

ЦЕНТРАЛЬНО-АРКТИЧЕСКАЯ ОБЛАСТЬ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА: СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

И. Д. Полякова

ФГБУН Геологический институт РАН (Москва, Российская Федерация)

Г. Ч. Борукаев

(Москва, Российская Федерация)

И. В. Богоявленский, Св. А. Сидоренко

ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН (Москва, Российская Федерация)

В апт-кайнозойском осадочном чехле региона выделяются пять сейсмостратиграфических комплексов. В верхнепалеоцен-эоценовом и, возможно, верхнемеловом комплексах распространены нефтематеринские углеродисто-кремнисто-глинистые горизонты, содержащие аквагенное органическое вещество, способное генерировать нефть. Остальные комплексы попадают в верхнюю и глубинную зоны газообразования. В качестве перспективных объектов прогнозируются участки, примыкающие к выступам фундамента, отделяющим котловины Амундсена, Подводников и Макарова от небольших впадин подножия склонов хребта Ломоносова и поднятия Менделеева.

Ключевые слова: нефтематеринские горизонты, катагенетическая зрелость органического вещества, потенциальные нефтегазоносные объекты, глубоководная Арктика.

Статья поступила в редакцию 14 марта 2017 г.

Введение

Комплексные геолого-геофизические исследования XXI в. в глубоководной зоне Северного Ледовитого океана внесли значительный вклад в познание строения его Центрально-Арктической области, в составе которой выделяются хребет Ломоносова и поднятие Менделеева с разделяющими их котловинами Подводников и Макарова (рис. 1). С запада к хребту Ломоносова примыкает котловина Амундсена, в ее восточной части и в котловине Подводников волновые поля обнаруживают близкую связь. Сейсмические данные в сочетании с результатами бурения и изучения донно-каменного материала позволили создать сейсмостратиграфические модели и обобщить представления о происхождении и истории развития основных структур рассматриваемой области. Материалы по этой проблеме отражены в трудах Е. В. Артющкова, В. В. Буценко, В. А. Верниковского, В. А. Виноградова, Е. А. Гусева, Ю. Б. Казмина, Б. И. Кима, А. А. Крылова, Л. И. Лобковского, А. Ф. Морозова, В. А. Поселова, П. В. Реканта, А. А. Черных, J. Backman, W. Jokar, K. Moran и др.

При существующем многообразии мнений по отдельным вопросам большинство исследователей пришло к общему заключению о континентальном происхождении Центрально-Арктической области, периодически подвергавшейся процессам рифтогенной деструкции и вулканизма. Изучение донно-каменного материала в разных районах области показало, что обнаруженные базальтоиды относятся к внутриплитному типу и соответствуют по возрасту концу перми — началу триаса, валанжин-баррему и сенону. Не исключено их присутствие и в кайнозойском разрезе. Полихронность Центрально-Арктического вулканического ареала свидетельствует об активности суперплюмовых эпизодов, следы которых неоднократно проявились большими объемами магматических пород [1].

Геологическая структура и сейсмостратиграфические комплексы

На современном этапе геологической истории Центрально-Арктическая область рассматривается как глубокопогруженная часть континентальной

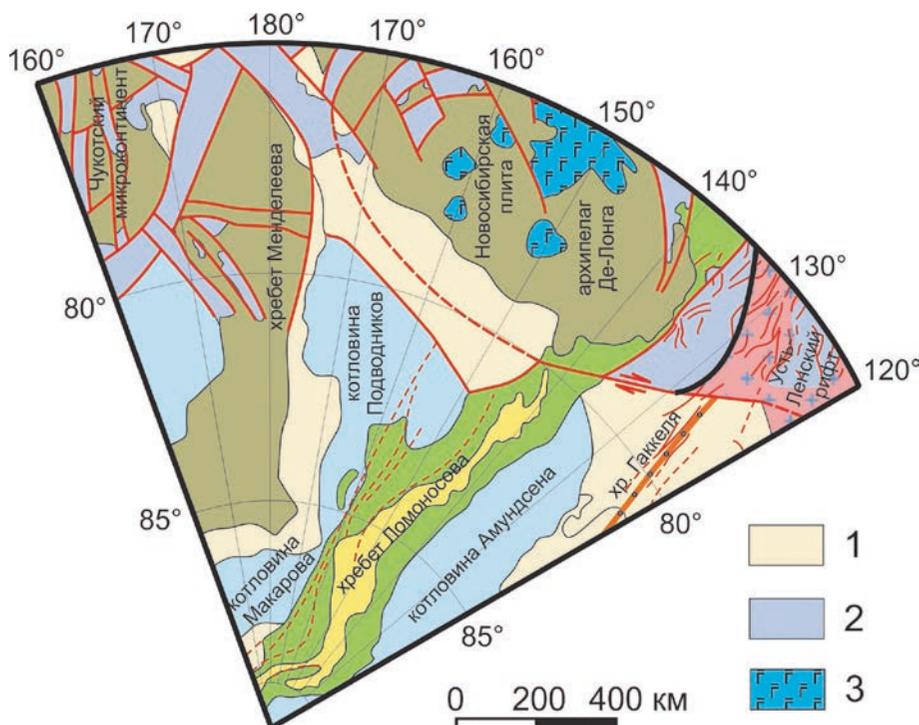


Рис. 1. Основные структуры Центрально-Арктической области поднятий и котловин [1; 2]:
 1 – современный континентальный склон и его подножие;
 2 – рифтогенные и синдвиговые бассейны мел-кайнозойского возраста в пределах шельфа;
 3 – базальтоиды внутриплитного типа

окраины Евразии, сохраняющая связь со структурами шельфа, а также прилегающей островной и материковой суши [3—5 и др.]. Намечены сквозные субмеридиональные структурные зоны, прослеживающиеся в направлении шельф — океан. Такая закономерность очевидна для структур хребта Ломоносова, вытянутого на 1600 км от континентальной окраины Евразии до острова Элсмир Канадского архипелага. На шельфе хребет продолжают образованные горстами острова Новосибирского архипелага: Котельный, Бельковский, Столбовой. Поперечные профили на шельфе через эти острова и в океане через хребет Ломоносова практически аналогичны и составляют единую структурную зону [5]. В других районах такая особенность структурного рисунка не всегда выдерживается. Например, на востоке области субмеридиональные структуры океана сменяются на шельфе преимущественно субширотными, представленными двумя крупными осадочными бассейнами на севере и юге Чукотского моря.

