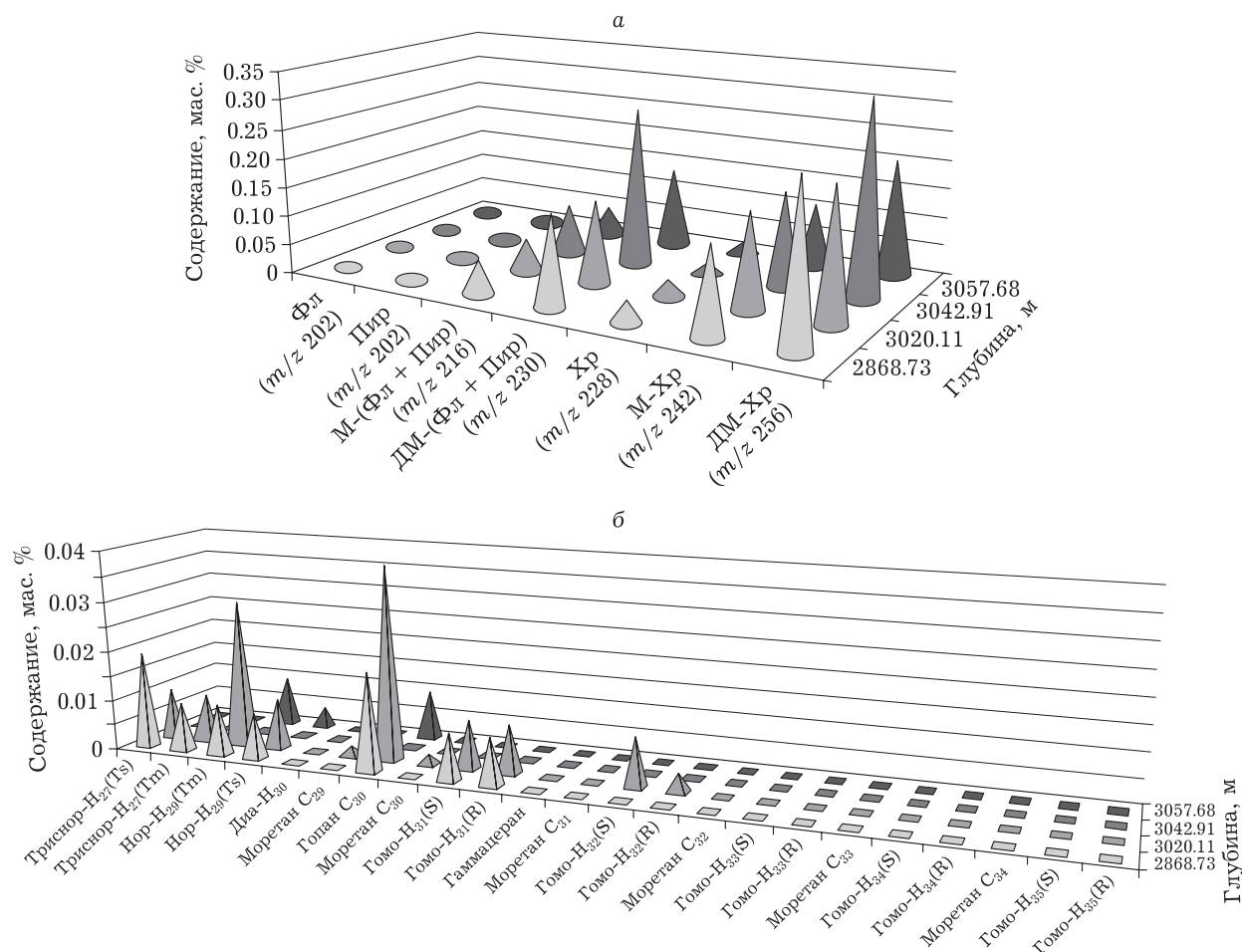


Рис. 2. Распределение идентифицированных тетрациклических аренов (а) и гопанов (б) в исследованных нефтях (на сумму идентифицированных компонентов, мас. %) по данным ГХ-МС. Усл. обозн.: М-(Фл + Пир), ДМ-(Фл + Пир), М-Хр, ДМ-Хр – метил- и диметилзамещенные гомологи флуорантена (Фл), пирена (Пир) и хризена (Хр).

ТАБЛИЦА 3

Параметры термического преобразования углеводородов битуминозных компонентов пород

Параметр	Глубина, м			
	2868.73	3020.11	3042.91	3057.68
R_c	0.79	0.81	0.81	0.82
H_{32} (S/R)	0	1.74	0	0
H_{31} (S/R)	1.38	1.95	0	0
Ts/Tm	2.21	1.47	0	1.50
Сквален, отн. %	0.08	0.44	0.06	0.08
CPI	1.25	1.39	1.32	1.37

Примечание. R_c – расчетная отражательная способность витринита; H – гопаны; S и R – стереоизомеры H; Ts и Tm – триснорнеогопаны и трисноргопаны соответственно; CPI – коэффициент нечетности.

