

ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ СЕВЕРА ХАНТЕЙСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Е.А. Костырева¹, И.С. Сотнич^{1,2}

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, прос. Академика Коптюга, 3, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

Представлены результаты детальных геохимических исследований рассеянного органического вещества баженовской свиты. Наибольшие содержания $C_{орг}$ наблюдаются на территориях Сургутского свода и Южно-Надымской мегамоноклизы. Повышенные концентрации органического вещества (до 24 %) отмечаются в верхней части разреза свиты и постепенно снижаются к ее подошве. Органическое вещество по пиролитическим характеристикам и составу углеводородов-биомаркеров относится ко II типу керогена (аквагенное ОВ) и находится в главной фазе нефтеобразования.

Органическое вещество, баженовская свита, $C_{орг}$, пиролиз, битумоиды, углеводороды-биомаркеры.

GEOCHEMISTRY OF ORGANIC MATTER OF THE BAZHENOV FORMATION IN THE NORTH OF THE KHANTEI ANTECLISE

E.A. Kostyeva and I.S. Sotnich

Results of comprehensive geochemical studies of dispersed organic matter of the Bazhenov Formation are presented. The maximum contents of total organic carbon are found in the areas of the Surgut arch and South Nadym megamonocline. The contents of organic matter are high (up to 24%) at the top of the formation section and gradually decrease to its bottom. By pyrolysis parameters and the composition of hydrocarbon biomarkers, the organic matter is referred to as type II kerogen (sapropelic organic matter) and is localized in the oil window.

Organic matter, Bazhenov Formation, total organic carbon, pyrolysis, chloroform-extracted bitumens, biomarker hydrocarbons

ВВЕДЕНИЕ

Баженовская свита, по общему признанию, является главной нефтепроизводящей формацией в Западно-Сибирском осадочном бассейне. Ее органической геохимией с начала 60-х годов прошлого века занимались Ф.Г. Гурари, Н.П. Запывалов, А.Э. Конторович, В.М. Мельникова, И.И. Нестеров, В.Ф. Никонов, Г.М. Парпарова, Е.А. Рогозина, О.Ф. Стасова, А.А. Трофимук, П.А. Трушков, А.С. Фомичев, в последующие годы круг исследователей расширился (Л.И. Богородская, Л.С. Борисова, В.П. Данилова, М. В. Дахнова, Т. П. Емец, М.Ю. Зубков, Н.В. Лопатин, В.Н. Меленевский, С.Г. Неручев и многие другие). В настоящее время в связи со вновь возросшим интересом к баженовской свите как нефтеносной исследования геохимии содержащегося в ней органического вещества продолжают во многих научных организациях страны.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория настоящего исследования расположена в Сургутском административном районе Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) Западной Сибири. В тектоническом отношении изучаемая территория относится к северу от Хантейской гемиантеклизы [Конторович и др., 2001]. Исследования органического вещества проводились на керновом материале разреза баженовской свиты скважин, пробуренных на Дружной (мощность свиты 20.34 м), Новоуртьянской (23.64 м), Повховской (22.81 м) и Южно-Ягунской (22 м) площадях. Интервалы глубин баженовской свиты определены по данным каротажных диаграмм сотрудником ИНГГ СО РАН С.В. Рыжковой. При описании разреза были использованы принятые в ИНГГ СО РАН классификация и наименования пород баженовской свиты [Конторович и др., 2016].

Литологические исследования были проведены сотрудниками лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН В.Г. Эдер и И.А. Жигульским [Эдер и др., 2016].

Так, на Повховской площади баженовская свита залегает в интервале глубин 2980.89—3003.7 м (рис. 1, а). В ее составе В.Г. Эдер и И.А. Жигульским выделены пять чачек: силициты и радиоляритовые

