

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2018

УДК 553.98(268.55/.56)

Полякова И.Д.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), Москва, Россия, borukaeva@yandex.ru

Борукаев Г.Ч.

Москва, Россия, gborukaev@mail.ru

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ГЛУБОКОВОДНЫХ И ШЕЛЬФОВЫХ БАССЕЙНОВ РОССИЙСКОЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

В апт-кайнозойском выполнении каждого из осадочных бассейнов акватории Восточной Арктики выделено пять одинаково датированных сейсмостратиграфических комплексов, отражающих связь рифтовых систем восточно-арктических шельфов и глубоководных котловин Центрально-Арктической области. Реконструированы литологический состав и мощности отложений, типы и термическая зрелость органического вещества. В основу реконструкций положены данные сейсмопрофилирования, подводного бурения, изучения образцов донных пород, анализ пластовых сейсмических скоростей и оценки перспектив нефтегазоносности соседних шельфов Арктики.

На современном этапе генерационные и аккумуляционные способности свойственны в основном верхнемеловым и кайнозойским флюидодинамическим системам осадочного чехла. Палеозойско-мезозойские породы акустического фундамента (в случае отсутствия катагенетического несогласия на его границе) служат второстепенным источником углеводородов, поступающих по трещинам разломных зон в осадочный чехол бассейнов. Наиболее перспективными в нефтегазоносном отношении представляются шельфовый Северо-Чукотский и шельфово-склоновый Предвосточносибирский бассейны, продуктивность которых прогнозируется в широком диапазоне, распространяющимся и на большие глубины. На склонах и горстовых поднятиях бассейнов могут быть открыты крупные нефтегазовые и газовые месторождения. Относительно неглубокое залегание нижнемезозойских и верхнепалеозойских образований на южном склоне Северо-Чукотского бассейна делают этот район особенно привлекательным в качестве нефтегазопоискового объекта. В глубоководных бассейнах высокоширотной Арктики потенциально нефтегазоносные объекты предполагаются на участках, примыкающих к крупным выступам фундамента, отделяющим котловины от небольших впадин подножия склонов хребтов Ломоносова и Менделеева.

Ключевые слова: *сейсмостратиграфические комплексы, нефтегазоматеринские и коллекторские толщи, катагенетическая зрелость органического вещества, флюидодинамические системы, очаги нефтегазообразования, потенциально нефтегазоносные объекты, российская Восточная Арктика.*

Предполагается, что в недрах акватории российской восточной Арктики сосредоточены значительные объемы энергетических ресурсов. Изучение шельфа Восточно-Сибирского и Чукотского морей велось с перерывами, начиная с 1952 г. многими организациями, в том числе ПГО «Севморгео», ОАО «Дальморгеофизика», ОАО «МАГЭ», ОАО «СМНГ», «ЛАРГЭ» и др. Они отрабатывали региональные сейсмические профили в комплексе с

гравимагнитометрией. Геологическое изучение ограничивалось опробованием верхних горизонтов осадочного чехла без бурения скважин. В результате здесь выделены крупные осадочные бассейны, стратифицированы их сейсмокомплексы, оценены мощности осадочного чехла и установлены особенности сложного рельефа поверхности фундамента.

Возросший в XXI в. интерес к Восточно-Арктическому региону стал активно распространяться и на его глубоководную часть. Новые отработанные сейсмические профили, увеличившие плотность сети наблюдений, уточнили не только строение шельфа, но и внесли значительный вклад в познание высокоширотной Центрально-Арктической области, в составе которой выделяются хребты Ломоносова и Альфа-Менделеева с примыкающими к ним котловинами Амундсена, Подводников и Макарова. Сейсмические данные в сочетании с результатами бурения и изучения донно-каменного материала позволили создать сеймостратиграфические модели и обосновать представления о происхождении и истории развития основных структур рассматриваемой области.