Описанное в геологической литературе разнообразие сейсмостратиграфических моделей осадочного чехла, датирующегося, как и на шельфе, апт-кайнозоем, существенно сократилось после бурения пяти скважин по проекту АСЕХ в гребневой части хребта Ломоносова [6]. Палеонтологические и палинологические материалы по вскрытому разрезу были проанализированы российскими исследователями

[7; 8], которые на базе полученных данных внесли уточнения в известные модели.

Анализируя материалы исследований, ссылки на которые приведены в подписи к рис. 2, авторы приняли за основу сейсмостратиграфическую модель П. В. Реканта и Е. А. Гусева [9] с небольшими изменениями. Согласно этой модели в апт-кайнозойском осадочном чехле выделено пять основных сейсмостратиграфических комплексов (ССК). Снизу разрез начинают апт-альбский ССК-1 и верхнемеловой ССК-2, залегающие с размывом на акустическом фундаменте, от которого их отделяет отражающая граница A_{ϕ} . Во впадинах и на хребтах меловые толщи заполняют нижнюю часть грабенов, в осевых частях которых общая мощность мела достигает до 1500—2000 м, на выступах фундамента она варьирует от 0 до 100 м (см. рис. 2). Комплексы сложены терригенными разностями, среди которых значительную роль играют гравийные отложения, особенно распространенные в апт-альбском комплексе. Большая мощность мелового чехла обусловлена интенсивной эрозией периодически выходивших на дневную поверхность хребтов Ломоносова и Менделеева, служивших источниками сноса кластического материала в грабенообразные прогибы.

ССК-3, датированный верхним палеоцен-эоценом, выделяется на фоне остальных терригенных комплексов присутствием в породах биокремнистого материала. Отложения трех нижних ССК

ЭРА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ	Сводный разрез	Котловина Амундсена	хр. Ломоносова (гребневая часть)	Котловина Подводников	Поднятие Менделеева				
КАЙНОЗОЙСКАЯ	ЧЕТВЕРТИЧНАЯ	ГОЛОЦЕН	Океанические отложения	А - 5 $V = 1,7-1,9$ км/с $H \sim 280$ м	ПК	ПК	ПК				
		ПЛЕЙСТОЦЕН						ХЛ - 5 $V = 1,5-1,8$ км/с $H = 75$ м	П - 5 $V = 1,7-1,9$ км/с	ПМ - 5 $V = 1,6-1,8$ км/с	
	НЕОГЕНОВАЯ	ПЛИОЦЕН						А - 4 $V = 2,2-2,4$ км/с $H \sim 500$ м	ХЛ - 4 $V = 2,0-2,2$ км/с $H = 330$ м	П - 4 $V = 2,1-2,4$ км/с	ПМ - 4 $V = 2,0-2,2$ км/с
		МИОЦЕН							МК1	МК1	МК1
	ПАЛЕОГЕНОВАЯ	ОЛИГОЦЕН						А - 3 $V = 2,8-3,5$ км/с $H \sim 2000$ м			
ЭОЦЕН		Мелководно-морские отложения	А - 2 $V = 4,0-4,5$ км/с $H \sim 1500$ м	МК2-МК3	МК2-МК3	МК2-МК3	МК2-МК3				
ПАЛЕОЦЕН	ХЛ - 2 $V = 4,0-4,6$ км/с							П - 2 $V = 3,9-4,6$ км/с	ПМ - 2 $V = 4,0-4,7$ км/с		
МЕЗОЗОЙСКАЯ	МЕЛОВАЯ	ВЕРХНИЙ	ССК-2-Г	ХЛ - 1 $V = 4,7-5,2$ км/с	МК4-МК5	П - 1 $V = 4,6-5,3$ км/с	ПМ - 1 $V = 5,0-5,4$ км/с				
		НИЖНИЙ	ССК-1-Аф								

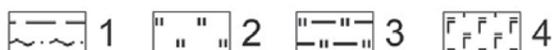


Рис. 2. Сейсмостратиграфические комплексы [4; 9; 7; 10; 11; 12] и шкалы катагенеза органического вещества (ОВ) осадочного чехла. Отложения: 1 – терригенные, 2 – диатомиты, 3 – кремнистые глины, 4 – базальтоиды и вулканические туфы; сокращения: Н – мощность отложений, V – пластовая сейсмическая скорость, А и Аф – отражающие горизонты

образовались в мелководно-морских и прибрежно-морских условиях.

Два верхних ССК-4 (верхний олигоцен — нижний миоцен) и ССК-5 (верхний миоцен — квартер) слагают слоистую горизонтально залегающую толщу слабо литифицированных терригенных осадков, накопившихся в пелагической обстановке. От остального разреза их отделяет региональная сейсмическая граница. На хребтах Ломоносова и Менделеева она связана с угловым несогласием. В осадочном чехле впадин предположительно ей соответствует сейсмическая граница А, возникновение которой связывается с резкой сменой палеогеографических условий осадконакопления после открытия пролива Фрама, соединившего Арктический бассейн с Атлантикой.

ССК кайнозойского чехла котловины Подводников продолжают на поднятие Менделеева с уменьшенной мощностью (до 1000 м). По сейсмическим и магнитометрическим данным под осадочным чехлом этой котловины и поднятия Менделеева лежат покровы базальтов валанжин-барремского возраста. В котловине вулканогенно-осадочные толщи занимают весьма обширные площади и имеют мощность на ее бортах около 500, а в центральной части до 1500—2000 м [5]. Возраст пород извлеченного при бурении керна и образцов базальтоидов, отобранных из эскарпов поднятия Менделеева, свидетельствует о нескольких вулканических импульсах, которые возникали на протяжении поздней перми — триаса и практически всего мела [13; 4]. Кайнозойские базальты островов Жохова, Вилькицкого, Генриетты и Жаннетты архипелага Де-Лонга позволяют

ожидать вулканические проявления того же возраста на поднятии Менделеева.

Предпосылки нефтегазоносности

Для выявления возможной нефтегазоносности высокоширотной глубоководной Арктики необходимо дать прогноз литологического состава и мощности сейсмостратиграфических комплексов, типов и уровня зрелости содержащегося в них ОВ. При решении этой задачи кроме известных интерпретаций сейсмических профилей, подкрепленных данными подводного бурения и результатами изучения образцов донных пород, авторы дополнительно опирались на свои и зарубежные оценки перспектив нефтегазоносности шельфов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского [14—18].