a

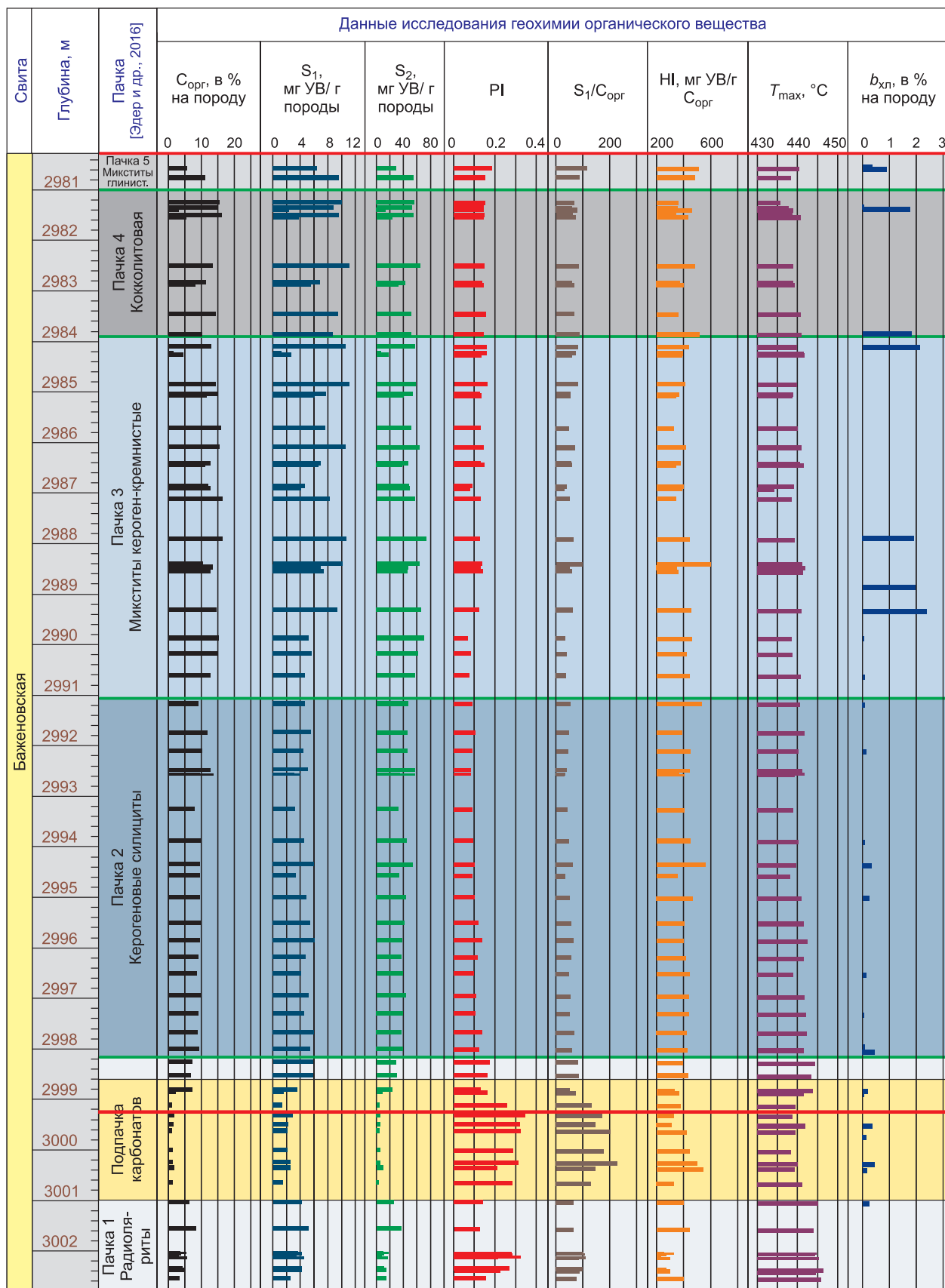


Рис. 1. Результаты геохимических исследований органического вещества баженовской свиты.

a — Повховской площади; б — Южно-Ягунской площади.

Свита	Глубина, м	Пачка Пачка [Эдер и др., 2016]	Данные исследования геохимии органического вещества							
			$C_{орг}$, В % на породе	S_1 , мг УВ/г породы	S_2 , мг УВ/г породы	PI	$S_1/C_{орг}$	HI, мг УВ/г $C_{орг}$	T_{max} , °C	$b_{хл}$, В % на породе
			0 10 20	0 4 8 12	0 40 80 120	0 0.2 0.4	0 200	200 600	430 440 450	0 1 2 3
Баженовская	2791	Пачка 6 Микститы крем- нисто-глинистые и кероген- глинистые	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2792		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2793		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2794	Пачка 5 Кокколитовая	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2795		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2796		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2797		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2798		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2799		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2800		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2801	Пачка 4 Микститы кероген-кремнистые	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2802		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2803		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2804		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2805		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2806		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2807		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2808		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2809		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
	2810		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3
2811	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3		
2812	Пачка 3 Силициты керогеновые	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2813		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2814	Пачка 2 Микститы кероген- карбонатные	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2815		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2816	Пачка 1 Карбонаты, слой КС	0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2817		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2818		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	
2819		0-20	0-12	0-120	0-0.4	0-200	200-600	430-450	0-3	

карбонаты (пачка 1), керогеновые силициты (пачка 2), кероген-кремнистые микститы (пачка 3), кероген-глинистые микститы с прослоями, содержащими реликты кокколитофоридовых водорослей (пачка 4) и микститы кремнисто-глинистые (пачка 5). На Южно-Ягунской площади баженовская свита залегает в интервале глубин 2794—2816 м (рис. 1, б). В ее разрезе В.Г. Эдер и И.А. Жигульским выделены шесть пачек: карбонаты слоя КС (пачка 1), кероген-карбонатные микститы (пачка 2), маломощная пачка керогеновых силицитов (пачка 3), кероген-кремнистые микститы (пачка 4), кероген-глинистые микститы с прослоями, содержащими реликты кокколитофоридовых водорослей (пачка 5) и микститы кремнисто-глинистые (пачка 6). Пачка 4 в средней части осложнена прослоями (5—15 см) известкового состава, силицита и радиоляритов.

Схема исследований включала определение содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$), пиролизических характеристик, выходов битумоидов, а также исследования группового и углеводородного составов битумоидов.

Для определения $C_{\text{орг}}$ и пиролизических характеристик в породах была отобрана коллекция из 332 образцов баженовской свиты. Отбор образцов проведен в среднем через каждые 0.3 м.