соответствие их стадии катагенеза $МК_2$ – главной зоне нефтеобразования. Значение параметров Ts/Tm, H_{32} (S/R), H_{31} (S/R), CPI по глубине также меняется незначительно, свидетельствуя о близости их термического преобразования на исследуемых глубинах. В то же время, наличие сквалена и высокое содержание эфиров карбоновых кислот свидетельствует о возможном загрязнении кернов современным осадочным материалом.

Оценка условий осадконакопления и типа ОВ для битуминозных компонентов пород исследованного разреза приведена в табл. 4. Значения отношения пристан/фитан меняется в диапазоне от 0.83 до 1.63, что указывает на восстановительные и субокислительные условия, существовавшие в бассейне седиментации, а также на существенный вклад в исходное ОВ как наземной растительности, так и фитопланктона. Присутствие никелевых комплексов порфирина и перилена на глубине 3020 м свидетельствует о мелководности бассейна седиментации и близости береговой линии в период накопления этого слоя осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассеянное ОВ рифейского комплекса в разрезе глубин от 2868.73 до 3057.68 м характеризуется незначительным содержанием хлороформенного битумоида – от 0.03 до 0.42 %. Молекулярно-массовое распределение алканов унимодально, с максимумом в области C_{17} – C_{18} . Среди ароматических соединений преоблада-

ТАБЛИЦА 4

Генетические параметры углеводородов битуминозных компонентов пород

Параметр	Глубина, м			
	2868.73	3020.11	3042.91	3057.68
П/Ф	0.83	0.96	1.22	1.00
П/ nC_{17}	0.28	0.29	0.24	0.19
Ф/ nC_{18}	0.33	0.29	0.23	0.20
nC_{17}/nC_{27}	1.84	4.31	3.23	2.61
VO-P	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Ni-P	Следы	Следы	Отс.	Отс.
Перилен	Отс.	9	Отс.	Отс.
H_{29}/H_{30}	0.55	0.76	0	0.79
$H_{31}/H_{(31+\dots+35)}$	1.00	0.65	0	0

Примечание. П – пристан; Ф – фитан; nC_i – алкан нормального строения; VO-P и Ni-P – ванадиловый и никелевый порфирины соответственно; ; H – гопаны; отс. – отсутствуют.

ют нафталины, при этом отмечено нарастание доли метилпроизводных к тетраметилзамещенным структурам как для би-, так и триаренов. Присутствие никелевых комплексов порфирина и перилена свидетельствует о мелководности бассейна седиментации и близости береговой линии в период накопления отдельных участков разреза. В составе углеводородов отсутствуют алкилбензолы и триметилалкилбензолы, три- и тетрациклические терпаны, голоядерные флуорантен и пирен, ванадилпорфирины. Гопаны представлены отдельными гомологами не во всех образцах разреза.

Проведенные исследования по геохимической характеристике ОВ рифейских отложений Усть-Майской параметрической скважины показали, что седиментация наземной растительности и фитопланктона происходила в мелководном бассейне в восстановительных и субокислительных условиях. Термическая зрелость ОВ этого участка разреза соответствует главной зоне нефтеобразования, что подтверждает высокие нефтегазоперспективы региона.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Соболев П. Н. Геохимия доманикитной малгинской свиты Юдомо-Майской впадины / Геология угленосных сланцев Сибири. Сб. науч. работ. Новосибирск, СНИИГТИМС, 1987. С. 69–76.

- 2 Шишкин Б. Б., Берилко Г. А., Соболев П. Н., Старосельцев В. С., Страхов А. Н. Строение и перспективы нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 4. С. 26–40.
- 3 Нафиков И. В. Особенности геологического строения и нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8, № 3. С. 1–12.
- 4 Сафонов А. Ф., Чалая О. Н., Зуева И. Н., Сивцев А. И. Перспективы нефтегазоносности Алдано-Майского прогиба // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 1. С. 64–70.
- 5 Соболев П. Н., Шиганова О. В., Дыхан С. В., Ахмедова А. Р. Новые данные о перспективах нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 3–4. С. 643–656.
- 6 Серебренникова О. В., Филиппова Т. Ю., Красноярова Н. А. Взаимосвязь состава алканов и металлопорфиринов нефтей и органического вещества пород юго-востока Западной Сибири как отражение условий формирования нефтематеринских толщ // Нефтехимия. 2003. Т. 43, № 3. С. 163–167.
- 7 Saltymakova D., Krasnoyarova N., Serebrennikova O. Distinct features of crude oils from Nyurol'ka Depression (Southeast of Western Siberia) // J. Pet. Sci. Eng. 2017. Vol. 154. P. 91–99.
- 8 Чиркова Д. Ю., Красноярова Н. А., Серебренникова О. В., Оленев Я. В. Арилизопреноиды в составе нефтей Ньюрольской впадины (юго-восток Западной Сибири) // Нефтехимия. 2017. Т. 57, № 1. С. 56–61.
- 9 Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The Biomarker Guide, 2nd Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 1156 p.
- 10 Серебренникова О. В., Белоконов Т. Д. Геохимия порфиринов. Новосибирск: Наука, 1984. 87 с.