

УДК 552.16:553.98 (571.5)

КАТАГЕНЕЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ И ФАНЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АНАБАРО-ХАТАНГСКОЙ СЕДЛОВИНЫ

А.Н. Фомин*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия**Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия*

По отражательной способности мацералов (в основном витринита) установлен уровень зрелости органического вещества (ОВ) протерозойских, палеозойских и мезозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины. В протерозое встречены только графитизированные частицы неясной генетической природы. В кембрийских, девонских и каменноугольных толщах ОВ преобразовано преимущественно до апокатагенеза (градации AK_{2-3}). Примерно с той же интенсивностью изменено ОВ (AK_{1-3}) в тустахской и нижнекожевниковской свитах нижней перми, хотя в отдельных скважинах и районах не превышает градаций $МК_1^2$ — $МК_2$ (обозначения по А.Э. Конторовичу). В верхнекожевниковской свите верхней перми катагенез изменяется в пределах $МК_1^1$ — AK_1 , а в триасе $МК_1^1$ — $МК_3^2$. В юрских отложениях ОВ достигло в основном начала мезокатагенеза ($МК_1^1$ — $МК_1^2$), а в наиболее погруженных участках градации $МК_2$. В меловых толщах ОВ менее преобразовано ($ПК_3$ — $МК_1^1$), реже выше. Перспективы нефтегазоносности могут быть связаны с отдельными комплексами в пермских, триасовых и юрско-меловых отложениях с умеренным уровнем зрелости ОВ.

Протерозойские и фанерозойские отложения, катагенез органического вещества, перспективы нефтегазоносности, Анабаро-Хатангская седловина

CATAGENESIS OF ORGANIC MATTER AND PETROLEUM POTENTIAL OF PROTEROZOIC AND PHANEROZOIC DEPOSITS OF THE ANABAR-KHATANGA SADDLE

A.N. Fomin

The degree of organic-matter (OM) maturation in Proterozoic, Paleozoic, and Mesozoic deposits in the Anabar-Khatanga saddle has been determined from examination of the reflectance of macerals (mainly vitrinite). The Proterozoic deposits contain only graphite inclusions of uncertain origin. In the Cambrian, Devonian, and Carboniferous strata, OM has transformed predominantly to apocatagenesis grades (AC_{2-3}). Similarly transformed OM (AC_{1-3}) is found in the lower Permian Tustakh and Lower Kozhevnikova formations. In some wells and areas, the degree of OM catagenesis is not higher than MC_1^2 — MC_2 grades (classification after A.E. Kontorovich). In the Upper Kozhevnikova Formation, catagenesis grades are within MC_1^1 — AC_1 in the upper Permian and within MC_1^1 — MC_3^2 in the Triassic. In the Jurassic deposits, OM has transformed to early mesocatagenesis grades (MC_1^1 — MC_1^2) and reached MC_2 at the most deeply buried segments. In the Cretaceous strata, OM is less transformed, corresponding to PC_3 — MC_1^1 or, seldom, higher grades of catagenesis. Some complexes in the Permian, Triassic, and Jurassic-Cretaceous deposits with OM of moderate maturity might be petroleum-promising.

Proterozoic and Phanerozoic deposits, catagenesis of organic matter, petroleum potential, Anabar-Khatanga saddle

ВВЕДЕНИЕ

Катагенез органического вещества (ОВ) предопределяет начало, максимальную интенсивность и затухание процессов генерации нефтяных и газообразных углеводородов (УВ), локализацию в разрезе главных зон нефте- и газообразования. По этой причине информация об уровне зрелости ОВ является одним из важнейших критериев при оценке перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов. В рассматриваемом районе подобные исследования в небольшом объеме проводились преимущественно по мезозойским отложениям [Сороков, 1974; Данюшевская, 1975; Войцеховская, 1977; Богородская, Соболева, 1983; Афанасенков, 1984, 1987]. Отдельные сведения по катагенезу ОВ верхнепермских отложений (данные Е.И. Соболевой) приведены в работе Г.Ф. Степаненко [1985]. Под руководством А.Э. Конторовича много лет назад на основе имеющихся в то время материалов построены схемы катагенеза ОВ по некоторым стратиграфическим горизонтам мезозоя, палеозоя и венда [Конторович и др., 1971, 1974;