Экстракция 92 образцов регулярной формы (ОРФ) — цилиндров и кубиков — была проведена в растворе хлороформа при комнатной температуре. Каждый образец подвергался экстракции индивидуально. Отбор образцов для экстракции проведен в среднем через каждые 0.9 м. Таким образом, предложенная А.Э. Конторовичем и принятая для данного исследования в ИНГГ СО РАН методика предусматривала экстракцию аллохтонных битумоидов (нефти) из открытого для хлороформа порового пространства пород баженовской свиты. Для определения группового и углеводородного состава аллохтонных битумоидов было исследовано 84 образца хлороформенных экстрактов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Содержания органического углерода и пиролизические характеристики

Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в изученных разрезах пород баженовской свиты изменяется в широких пределах: от 0.48 до 24.04 % на породу, в среднем для всех площадей содержание $C_{\text{орг}}$ равно 9.0 % на породу. Образцы пород с содержанием $C_{\text{орг}}$ меньше 3 % в изученной выборке единичны. В большей части образцов концентрации $C_{\text{орг}}$ варьируют в пределах 5—10 %. В несколько меньшем, но сопоставимом количестве образцов концентрация $C_{\text{орг}}$ равна 10—15 %, в отдельных образцах до 20 % на породу. В единичных образцах Южно-Ягунской площади концентрации $C_{\text{орг}}$ достигают 24 % на породу. Полученные результаты полностью согласуются с более ранними работами [Конторович и др., 1967, 1974, 1975; Kontorovich et al., 2007; и др.].

По разрезу ОВ распределено неравномерно. Наиболее низкие концентрации $C_{\text{орг}}$ установлены в нижних частях разрезов: менее 5 % в карбонатах, 4—7 % в силицитах. Как правило, более высокие концентрации $C_{\text{орг}}$ (> 15 %) отмечаются в верхней части баженовской свиты, где, как показал анализ литологии пород Повховской (см. рис. 1, а) и Южно-Ягунской (см. рис. 1, б) площадей, распространены кероген-глинистые и кероген-кремнистые микститы. В керогеновых силицитах средние значения $C_{\text{орг}}$ = 10—13 %. В самой верхней части разрез представлен глинистыми микститам. В них концентрации $C_{\text{орг}}$ до 7—8 %. В разрезе Южно-Ягунской площади в нижней части разреза выделена пачка кероген-карбонатных микститов, со значениями $C_{\text{орг}}$ до 15 % и выше.

Пиролизический показатель S_1 , соответствующий концентрации УВ и смол, находящихся в породе в свободном или адсорбированном состоянии, в изученных образцах достигает значений 12 мг УВ/г породы, в среднем для всех площадей — 5 мг УВ/г породы.

Более половины всех изученных образцов имеют значения показателя S_1 в интервале 4—8 мг УВ/г породы. В область значений 10—12 мг УВ/г породы попали лишь 8 образцов, 7 из которых отобраны из Повховской скважины. Наиболее высокие значения S_1 в этой скважине установлены в интервале 2980—2990 м, где разрез сложен глинистыми (значения S_1 до 10 мг УВ/г породы), кероген-глинистыми и кероген-кремнистыми (> 10 мг УВ/г породы) микститам. Вниз по разрезу значения S_1 постепенно снижаются: керогеновые силициты характеризуются средними значениями до 6 мг УВ/г породы, в силицитах S_1 до 4 мг УВ/г породы, в карбонатах около 2 мг УВ/г породы (см. рис. 1, а).

На Южно-Ягунской площади по всему разрезу отмечается значительный разброс значений S_1 : от 0.5 до 9 мг УВ/г породы. Наибольшие значения параметра S_1 (> 8 мг УВ/г породы) установлены в интервалах 2793—2800 м (кероген-глинистые микститы) и 2813—2815 м (кероген-карбонатные микститы). Высокими и средними значениями (до 6—7 мг УВ/г породы) характеризуются кероген-кремнистые микститы и керогеновые силициты. Низкие значения (до 4 мг УВ/г породы) имеют место в самой верхней и нижней частях разреза баженовской свиты, которые сложены глинистыми микститам и карбонатами соответственно (см. рис. 1, б).

В скважинах Дружной и Новоортьягунской площадей значения S_1 по разрезам меняются мало. Заметим, что в образцах пород Дружной площади значения показателя S_1 заметно ниже по сравнению с остальными изученными разрезами.

Распределение показателя S_1 по разрезу в основном повторяет тренд распределения $C_{орг}$ в породах, за исключением некоторых слоев в нижней части изученных разрезов. Особенно сильно различия проявляются в разрезах скважин на Дружной и Новоортьягунской площадях. Так, если на Повховской и Южно-Ягунской площадях имеет место сильная корреляционная связь между S_1 и $C_{орг}$ (коэффициент детерминации для Повховской площади составляет 0.63 (рис. 2, а), для Южно-Ягунской — 0.65 (см. рис. 2, б)), то на Дружной и Новоортьягунской площадях такая связь практически отсутствует (коэффициенты детерминации (R^2) линейной зависимости для этих площадей равны 0.09 и 0.28 соответственно). Повышенные при прочих условиях значения S_1 могут указывать на нефтенасыщенность пород [Лопатин, Емец, 1987; Зубков, Пормейстер, 2005; Дахнова и др., 2007, 2015; Козлова и др., 2015].

Пиролитический показатель S_2 , как известно, соответствует потенциалу выхода УВ, образующихся в процессе деструкции керогена. В изученных образцах значения S_2 варьируют от 2.2 до 102.1 мг УВ/г породы. Для большей части образцов характерны значения 25—50 мг УВ/г породы. Значения S_2 более 75 мг УВ/г породы имеют место в единичных образцах. Распределение значений пиролитического показателя S_2 в точности повторяет тренд распределения по разрезу значений $C_{орг}$ (см. рис. 1). На это указывает очень хорошая линейная корреляция между этими параметрами. Коэффициент детерминации линейной зависимости S_2 от $C_{орг}$ для всех изученных образцов равен 0.9 (см. рис. 2, в).