Нефтегазоматеринские свойства отложений сейсмостратиграфических комплексов можно предположительно оценить на базе конкретных данных, которые получены при изучении разрезов, вскрытых бурением по проекту АСЕХ на хребте Ломоносова [6]. Здесь на фоне терригенного разреза выделяется верхнепалеоцен-эоценовый ССК-3, в литологическом составе которого значительную роль играет биокремнистый материал. Данный комплекс состоит из двух пачек. Нижняя (верхний палеоцен — нижний эоцен) сложена плотной черно-серой глиной с вкраплениями пирита и кремнистых микрофоссилий (силикофлагеллаты, радиолярии и диатомеи). Верхняя (средний-верхний эоцен) образована темно-серым тонкослоистым и косослоистым диатомовым илом с мелкими пиритовыми линзами.

Содержания $C_{\text{орг}}$ в ССК-3 наиболее часто варьируют в диапазоне 3,6—5,7%, достигая максимального значения 14,5% в верхнем слое с косослоистой текстурой. В других кайнозойских ССК содержание $C_{\text{орг}}$ составляет 0,3—0,6%, в кампанских породах ССК-2 оно возрастает до 1% [6; 7]. На особенности состава ССК-3, вероятно, повлияли вулканические извержения, которые обычно способствуют поступлению в фотический слой морей необходимых для питания планктона веществ и возникновению аноксических обстановок в придонных водах [19]. В подобных условиях биопродуктивность планктона увеличивается, а вместе с ней растут и массы фоссилизовавшегося в восстановительной среде ОВ. Это приводит к формированию нефтематеринских толщ хорошего и высокого качества.

В позднепалеоцен-эоценовом разрезе хребта Ломоносова выделяется термальный максимум, который подтверждается результатами изучения глинистой фракции. В. В. Крупная с коллегами [20] установили слои углеродисто-кремнисто-глинистых отложений со значительными содержаниями (40—60%) монтмориллонита, в образовании которого участвовал пепловый материал. Снижение содержания монтмориллонита до 0—10% и уменьшение количества слоев и прослоев углеродистых отложений в конце эоцена (44—45 млн лет) объясняются началом похолодания и появлением первых сезонных льдов.

Углеродисто-кремнисто-глинистые толщи эоцена с тончайшими прослоями, а иногда и слоями сапропелита, содержащего повышенные концентрации ОВ II и II/III типов (до 25%), встречены не только на хребте Ломоносова, но также на некоторых островах Новосибирского архипелага, острове Айон и в бассейне Бофорт-Маккензи. Эти нефтематеринские отложения могут иметь широкое распространение в Арктике, как и в других регионах мира, где их образование связывается с глобальным аноксическим событием эоценового времени [21].

В Арктической нефтяной провинции Америки, в состав которой входят бассейн Северного склона Аляски и прилегающие к нему шельфы полярных морей, качественные нефтегазоматеринские формации нижнего мела Купарук и Хью служили углеводородными источниками месторождений поднятия Барроу полуострова Аляска и месторождения Бергер на Чукотском шельфе. Верхнемеловые нефтегазоматеринские формации Смокинг Хиллс и Баундэри Крик известны в бассейне Бофорт-Маккензи. По аналогии с этими нефтегазоматеринскими толщами авторы предполагают присутствие таковых и в мелу Центрально-Арктической области.

Также нельзя не учитывать генерационные возможности акустического фундамента, образованного палеозой-юрскими породами элсмирского и бофортского комплексов, которые служили генераторами УВ для многих месторождений Арктической нефтяной провинции Америки. Из отложений того

же возраста на отдельных слабо дислоцированных участках Новосибирско-Чукотской области, являющейся фундаментом потенциально нефтегазоносных шельфовых бассейнов Восточно-Сибирского и Чукотского морей, в осадочный чехол мигрировали углеводородные газы [22]. Обогащенные ОВ пачки аргиллитов и глинистых известняков палеозой-мезозойского разреза наземной части Новосибирско-Чукотской складчатой области в прошлом обладали хорошими нефтегазоматеринскими свойствами. Продукты генерации этих толщ, вероятно, частично сохранились в виде небольших скоплений битумов и газа. На современном этапе по трещинам разломных зон в осадочный чехол шельфа происходит миграция газов, наиболее активно возникающая в местах неглубокого залегания фундамента на склонах бассейнов и их внутренних поднятий [16; 17].

Характеризуя качество нефтегазоматеринских толщ Центрально-Арктической области, приходится иметь в виду нежелательную возможность низких содержаний $C_{\text{орг}}$ в кремнистых и кремнисто-глинистых отложениях. Таким примером с негативным влиянием на нефтегазообразование служат ирбитская (эоцен) и славгородская (кампан) свиты эпиконтинентального Западно-Сибирского бассейна. В их белесых диатомитах, диатомовых и опоковидных глинах содержания $C_{\text{орг}}$ составляют десятые и сотые доли процента, что обусловлено большими редуцированными потерями исходного ОВ в слабостановительной среде придонных вод. Отложения эоцена и кампана никакого влияния на нефтегазоносность Западно-Сибирского бассейна не оказали.

Степень зрелости ОВ является не менее важной предпосылкой нефтегазообразования. До проведения буровых работ ее можно прогнозировать только по геофизическим данным. Д. В. Лазуркин [23], изучавший совместно с А. В. Павловым геологические и сейсмические материалы нефтегазоносных бассейнов арктического шельфа, предложил метод выделения зон катагенеза по пластовым сейсмическим скоростям ($V_{\text{пл}}$) в осадочном чехле. Между катагенезом и пластовой скоростью были определены соотношения, позволившие разграничить стадии прото- и мезокатагенеза (3,3 км/с), мезо- и апокатагенеза (5,5 км/с). В настоящее время $V_{\text{пл}}$ является практически единственным пригодным показателем для приблизительного определения степени зрелости ОВ (см. рис. 2).