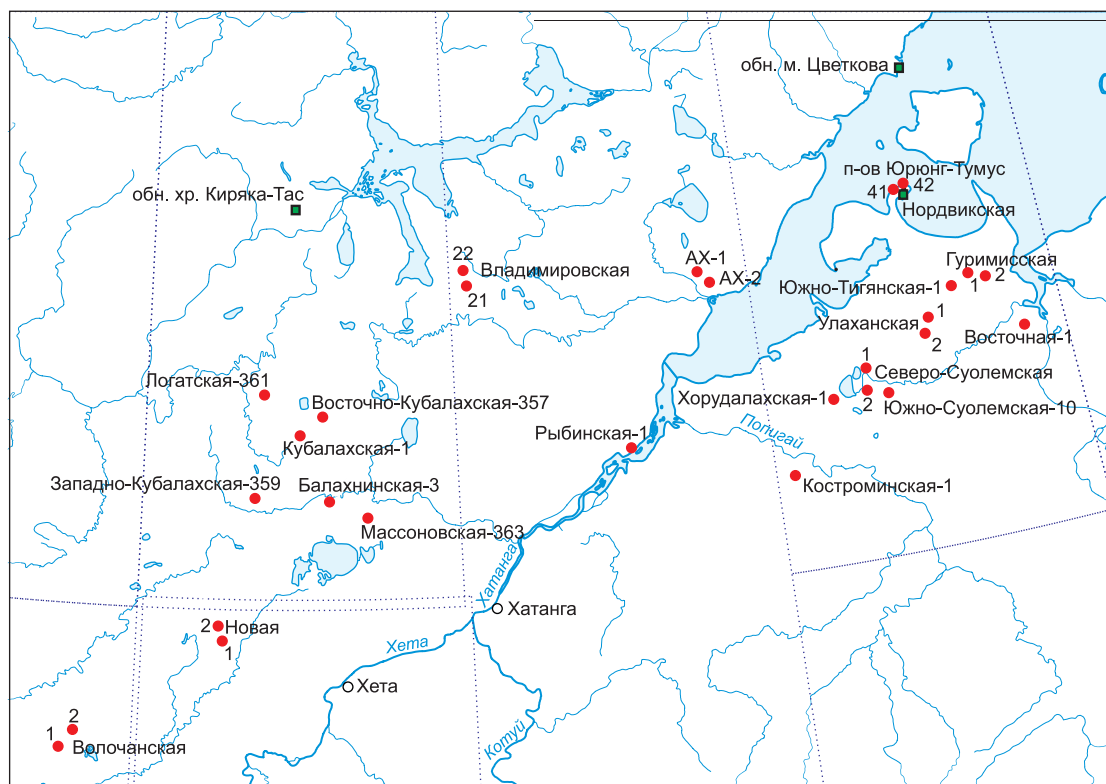


Рис. 1. Схема расположения изученных образцов пород из скважин и обнажений в Анабаро-Хатангской седловине.

Геология нефти..., 1981]. Этими авторами для диагностики уровня зрелости ОВ использовался в основном его элементный состав и показатель преломления витринита в керогене. Причем нередко эти материалы были противоречивы у разных исследователей. Позднее вышла статья [Мазитов и др., 2017], авторы которой с помощью 91 замера отражательной способности витринита и 507 пиролитических анализов построили схему катагенеза ОВ нижнекожевниковской свиты перми, а также схемы распределения водородного индекса в предполагаемых нефтегазоматеринских толщах: раннерифейской билляхской серии, куонамской и нижнекожевниковской свитах, верхнем девоне, юре. Автор настоящей работы использовал собственные замеры отражательной способности мацералов (в основном витринита) ОВ протерозойских и фанерозойских отложений (> 400 анализов), в меньшей мере его пиролитические характеристики, которые сравнивались с результатами других исследователей. Пиролитический показатель уровня зрелости ОВ T_{\max} (температура максимальной скорости выделения углеводородов — пик S2 на пирограмме) применялся только в тех случаях, когда по каким-либо причинам не были получены более точные углепетрографические данные. Материалом послужил керн глубоких скважин, реже образцы из обнажений (рис. 1). Новые результаты существенно дополняют имеющиеся сведения по катагенезу ОВ протерозойских и фанерозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины.

МЕТОДИКА

В настоящее время наиболее точными методами диагностики степени катагенеза ОВ признаны углепетрографические, главным образом отражательная способность витринита (R_{Vt}°). В морских и древних (додевонских) отложениях, где он отсутствует, уровень зрелости определялся по псевдовитриниту (R_{Alg}°) — мацералу аквагенного ОВ, внешне похожему на витринит, но относящемуся к водорослям, либо по битуминиту (R_{BT}°) и сорбомикстиниту (R_{CM}°). По этим компонентам нет утвержденных шкал катагенеза, и значения показателей отражения алыгинита, битуминита, сорбомикстинита сравниваются с R_{Vt}° , поэтому оценка преобразованности по этим трем мацералам может быть только ориентировочной. При этом учитывалось, что в мезокатагенезе значение отражательной способности R° несколько отстает от аналогичных значений витринита, а в апокатагенезе эти различия постепенно нивелируются. Замеры отражательной способности проводились на микроскопе-спектрофотометре МСФП-2 при длине волны 546 нм в иммерсионной среде. Для изучения брались полированные пришлифовки образцов пород без

Шкала катагенеза органического вещества, по данным [Неручев и др., 1976; Конторович, Трофимук, 1976]

Этап	Подэтап	Градация катагенеза		Витринит			
		[Неручев и др., 1976]	[Конторович, Трофимук, 1976]	R_{vt}° , %	N _{пр.}	СГ, %	VG, %
Литогенез		—	—	—	—	—	—
Диагенез		—	—	—	—	—	—
Катагенез	прото	ПК ₁	ПК ₁	0.25	—	60	63
		ПК ₂	ПК ₂	0.30	—	67	56
		ПК ₃	ПК ₃	0.40	—	71	50
	мезо	МК ₁	МК ₁ ¹	0.50	1.72	75	44
		МК ₂	МК ₁ ²	0.65	1.76	77	40
		МК ₃	МК ₂	0.85	1.81	81	37
		МК ₄	МК ₃ ¹	1.15	1.88	86	31
		МК ₅	МК ₃ ²	1.50	1.90	89	21
	апо	АК ₁	АК ₁	2.00	1.97	90	14
		АК ₂	АК ₂	2.50	2.00	91	8
		АК ₃	АК ₃	3.50	—	94	4
		АК ₄	АК ₄	5.0	—	—	—
Метагенез			7.0	—	97	1.5	
Региональный метаморфизм			11.0	—	—	—	

П р и м е ч а н и е. Прочерк — отсутствие или невозможность получения достоверных результатов. Параметры витринита, характеризующие уровень катагенеза ОВ: R_{vt}° — отражательная способность; $N_{\text{пр.}}$ — коэффициент преломления; СТ — содержание органического углерода на горючую массу; VT — выход летучих веществ на горючую массу.

дробления и последующего обогащения их в сильных кислотах. Действие последних, как известно, приводит к изменению оптических параметров ОВ.

Для обозначения уровня преобразованности ОВ существует множество шкал катагенеза. Однако созданные в разных странах, они имеют различные наименования, что создает трудности при их сопоставлении. К тому же при переводе традиционных для каждой страны названий градаций катагенеза нередко допускаются ошибки. С.Г. Неручев, Н.Б. Вассоевич и Н.В. Лопатин [1976] опубликовали проект международной шкалы катагенеза (таблица), в обсуждении которой принимали участие М.К. Калинин, А.А. Карцев, А.Э. Конторович, В.И. Ручнов, А.А. Трофимук и др. При этом С.Г. Неручев с соавторами учитывали уже существующие шкалы катагенеза ОВ, составленные И.И. Аммосовым, В.И. Горшковым, Н.П. Гречишниковым, Г.С. Калмыковым, И.Э. Вальц, И.Б. Волковой, А.И. Гинзбург, Н.М. Крыловой, Л.И. Сарбеевой и др. В основу единой системы терминов стадийального подразделения осадочных пород ими положен термин «катагенез», предложена новая терминология и индексация подэтапов и градаций катагенеза ОВ. Для обозначения раннего, среднего и позднего подэтапов катагенеза использованы древнегреческие префиксы: «прото», «мезо» и «апо». Выделенные подэтапы и градации катагенеза (аббревиатуры ПК_{1–3}, МК_{1–5}, АК_{1–3}) примерно совпадают с углемарочной шкалой: протокатагенез соответствует бурым углям, мезокатагенез — каменным и апокатагенез — тощим, полуантрацитам и антрацитам. А.Э. Конторович предложил более детальное расчленение подэтапа мезокатагенеза на ранний (градации МК₁^{1–2}), средний (МК₂) и поздний (МК₃^{1–2}) с соответствующей индексацией [Конторович, Трофимук, 1976]. Эти две системы обозначений градаций катагенеза широко используются российскими геологами. В настоящей работе принята шкала индексов А.Э. Конторовича.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Протерозойские отложения