Среди образцов Повховской и Южно-Ягунской площадей наиболее высокие значения S_2 имеют микститы кероген-глинистые, кероген-кремнистые и кероген-карбонатные (до 60 мг УВ/г породы). Глинистые микститы и керогеновые силициты характеризуются средними значениями S_2 (до 50 мг УВ/г породы). Наименьшими значениями S_2 характеризуются силициты и карбонаты.

Для образцов Дружной и Повховской площадей наибольшие значения S_2 наблюдаются в верхней части разрезов и постепенно снижаются вниз по разрезу. Для образцов Новоортьягунской и Южно-Ягунской площадей снижение пиролитического показателя S_2 вниз по разрезу неравномерное.

Степень зрелости ОВ, определяемая по пиролитическому показателю T_{max} , в основном соответствует «главной зоне нефтеобразования». Значения параметра T_{max} в изученных образцах изменяются от 432 до 446 °С, что, согласно схеме катагенеза, в верхнеюрских отложениях Западно-Сибирского мегабассейна [Конторович и др., 1967, 1971, 1975; Фомин, 2011] соответствует грациям катагенеза МК₁—МК₂.

Согласно диаграмме $HI—T_{max}$ (рис. 3), ОВ баженовской свиты является аквагенным (кероген типа II) во всех литологических классах ее пород. Это подтверждает выводы о природе ОВ баженовской свиты, сделанные ранее [Парпарова, 1967, 1970; Конторович, Рогозина, 1967; Конторович и др., 1967, 1972, 1975; Богородская и др., 2005; и др.].

Содержание и состав аллохтонных битумоидов

Напомним, что по методике экстракции в работе объектом исследования являлись аллохтонные битумоиды. Содержание аллохтонных битумоидов в породах баженовской свиты в районе исследований меняется в широких пределах: от 0.04 до 3.56 % на породу, среднее содержание равно 0.54 % на породу.

Групповой и углеводородный составы аллохтонных битумоидов отвечают нефти, редко мальтам [Успенский и др., 1964]. Вместе с тем они меняются по соотношению и концентрации углеводородов, смол и асфальтенов, что указывает на их фракционирование в ходе процессов первичной и вторичной миграции [Трофимук, Конторович, 1965]. В составе исследованных аллохтонных битумоидов (нефти) преобладают углеводороды. В 90 % изученных образцов концентрация углеводородов составляет от 60 до 80 %. Отношение концентраций насыщенных УВ к ароматическим варьирует от 0.2 до 6.2. Среднее содержание смол низкое — 33.5 %. В единичных образцах содержание смол достигает 65—68 %. Концентрация асфальтенов обычно не превышает 6 %.

Состав аллохтонных битумоидов изменяется как в разрезах скважин, так и по территории исследования. Наиболее обогащены углеводородами аллохтонные битумоиды Новоортьягунской площади. В них содержание УВ меняется от 65 до 77 %. При этом в верхней части разреза ароматические УВ преобладают над насыщенными, а в нижней части разреза, наоборот, насыщенные УВ преобладают над ароматическими. На Дружной площади концентрации УВ в составе аллохтонных битумоидов изменяются от 35 до 90 %. Соотношение насыщенных и ароматических углеводородов очень изменчивое. На Повховской площади содержание УВ в составе аллохтонных битумоидов варьирует от 44 до 75 % на битумоид. Как правило, насыщенные УВ по концентрации преобладают над ароматическими. В образцах Южно-Ягунской площади концентрации УВ достигают 70 % на битумоид, при этом в большей части образцов ароматические УВ преобладают над насыщенными. Преобладание по количеству ароматических углеводородов над насыщенными и смол указывает на остаточный состав нафтидов.