Различные интерпретации фактических материалов по рассматриваемому региону нашли отражение в трудах Е.В. Артюшкова, В.И. Богоявленского, В.В. Буценко, В.А. Верниковского, В.Е. Вержбицкого, В.А. Виноградова, Е.А. Гусева, С.С. Драчева, Н.К. Евдокимовой, Ю.Б. Казмина, Б.И. Кима, А.А. Крылова, Л.И. Лобковского, А.О. Мазаровича, Н.А. Малышева, А.Ф. Морозова, А.М. Никишина, Н.А. Петровской, И.Д. Поляковой, В.А. Поселова, П.В. Реканта, М.А. Савишкиной, С.Д. Соколова, Н.И. Филатовой, В.Е. Хаина, А.А. Черных, Ю.В. Шипелькевича, J. Backman, W. Jokat, K. Moran и многих других исследователей.

Тектонические и геоморфологические элементы акватории российской восточной Арктики показаны на рис. 1. Среди них выделяют глубоководные котловины, шельфовые и шельфово-склоновые осадочные бассейны, являющиеся наиболее перспективными в нефтегазоносном отношении.

Целью проведенного научного синтеза является прогнозирование литологического состава, типов и термической зрелости органического вещества сеймостратиграфических комплексов, выделение потенциально нефтегазоносных объектов в конкретных бассейнах.

Структура и сеймостратиграфические комплексы глубоководной Центрально-Арктической области

При существующем многообразии мнений по частным вопросам большинство исследователей пришло к общему заключению о континентальном происхождении Центрально-Арктической области, подвергшейся 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 [Хаин, Полякова, Филатова, 2009].