Из этих толщ ОВ исследовано в скважинах Хорудалахская-1 (интервал 2694—2867 м) и Костроминская-1 (1587—1595 м). В породах были встречены только ярко анизотропные графитизированные частицы неясной генетической природы с отражательной способностью 12—13 %. Такие высокие значения R° характерны для ОВ, достигшего этапа метаморфизма. Однако по имеющемуся ограниченному материалу трудно установить, являются ли обнаруженные графитизированные частицы сингенетичными вмещающим толщам или переотложенными. Но судя по пиролитическому параметру T_{max} (478—581 °С), эти толщи уже вышли из главной зоны нефтеобразования и практически полностью исчерпали нефтематеринский потенциал. Подобные пиролитические данные получены и Д.С. Лежнинным с соавторами [2021].

Палеозойские отложения

Кембрий. Уровень зрелости ОВ в терригенно-карбонатных породах этого возраста установлен на Восточной, Костроминской, Рыбинской и Южно-Суолемской площадях. Полученные данные свидетельствуют в основном о высокой преобразованности этих толщ. В скв. Восточная-1 нерасчлененные отложения кембрия изучены в интервале 3001—3280 м. Судя по отражательной способности альгинита ($R_{\text{Alg}}^{\circ} = 2.97\text{—}3.04\%$), сорбомикстинита ($R_{\text{CM}}^{\circ} = 3.3\text{—}4.8\%$) и битуминита ($R_{\text{BT}}^{\circ} = 5.7\%$), эти толщи преобразованы до глубокого апокатагенеза (градации AK_{3-4}). Здесь же присутствуют ярко анизотропные графитизированные частицы неясной генетической природы. В скв. Костроминская-1 на глубине 1106 м в среднекембрийских терригенных отложениях обнаружены только графитизированные частицы. В известняках среднего кембрия скв. Рыбинская-1 (2345 м) также встречены такие частицы с $R^{\circ} = 8\%$. Это свидетельствует, что ОВ достигло этапа метакатагенеза. В нижне- и среднекембрийских известняках скв. Южно-Суолемская-10 (2505—3135 м), судя по R° сорбомикстинита (3.0—4.8 %), ОВ преобразовано до глубокого апокатагенеза (градации AK_{3-4}). Здесь же встречены графитизированные частицы.

Девон. Уровень зрелости ОВ в породах этого возраста установлен в обнажениях п-ова Юрюнг-Тумус (бухта Нордвик) и в скв. Улаханская-2. Полученные данные свидетельствуют в основном о высоком катагенезе этих толщ. В большинстве изученных карбонатных пород среднего девона полуострова отражательная способность альгинита ($R_{\text{Alg}}^{\circ} = 3.32\%$), битуминита ($R_{\text{BT}}^{\circ} = 2.50\text{—}4.18\%$) и сорбомикстинита ($R_{\text{CM}}^{\circ} = 2.83\text{—}3.93\%$) свидетельствует о преобразованности ОВ до середины апокатагенеза (градации AK_{2-3}). И только в одном обнажении п-ова Юрюнг-Тумус встречено ОВ с уровнем зрелости начала MK_2 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 0.85\%$). Судя по отражательной способности альгинита ($R_{\text{Alg}}^{\circ} = 2.66\text{—}3.47\%$) и витринита ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 4.26\%$), в скв. Улаханская-2 на глубине 3010 м ОВ девонских терригенных пород достигло середины—конца апокатагенеза (градации AK_{2-3} , в основном AK_3). Высокая преобразованность ОВ подтверждается яркой анизотропией растительных остатков, которая обычно наблюдается на этапах апокатагенеза и связана с высокими динамическими нагрузками на породы.

Карбон. Отложения этого возраста изучены на Северо-Суолемской и Рыбинской площадях, а также в обнажениях хр. Киряка-Тас юго-востока Таймырского полуострова. Полученные данные свидетельствуют о высокой преобразованности этих толщ. Так, в аргиллитах нижнего карбона в скв. Рыбинская-1 на глубине 2048 м ОВ достигло глубокого апокатагенеза (градации AK_{3-4} , $R_{\text{vt}}^{\circ} = 4.43\text{—}6.33\%$). Примерно с той же интенсивностью изменено ОВ ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 4.8\%$) в терригенных породах среднего—верхнего карбона скв. Северо-Суолемская-1 (2554 м). Подтверждением высокой преобразованности ОВ является отчетливо различимая анизотропия на фрагментах витринита. В известняках среднего—верхнего карбона скв. Южно-Суолемская-10 на глубине 2435 м встречены ярко анизотропные графитизированные частицы неясной генетической природы. На высокий катагенез этих отложений (градации AK) указывает и А.П. Афанасенков [2019]. Глубокого апокатагенеза (градация AK_4 , $R_{\text{vt}}^{\circ} = 5.2\text{—}5.6\%$) достигло ОВ в макаровской свите среднего карбона хр. Киряка-Тас.