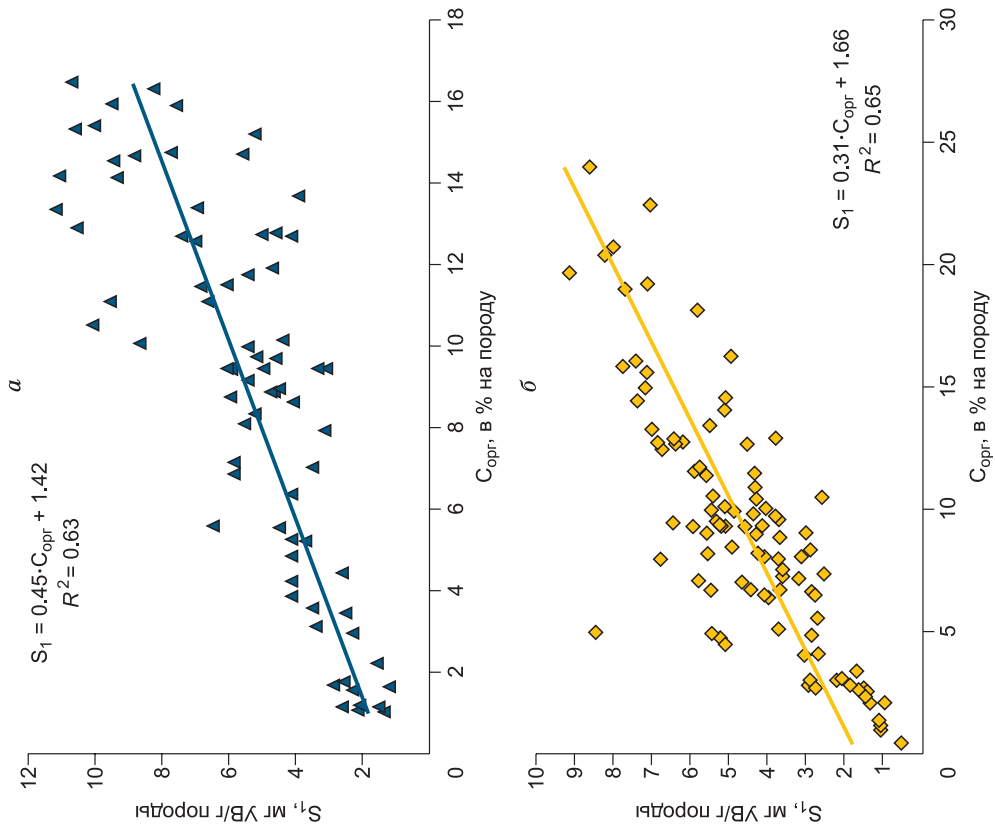


Рис. 2. Зависимости пиролитических характеристик S_1 и S_2 от содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в образцах баженовской свиты.

Зависимость S_1 от $C_{\text{орг}}$ в образцах баженовской свиты: а — Повховской площади; б — Южно-Ягунской площади; в — зависимость S_2 от $C_{\text{орг}}$ в образцах баженовской свиты, площади: 1 — Дружная, 2 — Новоортыгунская, 3 — Повховская, 4 — Южно-Ягунская.

Рис. 3. Диаграмма зависимости $HI-T_{max}$.

Площади: 1 — Дружная, 2 — Новоуртыгунская, 3 — Повховская, 4 — Южно-Ягунская.

Содержание смол наиболее высокое в аллохтонных битумоидах Повховской и Южно-Ягунской площадей. Их концентрация меняется от 21 до 67 % на битумоид. На Дружной площади концентрации смол в аллохтонных битумоидах меняются от 7 до 64 % на битумоид. Меньше всего смол в аллохтонных битумоидах Новоуртыгунской площади — от 17 до 32 % на битумоид.

На Повховской площади наибольшие концентрации насыщенных УВ характерны для силицитов и карбонатов. Наибольшие содержания смол имеют место в пачке керогеновых силицитов. На Южно-Ягунской площади повышенные концентрации смол отмечены в пачке кероген-кремнистых микститов.

Углеводородный состав битумоидов

Фракции насыщенных УВ исследуемых битумоидов были изучены методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. Установлено наличие во фракции *n*-алканов состава C_{10} — C_{40} , изопренанов C_{13} — C_{25} , циклических УВ-биомаркеров стеранового (C_{21} — C_{22} и C_{27} — C_{30}) и терпанового (C_{19} — C_{35}) рядов (рис. 4). Все они имеют близкое соотношение концентраций отдельных химических групп углеводородов-биомаркеров, что указывает на их генетическое единство.

Полученная информация об УВ-биомаркерах используется для диагностики генетического типа ОВ баженовской свиты и уровня их катагенетической преобразованности.

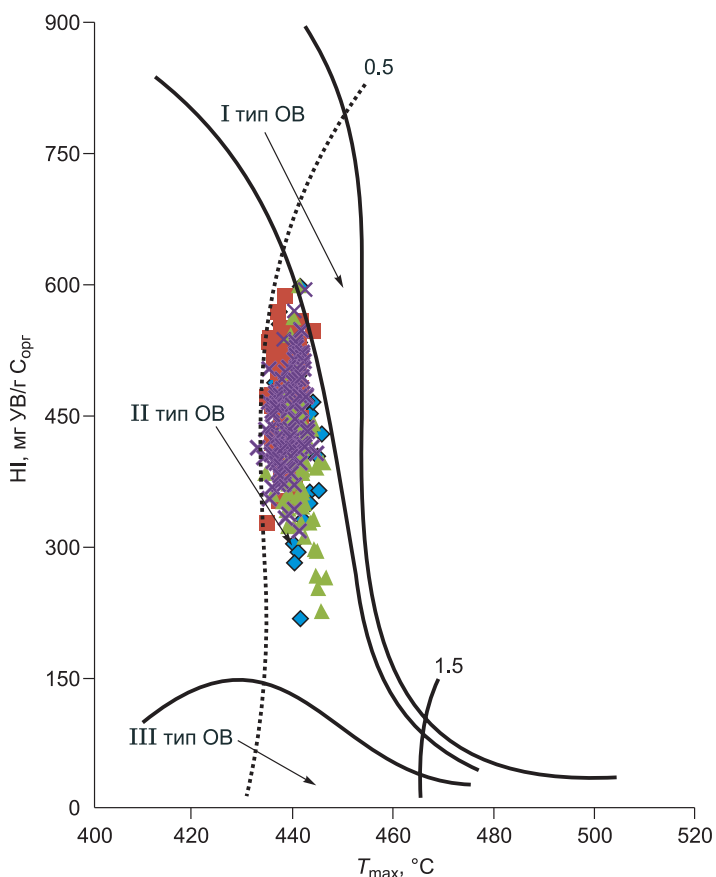
Основные биомаркерные показатели природы исходного живого вещества. Одномодальное распределение *n*-алканов в образцах с максимумом на углеводородах C_{16} — C_{20} (до 16 % на сумму *n*-алканов) (см. рис. 4, а) свойственно аквагенному типу ОВ. То же следует из соотношения концентраций *n*-алканов C_{27} и C_{17} , которое в изученных битумоидах изменяется от 0.05 до 1.00.