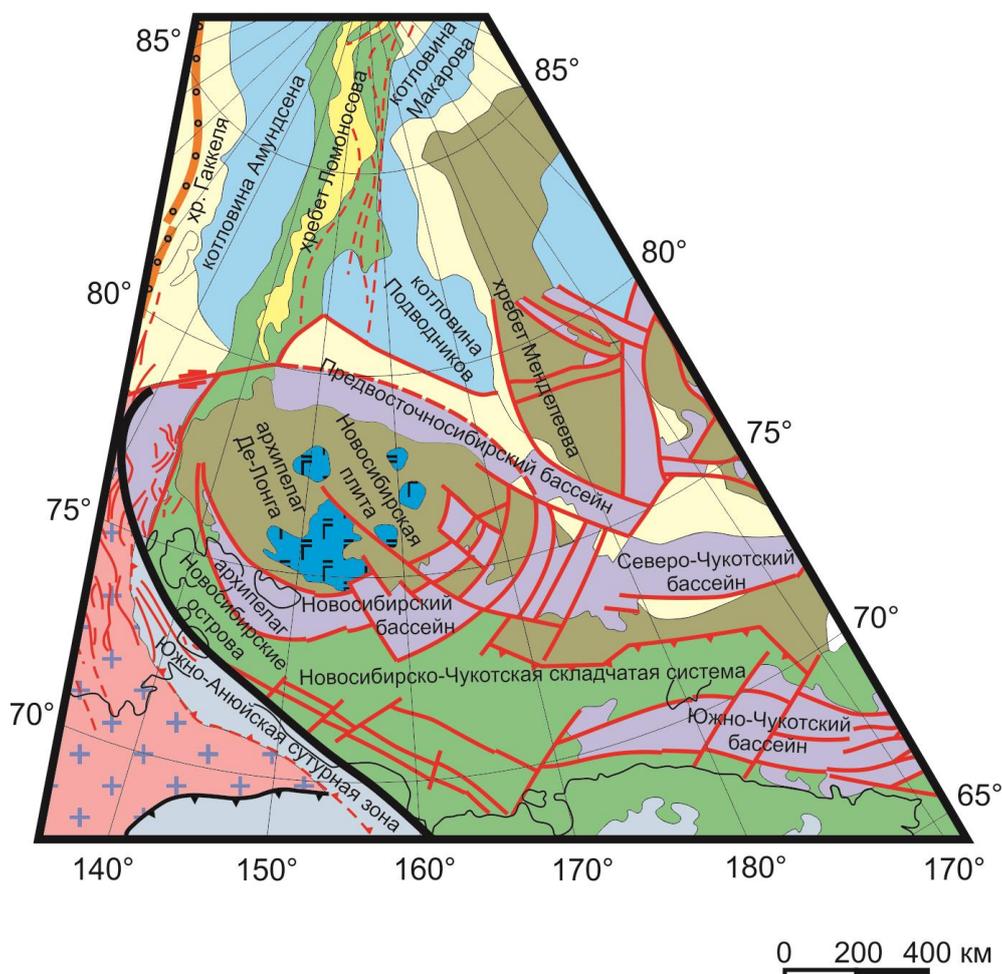


Рис. 1. Карта основных тектонических и геоморфологических элементов российской восточной Арктики [Хаин, Полякова, Филатова, 2009; Верниковский и др., 2013]

На современном этапе геологической истории Центрально-Арктическая область рассматривается как глубокопогруженная часть континентальной окраины Евразии, сохранившая связь со структурами шельфа, а также прилегающей островной и материковой суши ([Хаин, Полякова, Филатова, 2009; Лаверов и др., 2013; Морозов и др., 2014; Виноградов и др., 2016] и др.). Описанное в геологической литературе разнообразие сеймостратиграфических моделей осадочного чехла, датирующегося, также, как и на шельфе, апт-кайнозоем, существенно сократилось после бурения 5 скважин по проекту АСЕХ в гребневой части хребта Ломоносова [Backman et al., 2006]. Палеонтологические и палинологические материалы по вскрытому разрезу проанализированы российскими

специалистами [Ким, Глезер, 2007; Деревянко, Гусев, Крылов, 2009], которые на базе полученных данных внесли уточнения в известные модели.

Анализируя материалы исследователей [Артюшков, Чехович, 2015; Ким, Глезер, 2007; Морозов и др., 2014; Поселов и др., 2008; Рекант, Гусев, 2012; Черных, Крылов, 2011], авторы приняли за основу сеймостратиграфическую модель П.В. Реканта и Е.