Пермь. В ИНГГ СО РАН выполнен значительный объем углепетрографических исследований в этих толщах. Согласно полученным данным, преобразованность ОВ в породах перми изменяется по всей шкале катагенеза — от градации MK_1 до AK_4 . Подобные заключения содержатся в работах [Мазитов и др., 2017; Афанасенков, 2019]. Автором данной статьи уровень зрелости ОВ в нижнепермских терригенных породах тустакской свиты установлен на Восточной, Гуримисской, Северо-Суолемской, Южно-Суолемской, Улаханской, Рыбинской, Южно-Тиганской, Нордвикской площадях и изменяется в пределах градаций $\text{MK}_2\text{—AK}_3$. В скв. Восточная-1 отложения этого возраста изучены в интервале 2238—2608 м. Судя по отражательной способности витринита ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 3.47\text{—}3.74\%$), на глубине порядка 2600 м ОВ достигло начала AK_3 . Вверх по разрезу катагенез несколько ослабевает и отвечает концу AK_2 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 3.21\text{—}3.47\%$). В терригенных породах свиты скв. Гуримисская-2 он сильнее и в интервале 1940—2248 м достигает конца $\text{AK}_3\text{—}$ начала AK_4 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 4.43\text{—}5.40\%$). О высокой преобразованности ОВ свидетельствует также отчетливо различимая анизотропия фрагментов витринита. Вверх по разрезу (1748 м) уровень зрелости ОВ снижается и отвечает середине—концу AK_2 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 2.76\text{—}3.32\%$). Сильная измененность ОВ этих отложений установлена в скв. Гуримисская-1. Здесь в интервале 1515—2660 м R_{vt}° (3.54—4.52 %) свидетельствует о градации AK_3 . На фрагментах витринита также наблюдается яркая анизотропия. В отдельных образцах (глубина 2545 м) встречаются графитизированные частицы с отражательной способностью порядка 10 %, характерной уже для глубокого метакатагенеза. В связи с ограниченным количеством исследуемого материала, пока трудно судить о сингенетичности этих частиц вмещающим породам.

Примерно с той же интенсивностью преобразовано ОВ в породах тустакской свиты на Северо-Суолемской площади. Здесь в скв. 1 на глубинах 2478—2554 м уровень зрелости ОВ достигает конца градации AK_3 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 3.94\text{—}4.80\%$). Вверх по разрезу катагенез ослабевает, и на глубине 2090 м ОВ отвечает концу AK_2 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 3.25\%$). Конец градации AK_3 ($R_{\text{vt}}^{\circ} = 4.18\text{—}4.70\%$) установлен в скв. Северо-Суолемская-2 (глубины 1944—2169 м). О высокой преобразованности ОВ этих толщ свидетельствует

также отчетливая анизотропия фрагментов витринита. Причем в скв. 2 на глубине 2293 м встречены графитизированные частицы с отражательной способностью 12 %. Малое количество материала не позволяет заключить — сингенетичные эти частицы или переотложенные. Высокий уровень зрелости ОВ этой свиты установлен на Улаханской площади. Здесь в скв. 1 на глубине 3041 м обнаружены только ярко анизотропные графитизированные частицы с R^o порядка 10 %. В интервале глубин 2768—2857 м ОВ преобразовано до начала АК₃ ($R^o_{Vt} = 3.73—4.09$ %). Вверх по разрезу катагенез заметно ослабевает и на глубинах 2420—2594 м не превышает конца градации АК₁ ($R^o_{Vt} = 2.10—2.45$ %). Примерно с той же интенсивностью изменено ОВ в скв. Улаханская-2, где в интервале 2041—2889 м зафиксированы градации АК₁₋₃ ($R^o_{Vt} = 2.27—4.09$ %). Мощный разрез тустахской свиты (2768—3303 м) вскрыт скв. Южно-Тиганская-1. Здесь на глубине порядка 3300 м ОВ претерпело глубокие преобразования (градации АК₄₋₅, $R^o_{Vt} = 5.90—6.33$ %). Вверх по разрезу катагенез существенно ослабевает и в интервале 2768—3221 м ОВ отвечает лишь концу АК₂ ($R^o_{Vt} = 2.91—3.18$ %). Причем здесь по всему интервалу встречаются графитизированные частицы. Слабее преобразовано ОВ в скв. Рыбинская-1, где на глубине 1915 м установлено лишь начало градации МК₃² ($R^o_{Vt} = 1.66$ %).

Довольно детально изучено ОВ тустахской свиты в скважинах АХ-1 (интервал 775—1220 м) и АХ-2 (1191—1539 м). В первой R^o_{Vt} изменяется в диапазоне 2.97—5.40 %, а в скв. АХ-2 от 4.8 до 5.3 %. Эти данные свидетельствуют о преобразованности ОВ в пределах градаций АК₂—АК₄. Причем в этих скважинах не отмечается закономерного увеличения уровня зрелости ОВ с глубиной. Это связано с тем, что разрез насыщен долеритовыми дайками, которые создавали локальный прогрев осадочных толщ, приводящий к повышению катагенеза ОВ в отдельных интервалах. По-видимому, в данном случае на региональный катагенез ОВ повлиял дополнительный прогрев толщ траппами. Между тем полученные данные свидетельствуют, что ОВ преобразовано от середины до конца апокатагенеза. Это подтверждается также яркой анизотропией фрагментов витринита, характерной для толщ, претерпевших сильные динамические нагрузки.

Совершенно иная ситуация отмечается в скв. Южно-Суолемская-10. Здесь в интервале глубин 1518—1789 м ОВ достигло лишь середины мезокатагенеза (градиация МК₂, $R^o_{Vt} = 0.98—1.09$ %). Примерно с той же интенсивностью преобразовано ОВ в скважинах Нордвикская-41 и -42 на глубинах 711—768 м ($R^o_{Vt} = 0.96—1.00$ %). Следовательно, в этих районах нижнепермские отложения еще не вышли из главной зоны нефтеобразования и могут представлять интерес для поисков залежей углеводородов.