Во фракции изопренанов (алканов изопреноидного типа строения) в наибольших концентрациях находятся пристан (C_{19}) и фитан (C_{20}) (до 40 % от суммы изопренанов). Отношение Pr/Ph в основной массе изученных образцов не превышает единицу, что характерно для нефтей и битумоидов морского происхождения, связанного с РОВ аквагенного планктоногенного типа [Конторович и др., 1975; Tissot, Welte, 1978; Петров, 1984], и указывает на восстановительную обстановку захоронения ОВ в диагенезе.

Отношения концентраций углеводородов *n*- C_{17} к пристану (*n*- C_{17} /Pr) и *n*- C_{18} к фитану (*n*- C_{18} /Ph) во всех образцах < 1. Согласно диаграмме Кеннона–Кессоу, образцы баженовской свиты также попадают в область морского ОВ [Peters et al., 2005].

Среди стеранов (C_{27} — C_{30}) аллохтонных битумоидов баженовской свиты в районе исследований по концентрации преобладают холестераны (C_{27}) — до 42 % от суммы стеранов C_{27} — C_{30} и 45 % от суммы стеранов C_{27} — C_{29} , стерановый индекс $C_{29}/C_{27} \leq 1$, что указывает на ведущую роль морского фито- и зоопланктона в формировании материнского ОВ (см. рис. 4, в, г) [Петров, 1984; Конторович и др., 1994; Peters et al., 2005; и др]. **В насыщенной фракции битумоидов идентифицируются также прегнаны. Отношение (стераны+прегнаны)/прегнаны в изучаемых битумоидах изменяется от 2.5 до 14.5.**

В составе терпанов (C_{19} — C_{35}) в максимальной концентрации находятся гопаны (C_{27} — C_{30}) и гомогопаны (C_{31} — C_{35}) — до 80 % от суммы терпанов (см. рис. 4, б). Отношение концентраций гомогопанов



Незрелое ОВ	Зона нефтеобразования	Зона газообразования
-------------	-----------------------	----------------------