В олигоцен-плиоценовых ССК-5, ССК-4 и средневерхнеэоценовой части ССК-3 Центрально-Арктической области пластовые скорости изменяются в основном в пределах от 1,5 до 3,3 км/с, что согласно методу Лазуркина соответствует протокатагенезу (ПК). В котловинах нижняя граница ПК распространяется на глубину до 1,8 км от дна океана, а на разделяющих их поднятиях, где мощности кайнозоя много меньше, она не опускается ниже 1 км. В верхнепалеоцен-нижнеэоценовой части ССК-3 с $V_{\text{пл}}$, варьирующей в интервале

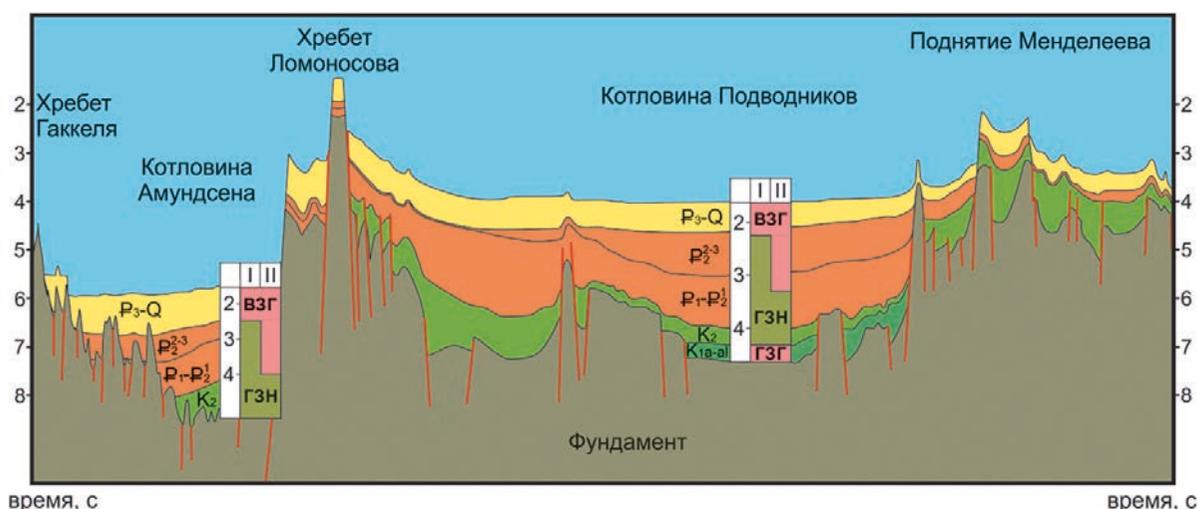


Рис. 3. Сейсмостратиграфический профиль по линии котловина Амурдсена – хребет Ломоносова – котловина Подводников – поднятие Менделеева [8] и зональность нефтегазообразования, сформированная по двум возможным сценариям: I – оптимистическому, II – пессимистическому; $V_{пл}$ – пластовая сейсмическая скорость

3,3—3,7 км/с, преобразования ОВ приблизительно отвечают раннему мезокатагенезу ($МК_1$). В верхнемеловом ССК-2, где $V_{пл}$ изменяется в пределах от 3,9 до 4,6 км/с, градации катагенеза ОВ находятся в диапазоне $МК_2$ — $МК_3$ с нижней границей, приближающейся к глубине 3,8 км от дна океана. В апт-альбском ССК-1 катагенетическая преобразованность ОВ (4,6—5,3 км/с) соответствует заключительным грациям мезокатагенеза ($МК_4$ — $МК_5$). Разрывы в значениях пластовых скоростей, особенно значительные на поднятиях, отражают катагенетические несогласия, обусловленные перерывами и размывами отложений. Границы зон катагенеза ОВ в котловинах Центрально-Арктической области находятся примерно на тех же глубинах, что и в осадочных бассейнах Восточно-Сибирского моря [17] и Канадской котловины [24]. Сходство шкал катагенеза во многих бассейнах всего Восточно-Арктического региона согласуется с результатами поверхностных измерений теплового потока. Здесь средние значения результатов 20 измерений, скорректированных на эффект седиментации и топографии, варьируют от 57 ± 4 МВт/м² ($n = 4$) до 57 ± 10 МВт/м² ($n = 16$). Авторы приведенных замеров [24] интерпретируют их как свидетельство термически равновесного состояния континентальной литосферы, претерпевшей последние термо-тектонические воздействия в мелу — раннем кайнозое. Фоновый поток под хребтом Менделеева возрастает и достигает 80 МВт/м². М. Д. Хуторской с соавторами [26] объясняют это явление различием теплопроводности неконсолидированных осадков котловин и складчатых комплексов хребта.

Способность осадочного чехла генерировать жидкие углеводороды определяется концентрацией липидного катагенетически зрелого ОВ в породах. Как было показано ранее, в преимущественно

терригенном апт-кайнозойском разрезе по литологии выделяется верхнепалеоцен-эоценовый ССК-3 с пачками и слоями тонкослоистых углеродисто-кремнисто-глинистых отложений темно-серого и черного цвета. В этом комплексе присутствуют особенно качественные нефтематеринские отложения с ОВ II и II/III типов на грациях $ПК_3$ — $МК_1$. Характеризуя углеводородный потенциал этого комплекса, авторы учитывали результаты исследований О. К. Баженовой [27], детально изучившей аналогичные отложения кайнозойских бассейнов северо-запада Тихоокеанского пояса. Этим исследователем расширен диапазон нефтеносности углеродистых кремнистых и кремнисто-глинистых толщ за счет протокатагенетического нефтегазообразования диатомового источника ОВ. Под действием мягкого термолитиза в его смолисто-асфальтеновых компонентах и низкоконденсированных структурах разрушались мостиковые связи, что в конечном счете приводило к формированию незрелых нефтеносных часто тяжелых нефтей. Такие возможности не следует исключать и для нефтематеринских образований ССК-3. ОВ верхнемелового ССК-2 по степени преобразованности соответствует грациям $МК_2$ — $МК_3$.

Вероятно, в котловинах верхнемеловые и верхнепалеоцен-эоценовые отложения, залегающие в диапазоне глубин 1,0—3,8 км от дна океана, представляют основной углеводородный источник чехла, соответствующий главной зоне нефтеобразования (ГЗН) (рис. 3). На поднятиях, где из разреза выпадает большая часть палеогеновых отложений и ГЗН практически отсутствует, преобладает газообразование. При прогнозировании нельзя упускать из вида еще одну важную особенность ССК-3, состоящую в том, что углеродистые диатомиты могут обладать свойствами порового коллектора с аутигенной

нефтеносностью, способной обеспечить промышленные скопления [28].