Уровень зрелости ОВ в терригенных породах *нижнекожевниковской свиты* (P_1) установлен на Гуримисской, Северо-Суолемской, Южно-Тиганской, Улаханской, Рыбинской, Восточной площадях и изменяется в пределах градаций МК₂—АК₂. В скв. Гуримисская-2 на глубине 1660 м установлено начало АК₁ ($R^o_{Vt} = 2.15—2.21$ %). С той же интенсивностью изменено ОВ ($R^o_{Vt} = 2.27$ %) в скв. 1 (1151 м). Вниз по разрезу катагенез нарастает и на глубине 1309 м достигает АК₂ ($R^o_{Vt} = 2.64—3.32$ %). Аналогичный уровень зрелости ОВ отмечается в скв. Северо-Суолемская-1 (интервал 1476—1517 м, $R^o_{Vt} = 2.57—3.32$ %). Близкий катагенез ОВ ($R^o_{Vt} = 2.90—3.62$ %) зафиксирован в скв. Южно-Тиганская-1 (1542—1596 м). В скв. Улаханская-1 в интервале 1873—2033 м ОВ преобразовано до конца АК₁—начала АК₂ ($R^o_{Vt} = 2.33—2.57$ %). Подобный уровень зрелости ОВ отмечается в скв. Улаханская-2 на глубинах 1927—1964 м (начало АК₁, $R^o_{Vt} = 2.04—2.27$ %). Вверх по разрезу катагенез понижается и в интервале 1652—1818 м отвечает концу градации МК₃¹ — началу МК₃² ($R^o_{Vt} = 1.42—1.61$ %), а на глубине 1364 м — середине МК₂ ($R^o_{Vt} = 0.97$ %). Высокопреобразованное ОВ встречено в скважинах АХ-1 и АХ-2. В первой (интервал 262—323 м) отражательная способность витринита изменяется в пределах 2.24—2.64 % и отвечает середине градации АК₁—началу АК₂. Во второй скважине (584—792 м) ОВ более изменено ($R^o_{Vt} = 3.0—5.1$ %) и соответствует середине АК₂—концу АК₃. Как уже отмечалось раньше, разрез этих двух скважин насыщен долеритовыми дайками, что отражается в аномальном увеличении R^o_{Vt} вблизи этих тел.

Существенно ниже и практически одинаковый уровень зрелости ОВ в породах *нижнекожевниковской свиты* зафиксирован в скважинах Рыбинская-1 и Восточная-1. В первой (глубина 1855 м) отражательная способность витринита (0.97 %) свидетельствует о середине градации МК₂. Близкие значения (0.97—1.05 %) установлены в скв. Восточная-1 (1787—1817 м). Наиболее низкий уровень зрелости ОВ выявлен в скв. Нордвикская-41, где на глубине 478 м отмечается конец МК₁² ($R^o_{Vt} = 0.80$ %). Следовательно, породы свиты в этих скважинах еще не вышли из главной зоны нефтеобразования и могут представлять интерес для поисков залежей углеводородов. Очень высокая преобразованность органического вещества зафиксирована в *соколинской свите* нижней перми из обнажений хр. Кирыка-Тас на юго-востоке Таймырского полуострова. Здесь отражательная способность витринита ($R^o_{Vt} = 4.8—5.9$ %) отвечает грациям АК₃₋₄.

Уровень зрелости ОВ в терригенных породах *верхнекожевниковской свиты* (P_2) установлен на Гуримисской, Рыбинской, Улаханской, Волочанской площадях и изменяется в пределах градаций МК₁¹—АК₁. В скв. Гуримисская-2 на глубинах 1231—1258 м фиксируется конец МК₁² ($R^o_{Vt} = 0.80—$

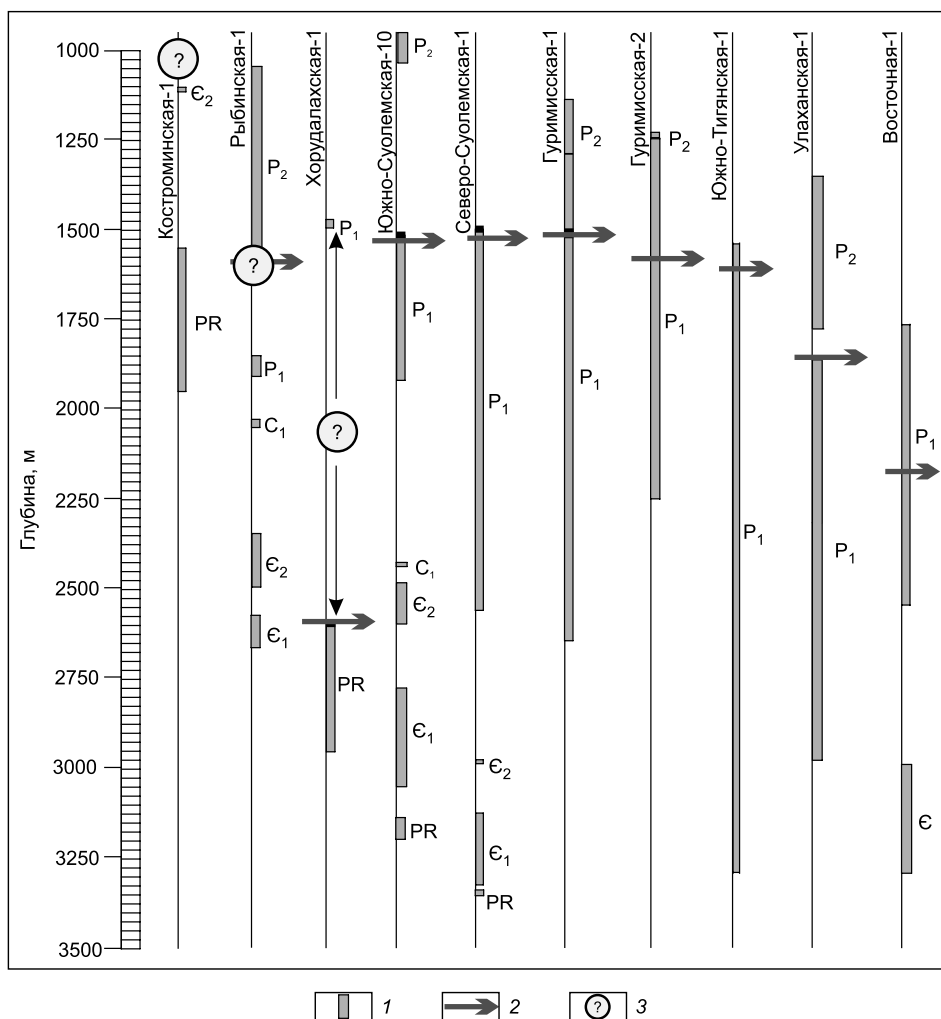


Рис. 2. Границы зоны высокопреобразованного органического вещества по отражательной способности витринита и пиролизу ($R_{vt}^o > 2.0 \%$, $T_{max} > 500 \text{ } ^\circ\text{C}$).