А. Гусева с небольшими изменениями. Согласно этой модели, в апт-кайнозойском осадочном чехле выделено пять основных сеймостратиграфических 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 меловые толщи заполняют нижнюю часть грабенов, в осевых частях которых общая мощность мела доходит 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 палеоценом–эоценом, выделяется на фоне остальных терригенных комплексов присутствием в породах биокремнистого материала. Отложения трех нижних ССК 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 до 1000 м мощностью. По сейсмическим и магнитометрическим данным под осадочным чехлом этой котловины и поднятия Менделеева лежат покровы базальтов. В котловине вулканогенно-осадочные толщи занимают весьма обширные площади и имеют мощность на ее бортах около 500 м, а в центральной части, возможно, и до 1500-2000 м [Виноградов и др., 2016].

ЭРАТЕМА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ	Сводный разрез	Котловина Амундсена	хр. Ломоносова (гребневая часть)	Котловина Подводников	Поднятие Менделеева	
КАЙНОЗОЙСКАЯ	ЧЕТВЕРТИЧНАЯ	ГОЛОЦЕН						
		ПЛЕЙСТОЦЕН		A - 5 V=1,7-1,9км/с H ~ 280м	ХЛ - 5 V=1,5-1,8км/с H = 75м	П - 5 V=1,7-1,9 км/с	ПМ - 5 V=1,6-1,8 км/с	
	НЕОГЕНОВАЯ	ПЛИОЦЕН						
		МИОЦЕН		A - 4 V=2,2-2,4км/с H ~ 500м	ХЛ - 4 V=2,0-2,2км/с H = 330м	П - 4 V=2,1-2,4 км/с	ПМ - 4 V=2,0-2,2 км/с	
	ПАЛЕОГЕНОВАЯ	ОЛИГОЦЕН						
		ЭОЦЕН		A - 3 V=2,8-3,5км/с H ~ 2000м	ХЛ - 3 V=2,7-3,2км/с H = 204м	П - 3 V=2,8-3,7 км/с	ПМ - 3 V=2,7-3,2 км/с	
	ПАЛЕОЦЕН							
МЕЗОЗОЙСКАЯ	МЕЛОВАЯ	ВЕРХНИЙ		A - 2 V=4,0-4,5км/с H ~ 1500м		П - 2 V=3,9-4,6 км/с		
		НИЖНИЙ			ХЛ - 2 V=4,0-4,6км/с	П - 1 V=4,6-5,3 км/с	ПМ - 2 V=4,0-4,7 км/с	