Очевидно, фазовое состояние углеводородов и объемы их ресурсов в Центрально-Арктической области в значительной степени зависят от генерационного потенциала верхнепалеоцен-эоценового ССК-3 и верхнемелового ССК-2, определивших направление и масштабность нефтегазообразования, которое могло идти по двум сценариям. Первый, оптимистический, развивался при значительной распространенности в этих комплексах обогащенных аквагенным ОВ горизонтов, которые встречаются в интервале разреза 1,0—3,8 км, соответствующем ГЗН. Второй, пессимистический, действовал при уменьшении роли таких горизонтов вследствие больших диагенетических потерь и преобразований ОВ в слабовосстановительных условиях мелководного бассейна. Это приводило к снижению активности ГЗН и сокращению ее мощности, ограниченной интервалом 1,8—3,8 км. Очаги генерации углеводородов локализованы в депоцентрах котловин и небольших впадин подножий склонов хребтов, где мощности ССК-3 и ССК-2 достигают максимальных значений. При первом сценарии в углеводородных ресурсах региона может играть значительную роль нефтяная фаза, при втором — газовая.

Потенциально нефтегазоносные объекты выделены на участках с благоприятным для генерации и аккумуляции УВ сочетанием структурного и вещественного факторов. Интерпретируя сейсмический профиль через котловину Амундсена — хребет Ломоносова — котловину Подводников — поднятие Менделеева (см. рис. 3), Ю. Б. Казмин с коллегами [13] отмечают ненарушенность апт-кайнозойского осадочного чехла впадин, в которых отсутствуют структуры и другие признаки сжатия в кайнозое. Близкие особенности наблюдаются в расположенной севернее впадине Макарова. Геотермические данные также подтверждают отсутствие тектонической активности в районе котловин [26]. В качестве потенциально нефтегазоносных объектов прогнозируются участки, прилегающие к выступам фундамента в меловых и кайнозойских отложениях. Такие особенности структуры характерны для котловины Амундсена. Благоприятные структурные условия выявлены на периферии котловины Подводников, где ее ограждают высокие выступы фундамента от относительно небольших впадин в подножии склонов хребтов Ломоносова и Менделеева (см. рис. 3). На отмеченных участках предположительно формировались литолого-стратиграфические ловушки в зоне выклинивания коллекторских горизонтов верхнего мела-эоцена. Антиклинальные ловушки также могли образоваться на вершине облакаемых неогеновыми осадками выступов. Такое расположение аккумуляющих емкостей позволяет принимать миграционные потоки углеводородов из очагов генерации, локализованных как в крупной котловине, так и в небольших впадинах подножия склонов хребтов.

Кайнозойские отложения, характеризующиеся низкими пластовыми скоростями (1,8—3,3 км/с), обладают хорошими фильтрационно-емкостными свойствами, а кремнисто-глинистые породы эоцена могут служить не только углеводородным источником, но и быть хорошим поровым коллектором.

Разделяя мнение предшественников о возможной нефтегазоносности Центрально-Арктической области, авторы пришли к заключению, что выделенные объекты могут рассматриваться как наиболее перспективные для постановки поисково-разведочных работ. Однако их проведение здесь не является задачей сегодняшнего дня. Этому не способствуют тяжелые климатические условия со сложной ледовой обстановкой, большие глубины океанского дна (до 3,5—4,0 км), невысокий уровень технологических возможностей и большая отдаленность от материка. Необходимо уже сейчас готовиться к решению поставленной задачи по освоению не только шельфа, но и глубоководья Арктики, чтобы через несколько десятилетий ситуация изменилась в лучшую сторону и будущие поколения с наименьшими затратами и без нанесения вреда природе смогли воспользоваться углеводородными ресурсами и глубоководной части Северного Ледовитого океана.

Литература

- Хаин В. Е., Полякова И. Д., Филатова Н. И. Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики // Геология и геофизика. — 2009. — Т. 50, № 4. — С. 443—460.
- Верниковский В. А., Добрецов Н. Л., Метелкин Д. В. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54, № 8. — С. 1083—1107.
- Лаверов Н. П., Лобновский Л. И., Кононов М. В. и др. Геодинамическая модель тектонического развития Арктики в мезозое и кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России // Геотектоника. — 2013. — № 1. — С. 1—32.
- Морозов А. Ф., Шкатов М. Ю., Корнеев О. Ю., Кашибин С. Н. Комплексная геолого-геофизическая экспедиция «Арктика-2012» по обоснованию континентальной природы поднятия Менделеева в Северном Ледовитом океане // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 3. — С. 22—27.
- Виноградов В. А., Гусев Е. А., Рекант П. В., Пяткова М. Н. Особенности формирования осадочного чехла Таймырско-Аляскинской области Арктики (с позиций структурных связей в системе шельфо-океан) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2016. — Т. 11, № 1. — URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/10_2016.pdf.
- Backman J., Jakobsson M., Frank M. et al. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // Paleooceanography. — 2006. — Vol. 23, № 1.
- Ким Б. И., Глезер З. И. Осадочный чехол хребта Ломоносова (стратиграфия, история формирования чехла и структуры, возрастные датировки