1 — интервал отбора проб для анализа; 2 — границы зоны; 3 — скважины, для которых определение границы было затруднено из-за отсутствия керна.

0.81 %). Слабее преобразовано ОВ в скв. Рыбинская-1 (1337 м) и отвечает переходу от градации $МК_1^1$ к $МК_1^2$ ($R_{vt}^o = 0.65 \%$). Выше по разрезу (1047 м) катагенез снижается и в породах *мисайлапской свиты* (P_2) не превышает конца $МК_1^1$ ($R_{vt}^o = 0.62 \%$). Несколько сильнее изменено ОВ верхнекожевниковской свиты на Улаханской площади. Здесь в скв. 1 на глубинах 1640—1778 м ОВ достигло середины—конца градации $МК_3^1$ ($R_{vt}^o = 1.32—1.47 \%$). Вверх по разрезу (1369 м) катагенез ослабевает, и в мисайлапской свите ОВ преобразовано до середины $МК_2$ ($R_{vt}^o = 0.97—0.99 \%$). С той же интенсивностью изменено ОВ верхнекожевниковской свиты в скв. Улаханская-2 (глубина 1364 м). Следовательно, породы верхнекожевниковской и мисайлапской свит в этих скважинах находятся в главной зоне нефтеобразования.

Более высокая преобразованность ОВ верхнекожевниковской свиты установлена в глубоководных толщах скв. Волочанская-1 (3342 м), где оно достигло начала градации $АК_1$ ($R_{vt}^o = 2.04 \%$). Вверх по разрезу катагенез заметно снижается и в интервале 2909—3164 м отвечает началу $МК_3^2$ ($R_{vt}^o = 1.63—1.66 \%$). Аналогичный уровень зрелости ОВ ($R_{vt}^o = 1.66—1.68 \%$) в этой свите зафиксирован на глубине 3102 м в скв. Волочанская-2. Высокая преобразованность ОВ нерасчлененных отложений перми установлена в скв. Балахнинская-3. Здесь на глубине 4488 м зафиксирована середина градации $АК_1$ ($R_{vt}^o = 2.36 \%$). Следовательно, в этих районах пермские толщи уже вышли из главной зоны нефтеобразования и находятся в глубинной зоне газообразования.

Преимущественно высокая преобразованность ОВ протерозойских и палеозойских отложений подтверждается также пиролитическими исследованиями. С учетом углепетрографических и пиролити-

ческих данных на рис. 2 показаны глубинные границы распространения зон мезо- и апокатагенеза по некоторым скважинам рассматриваемой территории ($R_{vt}^o > 2.0 \%$, $T_{max} > 500 \text{ } ^\circ\text{C}$). Из рисунка видно, что граница мезокатагенеза в терригенных толщах перми по разным скважинам прослеживается в интервале глубин примерно 1500—2200 м. Следовательно, ниже отложения уже исчерпали свой нефтегенерационный потенциал и практически бесперспективны для сохранения значительных скоплений углеводородов.

Мезозойские отложения

Триас. Преобразованность ОВ в этих толщах установлена на Волочанской, Владимирской, Улаханской, Логатской и Балахнинской площадях. В скв. Волочанская-1 терригенные отложения среднего—верхнего триаса изучены в интервале 1786—2305 м. В нижних горизонтах разреза катагенез ОВ отвечает середине—концу МК₂ ($R_{vt}^o = 1.05 \%$). Выше он уменьшается и соответствует началу этой градации ($R_{vt}^o = 0.86 \%$). Еще ниже преобразовано ОВ в средневерхнетриасовых толщах скв. Улаханская-1, где на глубине 1206 м отмечается конец МК₁² ($R_{vt}^o = 0.81—0.83 \%$). С той же интенсивностью изменено ОВ в скв. Логатская-361 (глубины 3265—3330 м). В одновозрастных терригенных породах м. Цветкова ОВ преобразовано до середины—конца МК₂ ($R_{vt}^o = 1.03—1.12 \%$). Начало этой градации ($R_{vt}^o = 0.92 \%$) фиксируется на глубине 2650 м в терригенных отложениях нижнего триаса в скв. Владимировская-21. Довольно высокий катагенез ОВ установлен в глубоководнопогруженных нерасчлененных отложениях триаса скв. Балахнинская-3. Здесь в интервале 3833—4188 м он достигает конца градации МК₃² —начала АК₁ ($R_{vt}^o = 1.80—2.10 \%$).

Юра. Катагенез ОВ этих толщ изучен только в отдельных скважинах и обнажениях, что связано с отсутствием образцов для исследования, малым содержанием ОВ в породах: плохой сохранностью растительных фрагментов. Преобразованность ОВ *нижнеюрских* отложений изменяется в пределах градаций МК₁¹—МК₂. В скв. Волочанская-1 на глубине 1475 м уровень зрелости ОВ отвечает концу МК₁¹ ($R_{vt}^o = 0.63 \%$). С той же интенсивностью изменено ОВ ($R_{vt}^o = 0.59 \%$) в скв. Логатская-361 (глубина 3205 м). Существенно больше катагенез в скв. Кубалахская-1, где на глубине 3590 м он достигает конца МК₂ ($R_{vt}^o = 1.12 \%$), а выше по разрезу (3495 м) — середины этой градации ($R_{vt}^o = 1.02 \%$). Близкий уровень зрелости ОВ ($R_{vt}^o = 1.10 \%$) зафиксирован на глубине 3459 м в скв. Новая-1. В терригенных породах из обнажений м. Цветкова ОВ нижней юры преобразовано до середины МК₂ ($R_{vt}^o = 0.97 \%$). Катагенез ОВ *среднеюрских* отложений (как и *нижнеюрских*) изменяется в пределах градаций МК₁¹—МК₂. В разрезе скв. Балахнинская-1 (1250—1743 м, вымская и лайдинская свиты) отражательная способность витринита (0.50—0.56 %) свидетельствует об уровне зрелости ОВ начала МК₁¹. Начало—конец этой градации ($R_{vt}^o = 0.54—0.65 \%$) зафиксирован в скв. Новая-2 (1817—2457 м, малышевская и вымская свиты). Заметно выше катагенез ОВ в среднеюрских толщах (леонтьевская и вымская свиты) в скв. Кубалахская-1, где в интервале 2842—3220 м он отвечает градации МК₁² ($R_{vt}^o = 0.70—0.81 \%$). Примерно с той же интенсивностью изменено ОВ ($R_{vt}^o = 0.67—0.73 \%$) малышевской свиты в скв. Западно-Кубалахская-359 (3160 м). Вверх по разрезу свиты (2907—3052 м) катагенез снижается до конца МК₁¹ ($R_{vt}^o = 0.62—0.64 \%$).