Рис. 2. Сейсмостратиграфические комплексы

[Артюшков, Чехович, 2015; Ким, Глезер, 2007; Морозов и др., 2014; Поселов и др., 2008; Рекант, Гусев, 2012; Черных, Крылов, 2011]

со шкалами катагенеза органического вещества осадочного чехла Центрально-Арктической области хребтов и котловин

Отложения: 1 - терригенные, 2 - диатомиты, 3 - кремнистые глины, 4 - базальтоиды и вулканические туфы; H - мощность отложений, V_{пл} - пластовая сейсмическая скорость, A и A_ф - отражающие горизонты.

Возраст пород извлеченного при бурении керна и образцов базальтоидов, отобранных из эскарпов поднятия Менделеева, свидетельствуют о нескольких вулканических импульсах, которые возникали на протяжении поздней перми–триаса и практически всего мела [Казмин, Лобковский, Кононов, 2014; Морозов и др., 2014]. Кайнозойские базальты о-вов архипелага Де-Лонга предполагают наличие вулканических проявлений того же возраста и на поднятии Менделеева.

При выявлении предпосылок нефтегазоносности высокоширотной глубоководной Арктики авторы дополнительно опирались на приведенные ниже свои и зарубежные оценки перспектив шельфов Восточно-Сибирского и Чукотского морей [Богоявленский и др., 2011, 2017; Полякова, 2007, 2015; Полякова, Борукаев, Сидоренко, 2016, 2017; Craig, Sherwood, 2004].

Структура и сейсмостратиграфические комплексы потенциально нефтегазоносных бассейнов шельфа Восточно-Сибирского и Чукотского морей

Перспективы нефтегазоносности шельфа Восточной Арктики связаны с крупными осадочными бассейнами рифтогенной и синсдвиговой природы. К ним относятся Северо-Чукотский, Южно-Чукотский, Новосибирский и Предвосточносибирский бассейны. Интерпретация сейсмических профилей, описанная в ряде публикаций ([Петровская, Савишкина, 2014; Полякова, Борукаев, Сидоренко, 2016, 2017] и др.), отразила строение этих осадочных бассейнов. Поэтому здесь остановимся кратко на данном аспекте, ограничившись приведением отдельных рисунков и комментариев к ним. Основное внимание будет уделено реконструкциям по методу Д.В. Лазуркина шкал катагенеза органического вещества (ОВ) и местоположения в разрезе зон нефтегазообразования [Лазуркин, 2011]. Этим методом определялись приблизительные соотношения между катагенезом ОВ и пластовой сейсмической скоростью, что позволило разграничить стадии прото- и мезокатагенеза (3,0 км/с), мезо- и апокатагенеза (5,0 км/с). Выделение градаций мезокатагенеза, предпринятое нами для региона Восточной Арктики, еще более условно. Начальный мезокатагенез (МК₁–МК₂) предполагается в интервале 3,0–3,7 км/с, средний (МК₃) – 3,7–4,4 км/с, заключительный (МК₄–МК₅) – 4,4–5,1 км/с. Результаты геохимического изучения ОВ отложений сопредельных суши и островов стали основанием для прогнозирования в бассейнах его концентраций, типов и фазового состояния углеводородов (УВ). В качестве важных свидетельств нефтегазоносности также использовались выявленные в донных отложениях газогеохимические аномалии.