- сейсмокомплексов) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2007. — Т. 15, № 4. — С. 63—83.
8. *Деревянко Л. Г., Гусев Е. А., Крылов А. А.* Палинологическая характеристика меловых отложений хребта Ломоносова // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2009. — № 2 (82). — С. 78—84.
9. *Рекант П. В., Гусев Е. А.* Сейсмогеологическая модель строения осадочного чехла Прилаптевоморской части хр. Ломоносова и прилегающих частей глубоководных котловин Амундсена и Подводников // Геология и геофизика. — 2012. — Т. 53. — № 11. — С. 1497—1512.
10. *Поселов В. А., Буценко В. В., Вербя В. В.* Поднятия Американо-Сибирского суббассейна в Северном Ледовитом океане и их возможные аналоги в Атлантическом океане // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / Под. ред. В. Л. Иванова. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. — С. 275—288.
11. *Черных А. А., Крылов А. А.* Седиментогенез в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения на хребте Ломоносова // ДАН. — 2011. — Т. 440, № 4. — С. 516—520.
12. *Артюшков Е. В., Чехович П. А.* Глубоководные осадочные бассейны в акватории российской Арктики: механизмы образования, перспективы нефтегазоносности, обоснование принадлежности к континентальному шельфу // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 2 (18). — С. 26—34.
13. *Казмин Ю. Б., Лобковский Л. И., Кононов М. В.* Геодинамическая модель развития Американо-Сибирского бассейна Арктики (к обоснованию принадлежности хребта Ломоносова, поднятия Менделеева и котловины Подводников к Российской материковой окраине) // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 4 (16). — С. 14—27.
14. *Богоявленский В. И., Полякова И. Д., Будагова Т. А. и др.* Геолого-геофизические исследования нефтегазоносности акваторий Циркумарктического сегмента Земли // Геология нефти и газа. — 2011. — № 6. — С. 45—58.
15. *Полякова И. Д., Борукаев Г. Ч., Сидоренко Св. А.* Перспективы нефтегазоносности шельфовых бассейнов Чукотского моря (российский сектор) // Геология нефти и газа. — 2016. — № 1. — С. 16—28.
16. *Полякова И. Д., Борукаев Г. Ч., Сидоренко Св. А.* УВ-потенциал рифейско-нижнемеловых комплексов Лаптевоморского региона // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 1 (21). — С. 56—65.
17. *Полякова И. Д., Борукаев Г. Ч., Сидоренко Св. А.* Потенциальная нефтегазоносность Восточно-Сибирского моря // Геология нефти и газа. — 2017. — № 1.
18. *Craig J. D., Sherwood K. W.* Economic study of the Burger gas discovery, Chukchi shelf, Northwest Alaska, 2004. — URL: <http://www.mms.gov/alaska/re/reports/rereport.htm>.
19. *Лисицын А. П.* Вклад эндогенного вещества в океанскую седиментацию // Литология на новом этапе развития геологических знаний. — М.: Наука, 1981. — С. 20—45.
20. *Крупная В. В., Крылов А. А., Соколов В. Н.* Глинистые минералы как индикаторы условий осадконакопления на рубеже мел-палеоцен-эоцен на хребте Ломоносова (Северный Ледовитый океан) // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2011. — № 2 (88). — С. 23—35.
21. *Хаин В. Е., Полякова И. Д.* Углеродистые металлоносные отложения и события океанской аноксии в фанерозойской истории Земли // Океанология. — 2012. — Т. 52, № 2. — С. 423—436.
22. *Гресов А. И., Обжиров А. И., Яцук А. В.* Газоносность донных осадков и геохимические признаки нефтегазоносности шельфа Восточно-Сибирского моря // Тихоокеан. геология. — 2017. — № 2.
23. *Лазуркин Д. В.* Новый метод выделения зон протокатагенеза, мезокатагенеза и апокатагенеза по пластовым сейсмическим скоростям в терригенном осадочном чехле // ДАН. — 2011. — Т. 437. — С. 212—214.
24. *Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Никитин Р. А., Шустер В. Л.* Перспективы нефтегазоносности Канадской глубоководной котловины и сопредельных акваторий Северного Ледовитого океана // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 61—69.
25. *O'Regan M., Preto P., Stranne Ch., Koshurnikov A.* Surface heat flow measurements from the East Siberian continental slope and southern Lomonosov Ridge, Arctic Ocean // Geochemistry Geophysics Geosystems. — 2016. — 17 (5).
26. *Хуторской М. Д., Подгорных Л. В., Леонов Ю. Г. и др.* Геотермия Арктического бассейна: проблемы и решения // Геология полярных областей Земли: Материалы XLII Тектонического совещания. — Т. 2. — [Б. м.], 2009. — С. 275—279.
27. *Баженова О. К.* Аутигенная нефтеносность — свойство глинисто-кремнистых толщ // Геология и геохимия горючих ископаемых. — М.: ВНИИЗарубежгеология, 1995. — С. 129—135.

Информация об авторах

Богоявленский Игорь Васильевич, научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), e-mail: igorbogoyavlenskiy@gmail.com.

Борукаев Георгий Черменович, кандидат геолого-минералогических наук (Россия, Москва), e-mail: gborukaev@mail.ru.

Полякова Инна Даниловна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН (11907, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7), e-mail: borukaeva@yandex.ru.

Сидоренко Светлана Александровна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), e-mail: sidorenko@ipng.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Полякова И. Д., Борукаев Г. Ч., Богоявленский В. И., Сидоренко Св. А. Центрально-Арктическая область Северного Ледовитого океана: сейсмостратиграфия и предпосылки нефтегазоносности // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 98—107. — DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-98-107.

THE CENTRAL AREA OF THE ARCTIC OCEAN: SEISMOSTRATIGRAPHY AND BACKGROUND OF OIL AND GAS

Polyakova I. D.

Geological Institute of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Borukaev G. Ch. (Moscow, Russian Federation)

Bogoyavlenskiy I. V., Sidorenko Sv. A.

Oil and gas research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Abstract

The main tectonic elements of the Central Arctic Region are the Lomonosov Ridge and the Mendeleev Uplift, separated by the Podvodnikov and Makarov basins, from West to the adjacent Lomonosov Ridge Amundsen basin. In the Aptian-Cenozoic sedimentary cover of the region five seismostratigraphic complexes are distinguished, for which types and thermal maturity of the organic matter have been reconstructed. The reconstruction is based on seismic profiling data, underwater drilling, study of samples seafloor rocks, seismic velocities analysis and oil and gas prospects assessment of neighboring Arctic shelves.

In the predominantly terrigenous section of the cover, there is a seismostratigraphic complex of the Upper Paleocene-Eocene with significant role of biochemistry material in its lithological composition. Carbonaceous-siliceous and carbonaceous-siliceous-clayey horizons with marine organic matter, relevant protocatagenesis-early mesocatagenesis, are distributed in this complex. Structural features of organic matter, inherited from the diatom source, suggest to the generation of immature naphthenic oils.

Deposits of the Upper Cretaceous and Upper Paleocene-Eocene complexes containing organic matter on gradations of lateprotocatagenesis-mesocatagenesis fall into the zone of the oil window. With a considerable prevalence of carbonaceous-siliceous-clayey horizons in the Upper Paleocene-Eocene this zone covers a depth interval of 1.0-3.8 km, with their rare occurrence or absence in the interval 1.8-3.8 km. Hydrocarbon kitchens are localized in depocentre of the basins and the foots of the slopes of the uplifts with maximum thickness of the Upper Cretaceous-Eocene sediments. In the first case there are hydrocarbons mainly in the oil phase, in the second – the gas phase.