Юрско-меловые (гольчихинская свита, К₁—J₂). Уровень зрелости ОВ в этой свите установлен на Западно-Кубалахской, Восточно-Кубалахской, Массоновской и Логатской площадях. В скв. Западно-Кубалахская-359 на глубинах 2786—2877 м ОВ преобразовано до конца градации МК₁¹ ($R_{vt}^o = 0.59 \%$). С той же интенсивностью изменено ОВ в скв. Восточно-Кубалахская-357 (глубина 2471 м, $R_{vt}^o = 0.62 \%$). В скв. Логатская-361 фиксируется начало МК₁² (2318 м, $R_{vt}^o = 0.70 \%$). В скв. Массоновская-363 эти отложения залегают на значительных глубинах (4198—4346 м), поэтому катагенез существенно выше и достигает середины градации МК₂ ($R_{vt}^o = 0.90—0.97 \%$).

Мел. Эти толщи также изучены на ограниченном материале (по тем же причинам, что и юрские). Так, в скв. Массоновская-363 в базальных горизонтах *нижнехетской свиты* нижнего мела (3505—3591 м) ОВ достигло начала градации МК₂ ($R_{vt}^o = 0.87—0.90 \%$). Вверх по разрезу свиты катагенез снижается и на глубине 2623 м не превышает конца МК₁¹ ($R_{vt}^o = 0.62 \%$). В скв. Восточно-Кубалахская-357 (глубина 1604 м) в *суходудинской свите* (К₁) уровень зрелости ОВ отвечает началу МК₁¹ ($R_{vt}^o = 0.52 \%$), вверх по разрезу уменьшается и не превышает середины ПК₃ (1245 м, $R_{vt}^o = 0.46 \%$). В скв. Логатская-361 на глубине 1711 м зафиксирована середина градации МК₁¹ ($R_{vt}^o = 0.57 \%$). В обнажении угольного пласта (К₁, тиганская свита) на п-ове Юрюнг-Тумус установлен катагенез начала МК₁² ($R_{vt}^o = 0.71 \%$). Преобразованность ОВ верхнего мела по береговым обнажениям рек Хета, Ледяная, Боярка, Романиха, Маймеча и Котуй отвечает ПК₃ ($R_{vt}^o = 0.43—0.49 \%$) [Афанасенков, 2019].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При оценке перспектив нефтегазоносности осадочных толщ необходим комплексный учет многих факторов. В данном случае рассматривается только катагенез ОВ, т. е. были ли в изучаемых отло-

жениях реализованы термобарические условия, обеспечившие генерацию углеводородов и сохранность их залежей. Вполне вероятно, что в палеозое Анабаро-Хатангской седловины были все предпосылки для формирования нефтегазопроизводящих отложений с высоким генерационным потенциалом. Уровень катагенеза ОБ в них был вполне достаточным для реализации главной фазы нефтеобразования и глубинной фазы газообразования. Подтверждением этого являются многочисленные проявления твердых и растворимых битумов в палеозойских породах и запах УВ от керна в отдельных интервалах, а также присутствие автохтонных, параавтохтонных и аллохтонных битумоидов. Следовательно, при умеренном катагенезе ОБ в них проходили интенсивные процессы нафтидогенеза. Однако современная преобразованность этих толщ не позволяет оценивать их высоко. Пока только в некоторых скважинах (Южно-Суолемская-10, Восточная-1, Рыбинская-1, Гуримисская-2) встречены отдельные интервалы разреза в нижне- и верхнепермских отложениях (нижнекожевниковская, верхнекожевниковская и мисайлапская свиты) с относительно низким уровнем зрелости ОБ (градации $МК_1^1$ — $МК_2$), с которыми могут быть связаны перспективы нефтегазоносности. Вместе с тем преимущественно террагенный (гумусовый) состав ОБ этих толщ малоблагоприятен для генерации нефтяных углеводородов, но не исключена возможность образования газообразных.

Тем не менее на рассматриваемой территории были открыты небольшие месторождения нефти на Южно-Тиганской, Кожевниковской, Ильинской, Чайдахской и Нордвикской структурах. Основные залежи локализованы в пермских отложениях, но отдельные скопления и нефтепроявления были отмечены в породах триаса и в юрских песчаниках, обнажающихся по периферии п-ова Юрюнг-Тумус (руч. Нефтяной). Однако о происхождении этих нефтей существуют разные точки зрения. Многие исследователи 50—70-х годов XX в. предполагали пермский источник нефтей Южного Тигяна и Нордвика (Н.Г. Гедройц, И.С. Грамберг, Т.М. Емельянцева, М.К. Калинин и др.). По мнению В.А. Кренина [2011], генератором нефтяных УВ на северо-западе Сибирской платформы (в том числе и в Анабаро-Хатангской седловине) является ОБ нижнего кембрия и венда, находящееся в начале главной зоны нефтеобразования. Хотя приведенные выше наши данные свидетельствуют, что эти толщи преобразованы до глубокого апокатагенеза (иногда даже метакатагенеза) и вышли из главных зон нефте- и газообразования. Другие исследователи [Конторович и др., 1999; Каширцев и др., 1999], опираясь на геохимические материалы, считают, что нефтяные залежи сформировались главным образом из ОБ девонских нефтематеринских пород.