Осадочный чехол

На рис. 3-8 показаны основные структурные элементы шельфа восточно-арктических морей, сейсмогеологические разрезы осадочного чехла и их местоположение в бассейнах.

В Чукотском море располагаются два крупных осадочных бассейна, разделенных поднятием Врангельско-Геральдской дуги (см. рис. 3). Наиболее полно чехол представлен в Северо-Чукотском бассейне, в заполнении которого получили развитие палеозой-кайнозойские отложения с общей мощностью в депозентре превышающей 20 км (см. рис. 4). Южно-Чукотский бассейн образуют апт-кайнозойские отложения с мощностью во впадинах около 4-5 км (см. рис. 5). Н.А. Петровской с коллегами в апт-кайнозой части осадочного чехла выделены апт-альбский, верхнемеловой, палеоцен-эоценовый, олигоценый и верхний миоцен-четвертичный сейсмостратиграфические комплексы (ССК), которые прослежены и в котловинах Центрально-Арктической области [Петровская, Савишкина, 2014].

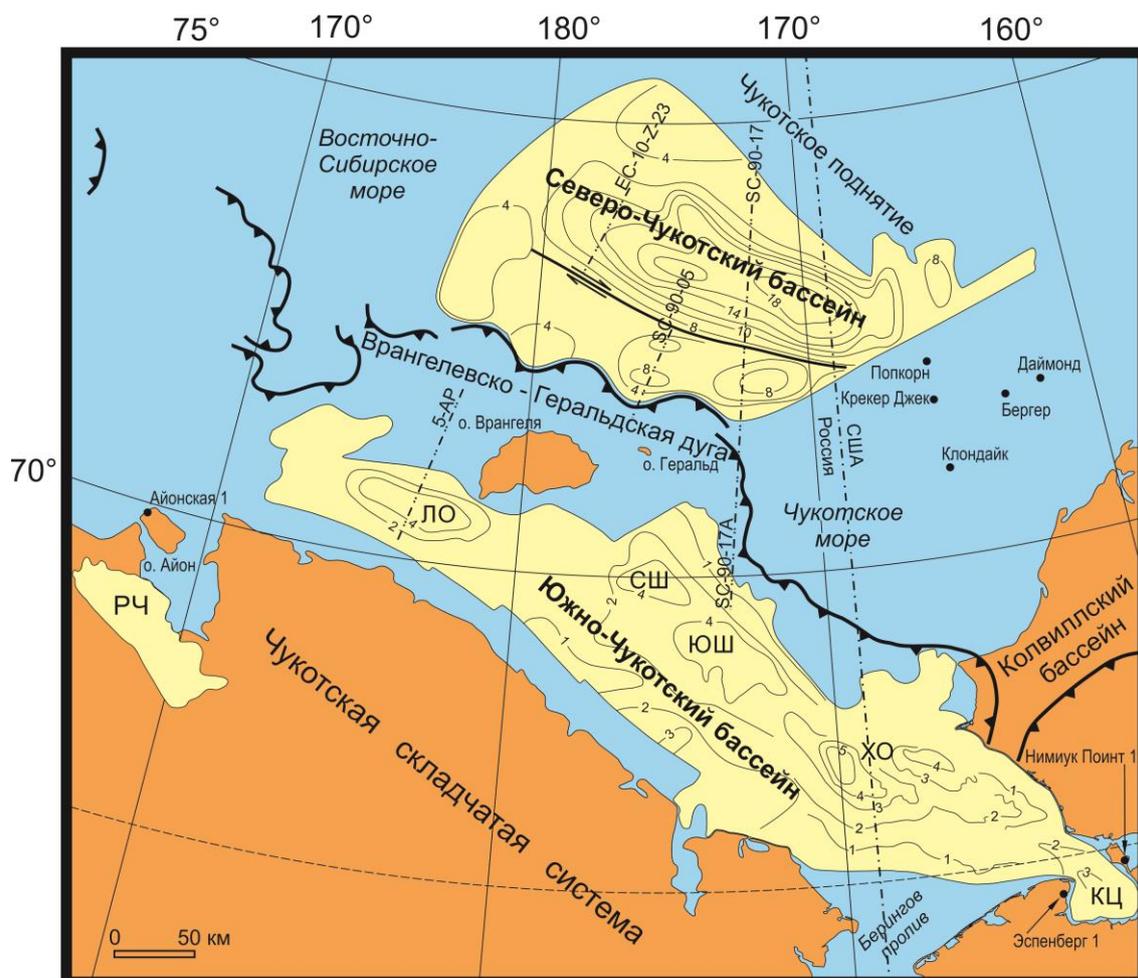


Рис. 3. Основные структурные элементы Чукотского шельфа с указанием местоположения фрагментов сеймопрофилей SC-90-05, ES-10Z-23, 5AP, SC-90-17 [Хаин, Полякова, Филатова, 2009]

Впадины и прогибы: ЛО – Лонгская, СШ – Северо-Шмидтовская, ЮШ – Южно-Шмидтовская, ХО – Хоуп, КЦ – Коцебу, РЧ – Раучуанский.