Potentially oil and gas bearing sites are projected in areas adjacent to the major basement highs, separating the Amundsen, Podvodnikov and Makarov basins from small depressions at the foot of the slopes of the Lomonosov Ridge and the Mendeleev Rise. Lithological and stratigraphic traps are predicted in the marked areas in the places, where the collector horizons of the Upper Cretaceous-Eocene are wedged out. Anticline traps could form at the tops of the highs, covered with Neogene sediments. Such an arrangement of accumulating beds favors the appearance of migratory flows of hydrocarbons from generating sites localized both in the basins and in the uplift slopes. Cenozoic granular reservoirs have good porosity and permeability, and carbon Eocene diatomites can be not only qualitative source rocks, but also possess the properties of a porous authigenic oil reservoir.

Keywords: *oil source horizons, thermal maturity of organic matter, potential oil and gas bearing sites, deep-sea Arctic.*

References

1. Hain V. E., Polyakova I. D., Filatova N. I. Tektonika i neftegazonosnost Vostochnoy Arktiki. [Tectonics and oil and gas content of the Eastern Arctic]. *Geologiya i geofizika*, 2009, vol. 50, no. 4, pp. 443—460. (In Russian).
2. Vernikovskiy V. A., Dobretsov N. L., Metelkin D. V. Problemy tektoniki i tektonicheskoy evolyutsii Arktiki. [Problems of tectonics and tectonic evolution of the Arctic]. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 1083—1107. (In Russian).

3. Laverov N. P., Lobkovskiy L. I., Kononov M. V. et al. Geodinamicheskaya model tektonicheskogo razvitiya Arktiki v mezozoe i kaynozoe i problema vneshney granitsy kontinentalnogo shelfa Rossii. [Geodynamic model of tectonic development of the Arctic in the Mesozoic and Cenozoic and the problem of the outer boundary of the continental shelf of Russia]. *Geotektonika*, 2013, no. 1, pp. 1—32. (In Russian).
4. Morozov A. F., Shkatov M. Yu., Korneev O. Yu., Kashubin S. N. Kompleksnaya geologo-geofizicheskaya ekspeditsiya “Arktika-2012” po obosnovaniyu kontinentalnoy prirody podnyatiya Mendeleeva v Severnom Ledovitom okeane. [Integrated geological and geophysical expedition “Arctic 2012” to substantiate the continental nature of Mendeleevs uplift in the Arctic Ocean]. *Razvedka i okhrana neдр*, 2014, no. 3, pp. 22—27. (In Russian).
5. Vinogradov V. A., Gusev E. A., Rekant P. V., Pyatkova M. N. Osobennosti formirovaniya osadochnogo chehla Taymyrsko-Alyaskinskoy oblasti Arktiki (s pozitsiy strukturnykh svyazey v sisteme shelf-ocean) [Features of the formation of the sedimentary cover of the Taimyr-Alaska region of the Arctic (from the standpoint of structural relationships in the shelf-ocean system)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2016, vol. 11, no. 1. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/10_2016.pdf. (In Russian).
6. Backman J., Jakobsson M., Frank M. et al. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge. *Paleoceanography*, 2006, vol. 23, no. 1.
7. Kim B. I., Glezer Z. I. Osadochnyy chehol hrebta Lomonosova (stratigrafiya, istoriya formirovaniya chehla i struktury, vozrastnye datirovki seismokompleksov). [Sedimentary cover of the Lomonosov Ridge (stratigraphy, the history of the formation of the cover and structure, age dating of seismic complexes)]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2007, vol. 15, no. 4, pp. 63—83. (In Russian).
8. Derevyanko L. G., Gusev E. A., Krylov A. A. Palinologicheskaya harakteristika melovykh otlozheniy hrebta Lomonosova. [Palynological Characteristics of Cretaceous Deposits of the Lomonosov Ridge]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2009, no. 2 (82), pp. 78—84. (In Russian).
9. Rekant P. V., Gusev E. A. Seismogeologicheskaya model stroeniya osadochnogo chehla Prilaptevomorskoy chasti hr. Lomonosova i prilgayuschih chastey glubokovodnykh kotlovin Amundsena i Podvodnikov. [Seismogeological model of the structure of the sedimentary cover of the Prilaptev Sea part. Lomonosov and adjacent parts of the deep basins of Amundsen and Podvodnikov]. *Geologiya i geofizika*, 2012, vol. 53, no. 11, pp. 1497—1512. (In Russian).
10. Poselov V. A., Butsenko V. V., Verba V. V. Podnyatiya Ameraziyskogo subbasseyna v Severnom Ledovitom okeane i ih vozmozhnye analogi v Atlanticheskoy okeane. [The rise of the Amerasian sub-basin in the Arctic Ocean and their possible counterparts in the Atlantic Ocean]. 60 let v Arktike, Antarktike i Mirovom okeane. Ed. by V. L. Ivanov. St. Petersburg, VNIIOkeanogeologiya, 2008, pp. 275—288. (In Russian).
11. Chernyh A. A., Krylov A. A. Sedimentogenez v kotlovine Amundsena v svete geofizicheskikh dannykh i materialov bureniya na hrebte Lomonosova. [Sedimentogenesis in the Amundsen Basin in the Light of Geophysical Data and Drilling Materials on the Lomonosov Ridge]. *DAN*, 2011, vol. 440, no. 4, pp. 516—520. (In Russian).
12. Artyushkov E. V., Chehovich P. A. Glubokovodnye osadochnye basseyny v akvatorii rossiyskoy Arktiki: mehanizmy obrazovaniya, perspektivy neftegazonosnosti, obosnovanie prinadlezhnosti k kontinentalnomu shelfu. [Deep-water sedimentary basins in the water area of the Russian Arctic: the mechanisms of formation, the prospects of oil and gas bearing, the substantiation of belonging to the continental shelf]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 2 (18), pp. 26—34. (In Russian).
13. Kazmin Yu. B., Lobkovskiy L. I., Kononov M. V. Geodinamicheskaya model razvitiya Ameraziyskogo basseyna Arktiki (k obosnovaniyu prinadlezhnosti hrebta Lomonosova, podnyatiya Mendeleeva i kotlovin Podvodnikov k Rossiyskoy materikovoy okraine). [Geodynamic model of the development of the Amerasian basin of the Arctic (to the justification for the Lomonosov Ridge, the Mendeleev Rise and the Podvodnik Basin to the Russian Mainland)]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2014, no. 4 (16), pp. 14—27. (In Russian).
14. Bogoyavlenskiy V. I., Polyakova I. D., Budagova T. A. et al. Geologo-geofizicheskie issledovaniya neftegazonosnosti akvatoriy Tsirkumarkticheskogo segmenta Zemli. [Geological and geophysical studies of oil and gas potential of offshore areas of circumarctic segment of the Earth]. *Geologiya nefti i gaza*, 2011, no. 6, pp. 45—58. (In Russian).
15. Polyakova I. D., Borukaev G. Ch., Sidorenko Sv. A. Perspektivy neftegazonosnosti shelfovykh basseynov Chukotskogo morya (rossiyskiy sektor). [Prospects of oil and gas content of the shelf basins of the Chukchi Sea (Russian sector)]. *Geologiya nefti i gaza*, 2016, no. 1, pp. 16—28. (In Russian).
16. Polyakova I. D., Borukaev G. Ch., Sidorenko Sv. A. UV-potentsial rifeysko-nizhnemelovykh kompleksov Laptevomorskogo regiona. [UV potential of the Riphean-Lower Cretaceous complexes of the Laptev Sea region]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no. 1 (21), pp. 56—65. (In Russian).
17. Polyakova I. D., Borukaev G. Ch., Sidorenko Sv. A. Potentsialnaya neftegazonosnost Vostochno-Sibirskogo morya. [Potential oil and gas content of the East Siberian Sea]. *Geologiya nefti i gaza*, 2017, no. 1. (In Russian).
18. Craig J. D., Sherwood K. W. Economic study of the Burger gas discovery, Chukchi shelf, Northwest Alaska, 2004. Available at: <http://www.mms.gov/alaska/re/reports/rereport.htm>.
19. Lisitsyn A. P. Vklad endogennoy veschestva v okeanskuyu sedimentatsiyu // Litologiya na novom etape razvitiya geologicheskikh znaniy. [Contribution of