◆ 1 ■ 2 ▲ 3 × 4

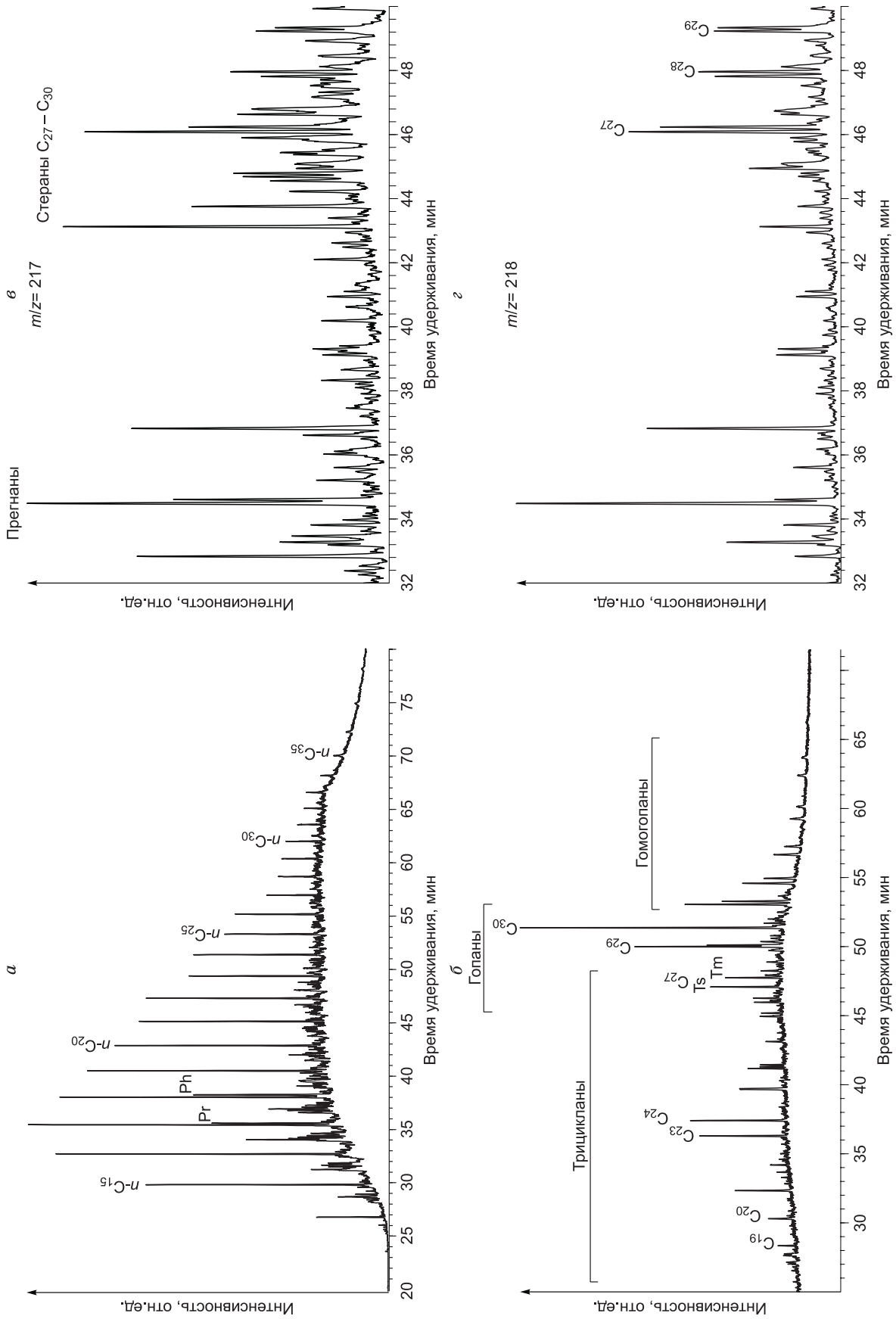


Рис. 4. Типичные хроматограммы и хромото-масс-фрагментограммы распределения углеводородов-биомаркеров насыщенной фракции битумоидов баженовской свиты севера Хантейской гемиантеклизы: *n*-алканов (а), тригерпанов (б), стеранов (в, г).

C_{35}/C_{34} около единицы, а в ряде образцов даже больше единицы (до 1.2). Это указывает на резко восстановительную обстановку в осадках в диагенезе.

Значительные концентрации гопанов указывают на значительную роль бактериального живого вещества в составе исходного органического вещества.

В изученных битумоидах в составе терпанов отмечается также повышенное содержание трициклических терпанов (трицикланов C_{19} — C_{31}) (см. рис. 4, б), концентрация которых достигает 45 % от суммы терпанов. Отношение содержаний гопанов к трицикланам в исследуемых битумоидах изменяется от 0.56 до 3.70.

Трициклановый индекс ($I_{tc} = 2 \cdot (\sum 19-20) / (\sum 23-26)$) в изученных битумоидах в большинстве образцов меньше единицы, что является показателем морского планктоногенного ОВ [Конторович и др., 1996; Конторович, 2004].

Таким образом, органическое вещество изучаемых аллохтонных битумоидов Дружной, Новоортягунской, Повховской и Южно-Ягунской площадей по составу УВ-биомаркеров относится к аквагенному типу.

Основные биомаркерные показатели уровня катагенетической преобразованности органического вещества. Одним из показателей катагенетической зрелости ОВ и нафтидов выступает индекс нечетности *n*-алканов (СРІ), который в изученных образцах варьирует от 0.87 до 1.03, что свидетельствует о превращенности ОВ и нефтей, характерной для главной зоны нефтеобразования [Philippi, 1965; Tissot, Welte, 1978].

Для оценки зрелости по стеранам чаще всего используются соотношения стереоизомеров этилхолестана C_{29} — $\beta\beta(20S+20R)/\alpha\alpha 20R$ и $\alpha\alpha 20S/\alpha\alpha 20R$. В изученной коллекции битумоидов эти отношения изменяются от 2.7 до 5.7 и от 0.9 до 2.1, что также указывает на преобразованность ОВ и нафтидов, отвечающую главной зоне нефтеобразования [Петров, 1984; Конторович и др., 1994; Peters et al., 2005].

Наконец, для оценки степени катагенетической превращенности нефтей используется соотношение гопанов Ts/Tm [Петров, 1984; Peters et al., 2005]. В изученных битумоидах этот показатель изменяется от 0.49 до 1.97, что соответствует главной зоне нефтеобразования.

Биомаркерные показатели зрелости органического вещества подтверждают результаты пиролитических и углепетрографических исследований о преобразованности ОВ баженовской свиты в районе исследований до уровня главной зоны нефтеобразования.

ВЫВОДЫ

В результате геохимических исследований состава и строения органического вещества баженовской свиты северной части Хантейской гемиантеклизы было установлено:

1. Обогащенные органическим веществом ($C_{орг}$ до 24 %, $b_{хл}$ до 2 % на породу) кероген-глинистые и кероген-кремнистые микститы обладают наилучшими генерационными свойствами (S_1 до 10 мг УВ/г породы, S_2 до 60 мг УВ/г породы, HI до 600 мг УВ/г $C_{орг}$) и являются основными нефтепроизводящими породами баженовской свиты.

2. Групповой состав аллохтонных битумоидов (нефти) из открытых пор характеризуется, как правило, высоким содержанием УВ (60—70 % на битумоид) при пониженных концентрациях смолистых компонентов (20—40 % на битумоид) и незначительных — асфальтеновых (не более 6 % на битумоид). Наблюдаемые вариации изменения группового состава битумоидов как по разрезу, так и по территории, указывают на их фракционирование в ходе процессов первичной и вторичной миграции.

3. Анализ полученных материалов показывает, что исходный тип ОВ как по пиролитическим характеристикам, так и по показателям УВ-биомаркеров не изменяется в зависимости от литологического класса пород и соответствует аквагенному, планктоно- и бентосогенному ОВ, что подтверждает и изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$). В изученных образцах $\delta^{13}C$ изменяется от –29.2 до –31.7 ‰ [Конторович и др., 1985].

4. Биомаркерные параметры и пиролитические характеристики органического вещества баженовской свиты показывают, что в районе исследований она находится в главной зоне нефтеобразования, что полностью согласуется с углепетрографическими показателями катагенеза ОВ в кровле юрского комплекса Западной Сибири [Фомин, 2011].

5. Баженовская свита является основным источником нефти уже открытых нефтяных залежей в неокме Южно-Ягунского, Повховского, Дружного, Западно-Котухтинского месторождений, а также залежей в самой баженовской свите.