В отложениях с уровнем зрелости ОБ конца мезокатагенеза—начала апокатагенеза (градации $МК_3^1$ — $АК_1$), которые уже вышли из главной зоны нефтеобразования и находятся в глубинной зоне газообразования, могли сохраниться скопления сухого и конденсатного газа. Такой катагенез был установлен в верхнекожевниковской свите скв. Волочанская-1 и в нижних горизонтах этой свиты скв. Улаханская-1. В толщах с преобразованностью ОБ градаций $АК_{2,3}$ и выше практически полностью исключается возможность нахождения сингенетических залежей УВ. В рассматриваемом районе эти отложения преобладают. Насыщенность разреза интрузиями и наличие большого количества разрывных нарушений снижает нефтегазопромысловый интерес к верхнепалеозойским толщам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рассматриваемой территории палеозойские отложения претерпели в основном существенные термобарические изменения, малоблагоприятные для сохранения крупных сингенетических залежей углеводородов. Эти выводы подтверждаются данными пиролитических исследований. Установлено, что из-за высокого уровня зрелости остаточный нефтегазогенерационный потенциал ОБ практически исчерпан, и только в породах, в которых катагенез не выше градации $МК_2$, оно еще способно генерировать нефтяные УВ. Однако ожидать открытия крупных залежей нефти в осадочных комплексах палеозоя с более преобразованным ОБ маловероятно. Тем не менее нельзя исключать обнаружение в дальнейшем осадочных толщ с умеренным катагенезом ОБ, в которых палеотермобарические условия недр не приводили к полной деструкции скоплений УВ.

Осадочные отложения триаса, юры и нижнего мела в основном еще не вышли из главной зоны нефтеобразования (градации $МК_1^1$ — $МК_2$) и могли бы представлять интерес для поисков залежей жидких УВ. Верхнемеловые отложения достигли конца протокатагенеза (градация $ПК_3$) и находятся в верхней зоне газообразования. Все же преимущественно террагенный (гумусовый) состав ОБ мезозойских толщ малоблагоприятен для генерации нефтяных углеводородов, хотя не исключена возможность образования газообразных. Но эти теоретические предпосылки перспектив нефтегазоносности указанных толщ пока не подтвердились результатами геолого-разведочных работ.

Автор благодарен сотрудникам Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН за предоставление для исследования образцов пород из обнажений.

Работа выполнена при поддержке проекта FWZZ-2022-0011 государственной программы фундаментальных научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Афанасенков А.П. Особенности катагенетических преобразований рассеянного органического вещества юрско-меловых отложений Енисей-Хатангской нефтегазоносной области // Геохимические и геофизические методы прямых поисков залежей углеводородов в Енисей-Хатангском прогибе. Л., ПГО «Севморгеология», 1984, с. 69—80.

Афанасенков А.П. Историко-генетические предпосылки нефтегазоносности юрских отложений Енисей-Хатангской нефтегазоносной области: Автореф. дис.... к.г.-м.н. М., 1987, 16 с.

Афанасенков А.П. Геология и перспективы нефтегазоносности севера Сибирской платформы: Автореф. дис.... д.г.-м.н. М., 2019, 45 с.

Богородская Л.И., Соболева Е.И. Катагенез органического вещества осадочных пород Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геохимические и гидрогеологические предпосылки поисков нефти и газа в Сибири. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1983, с. 60—70.

Войцеховская А.Г. Вещественный состав рассеянного органического вещества и связь его с фациальными условиями осадконакопления в отложениях мезозойских прогибов севера Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность мезозойских прогибов севера Сибирской платформы. Л., НИИГА, 1977, с. 83—86.

Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. М., Недра, 1981, 552 с.

Данюшевская А.И. Геохимия органического вещества мезозойских отложений Средней Сибири. Теоретические закономерности и прогноз нефтегазообразования: Автореф. дис.... д.г.-м.н. Л., ВНИГРИ, 1975, 57 с.

Каширцев В.А., Конторович А.Э., Филп Р.П., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Меметова Н.П. Биомаркеры в нефтях восточных районов Сибирской платформы как индикаторы условий формирования нефтепроизводивших отложений // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (11), с. 1700—1710.

Конторович А.Э., Полякова И.Д., Трушков П.А., Фомичев А.С., Данюшевская А.И., Казаринов В.В., Парпарова Г.М., Стасова О.Ф., Рогозина Е.А., Шпильман К.А. Геохимия мезозойских отложений нефтегазоносных бассейнов Сибири. Новосибирск, 1971, 86 с. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 118).

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, 188 с.

Конторович А.Э., Трофимук А.А. Литогенез и нефтегазообразование // Горючие ископаемые. Проблемы геологии и геохимии нафтидов и битуминозных пород / Ред. Н.Б. Вассоевич. М., Наука, 1976, с. 19—36.

Конторович А.Э., Бахтуров С.Ф., Башарин А.К., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Конторович А.А., Кринин В.А., Ларичев А.И., Ли Году, Меленевский В.Н., Тимошина И.Д., Фрадкин Г.С., Хоменко А.В. Разновозрастные очаги нафтидообразования и нафтидонакопления на Северо-Азиатском кратоне // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (11), с. 1676—1693.

Кринин В.А. О генезисе нафтидов на севере Сибирской платформы // Горные ведомости, 2011, № 12, с. 24—31.

Лежнин Д.С., Афанасенков А.П., Соболев П.Н., Найденов Л.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья // Геология нефти и газа, 2021, № 4, с. 7—28.

Мазитов М.Р., Качкин А.А., Скачек К.Г., Ларичев А.И., Бостриков О.И., Хабаров А.Н., Семенова З.А. Геолого-геохимические критерии нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2017, т. 12, № 4, с. 1—22.

Неручев С.Г., Вассоевич Н.Б., Лопатин Н.В. О шкале катагенеза в связи с нефтегазообразованием // Горючие ископаемые. Проблемы геологии нафтидов и битуминозных пород / Ред. Н.Б. Вассоевич. М., Наука, 1976, с. 47—62.

Сороков Д.С. Возможность нефтегазообразования и нефтегазоносность в юрских и меловых отложениях Енисей-Хатангского прогиба // Енисей-Хатангская нефтегазоносная область. Л., НИИГА, 1974, с. 5—10.

Степаненко Г.Ф. Геолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности верхнепалеозойских и мезозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины: Автореф. дис.... к.г.-м.н. Новосибирск, 1985, 19 с.