- endogenous substances to ocean sedimentation]. Moscow, Nauka, 1981, pp. 20—45. (In Russian).
20. Krupskaya V. V., Krylov A. A., Sokolov V. N. Glinistye mineraly kak indikator y usloviy osadkonakopleniya na rubezhe mel-paleotsen-`eotsen na hrebte Lomonosova (Severnyy Ledovityy okean). [Clay minerals as indicators of sedimentation conditions at the boundary of the Cretaceous-Paleocene-Eocene on the Lomonosov Ridge (Arctic Ocean)]. Problemy Arktiki i Antarktiki, 2011, no. 2 (88), pp. 23—35. (In Russian).
21. Hain V. E., Polyakova I. D. Uglerodisty metallonosnye otlozheniya i sobytiya okeanskoj anoksii v fanerozojskoj istorii Zemli. [Carboniferous metalliferous sediments and the events of ocean anoxia in the Phanerozoic history of the Earth]. Okeanologiya, 2012, vol. 52, no. 2, pp. 423—436. (In Russian).
22. Gresov A. I., Obzhurov A. I., Yatsuk A. V. Gazonosnost donnyh osadkov i geohimicheskie priznaki neftegazonosnosti shelfa Vostochno-Sibirskogo morya. [Gas content of bottom sediments and geochemical signs of oil and gas content of the shelf of the East Siberian Sea]. Tihookean. geologiya, 2017, no. 2. (In Russian).
23. Lazurkin D. V. Novyy metod vydeleniya zon protokatageneza, mezokatageneza i apokatageneza po plastovym seymicheskim skorostyam v terrigenom osadochnom chehle. [A new method for isolating zones of protocatagenesis, mesocathogenesis, and apocatagenesis from reservoir seismic velocities in a terrigenous sedimentary cover]. DAN, 2011, vol. 437, pp. 212—214. (In Russian).
24. Bogoyavlenskiy V. I., Bogoyavlenskiy I. V., Nikonov R. A., Shuster V. L. Perspektivy neftegazonosnosti Kanadskoy glubokovodnoy kotloviny i sopredelnyh akvatoriy Severnogo Ledovitogo okeana. [Prospects of oil and gas content of the Canadian deep-water basin and adjacent waters of the Arctic Ocean]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no. 4 (20), pp. 61—69. (In Russian).
25. O'Regan M., Preto P., Stranne Ch., Koshurnikov A. Surface heat flow measurements from the East Siberian continental slope and southern Lomonosov Ridge, Arctic Ocean. Geochemistry Geophysics Geosystems. — 2016. — 17 (5).
26. Hutorskoy M. D., Podgornyy L. V., Leonov Yu. G. et al. Geotermiya Arkticheskogo basseyna: problemy i resheniya. [Geothermy of the Arctic Basin: Problems and Solutions]. Geologiya polyarnyh oblastey Zemli: Materialy XLII Tektonicheskogo soveschaniya. Vol. 2, [S. I.], 2009, pp. 275—279. (In Russian).
27. Bazhenova O. K. Autigennaya neftenosnost — svoystvo glinisto-kremnistyh tolsch. [Authigenic oil-bearing property is a property of clay-siliceous strata]. Geologiya i geohimiya goryuchih iskopaemyh. Moscow, VNIIZa-rubezhgeologiya, 1995, pp. 129—135. (In Russian).

Information about the authors

Bogoyavlenskiy Igor Vasilyevich, Researcher, Oil and gas research Institute of the RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), e-mail: igorbogoyavlenskiy@gmail.com.

Borukaev Georgy Chermenovich, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, e-mail: gborukaev@mail.ru.

Polyakova Inna Danilovna, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, Chief researcher, Geological Institute of RAS (7, Pyzhevskii per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: borukaeva@yandex.ru.

Sidorenko Svetlana Aleksandrovna, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, Leading researcher, Oil and gas research Institute of the RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), e-mail: sidorenko@ipng.ru.

Bibliographic description

Polyakova I. D., Borukaev G. Ch., Bogoyavlenskiy I. V., Sidorenko Sv. A. The Central area of the Arctic ocean: seismostratigraphy and background of oil and gas. The Arctic: ecology and economy, 2017, no. 3 (27), pp. 98—107. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-98-107. (In Russian).

© Polyakova I. D., Borukaev G. Ch., Bogoyavlenskiy I. V., Sidorenko Sv. A., 2017