ЛИТЕРАТУРА

Богородская Л.И., Конторович А.Э., Ларичев А.И. Кероген: методы изучения, геохимическая интерпретация. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, 254 с.

Дахнова М.В., Назарова Е.С., Славкин В.С., Колосков В.Н., Алексеев А.Д. Геохимические методы в решении задач, связанных с освоением залежей нефти в баженовской свите на западе Широкого Приобья // Геология нефти и газа, 2007, № 6, с. 39—43.

Дахнова М.В., Можегова С.В., Назарова Е.С., Пайзанская И.Л. Оценка запасов «сланцевой нефти» с использованием геохимических параметров // Геология нефти и газа, 2015, № 4, с. 55—61.

Зубков М.Ю., Пормейстер Я.А. Критерии оценки региональных перспектив нефтегазоносности и локального прогноза углеводородных залежей в отложениях баженовской и абалакской свит Западной Сибири // Горные ведомости, 2005, № 6, с. 30—51.

Козлова Е.В., Калмыков Г.А., Ганичев Д.И., Балушкина Н.С. Формы нахождения углеводородов в породах баженовской свиты // Геофизика, 2015, № 3, с. 15—22.

Конторович А.Э. Эволюция нефтидогенеза в истории Земли // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 784—802.

Конторович А.Э., Рогозина Е.А. Масштабы образования углеводородных газов в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности // Геология и нефтегазоносность юго-востока Западно-Сибирской плиты. Новосибирск, 1967, с. 13—25 (Труды СНИИГГиМСа, вып. 65).

Конторович А.Э., Бабина Н.М., 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. Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. М., Недра, 1967, 223 с.

Конторович А.Э., Берман Е.Л., Богородская Л.И., Винокур Б.Г., Колганова М.М., Липницкая Л.Ф., Мельникова В.М., Стасова О.Ф., Фомичев А.С. Геохимия юрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности. М., Недра, 1971, 251 с.

Конторович А.Э., Рогозина Е.А., Трофимук А.А. Первичная миграция углеводородов и диагностика нефтегазопроизводящих толщ // Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. М., Недра, 1972, с. 227—260 (Труды СНИИГГиМСа, вып. 131).

Конторович А.Э., Полякова И.Д., Стасова О.Ф., Трушков П.А., Бабина Н.М., Богородская Л.И., Данилова В.П., Зуева Т.В., Колганова М.М., Липницкая Л.Ф., Мельникова В.М., Фомичев А.С. Органическая геохимия мезозойских нефтегазоносных отложений Сибири. М., Недра, 1974, 190 с.

Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К., Сурков В.С., Трофимук А.А., Эрвье Ю.Г. Геология нефти и газа Западной Сибири. М., Недра, 1975, 680 с.

Конторович А.Э., Богородская Л.И., Гольшев С.И. Распределение стабильных изотопов углерода в седидах различной генетической природе // Геология и геофизика, 1985 (7), с. 3—11.

Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А., Андруевич В.Е., Афанасьев С.А., Гайдебурова Е.А., Гребенюк В.В., Данилова В.П., Запивалов Н.П., Карогодин Ю.Н., Каштанов В.А., Конторович В.А., Краснов В.И., Левчук М.А., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Смирнов Л.В., Фомин А.Н., Фомичев А.С., Фрадкин Г.С. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 2: Западно-Сибирский бассейн. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 201 с.

Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (11), с. 2034—2043.

Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (11—12), с. 1832—1845.

Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. М., Наука, 1987, 75 с.

Парпарова Г.М. Применение методов углепетрографии для исследования рассеянного органического вещества пород // Органическое вещество современных и ископаемых осадков. М., Недра, 1967, с. 78—82.

Парпарова Г.М. Характеристика рассеянного органического вещества по углепетрографическим исследованиям // Генезис нефти и газа. М., Недра, 1970, с. 191—204.

Петров Ал.А. Углеводороды нефти. М., Наука, 1984, 263 с.

Трофимук А.А., Конторович А.Э. Некоторые вопросы теории органического происхождения нефти и проблема диагностики нефтепроводящих толщ // Геология и геофизика, 1965 (12), с. 3—14.

Успенский В.А., Радченко О.А., Глебовская Е.А., Горская А.И., Шишкова А.П., Парпарова Г.М., Колотова Л.Ф., Мельцанская Т.Н. Основы генетической классификации битумов / Ред. С.Г. Неручев. Л., Недра, 1964, 267 с.

Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2011, 331 с.

Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.Н., Барташевич О.В. Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири // Советская геология, 1980, № 10, с. 94—105.

Эдер В.Г., Жигульский И.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А. Особенности литологии баженовской свиты в районах Хантейской гемиантеклизы и межовского мегамыса Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Материалы международной научной конференции ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ, 2016. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2016, с. 190—196.

Kontorovich A.E., Moskvina V.I., Burshtein L.M., Kostyreva E.A., Melenevskiy V.N. Bashenovo oil source formation // International Meeting on Organic Geochemistry, England, Torquay, 2007, p. 90—91.

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

Philippi C.T. On the depth, time and mechanism of petroleum generation / Geochim. Cosmochim. Acta, 1965, v. 29, № 12, p. 3061—3073.

Tissot B.P., Welte D.H. Petroleum formation and occurrence: A new approach to oil and gas exploration. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1978, 538 p.

*Поступила в редакцию
20 июля 2016 г.*