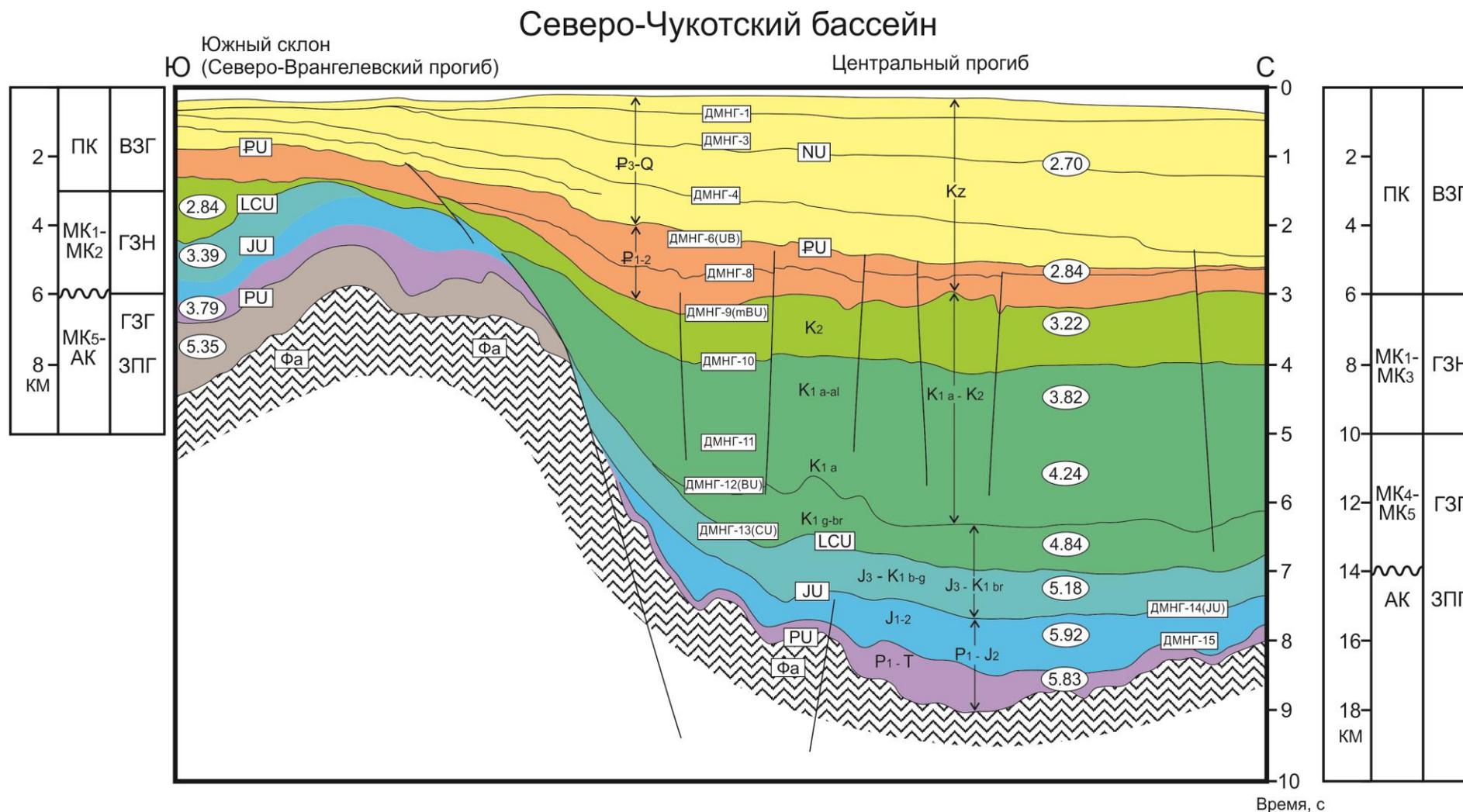


Рис. 4. Сейсмогеологический разрез Северо-Чукотского бассейна, построенный на основе корреляции фрагментов профилей ДМНГ SC-90-05 и ЕС-10-Z-23 (по [Петровской, Савишкиной, 2014]) с прогнозируемой шкалой катагенеза органического вещества и зональностью нефтегазообразования

Несогласия: NU – неогеновое, PU – палеогеновое, LCU – нижнемеловое, JU – юрское, PU – пермское; ВЗГ – верхняя зона газообразования, ГЗН – главная зона нефтеобразования, ГЗГ – глубинная зона газообразования, ЗПГ – зона постумного газообразования; 5.18 – сейсмические скорости, км/с.

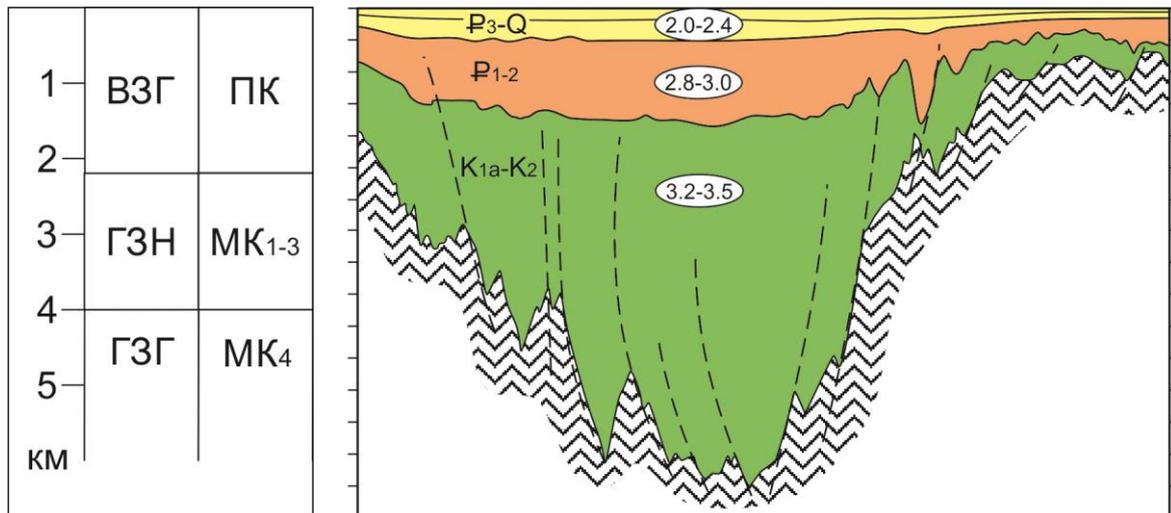


Рис. 5. Сейсмогеологический разрез Лонгской впадины Южно-Чукотского бассейна по фрагменту профиля 5–АР ([Половков, 2011] с изменениями) с прогнозной шкалой катагенеза и зональностью нефтегазообразования

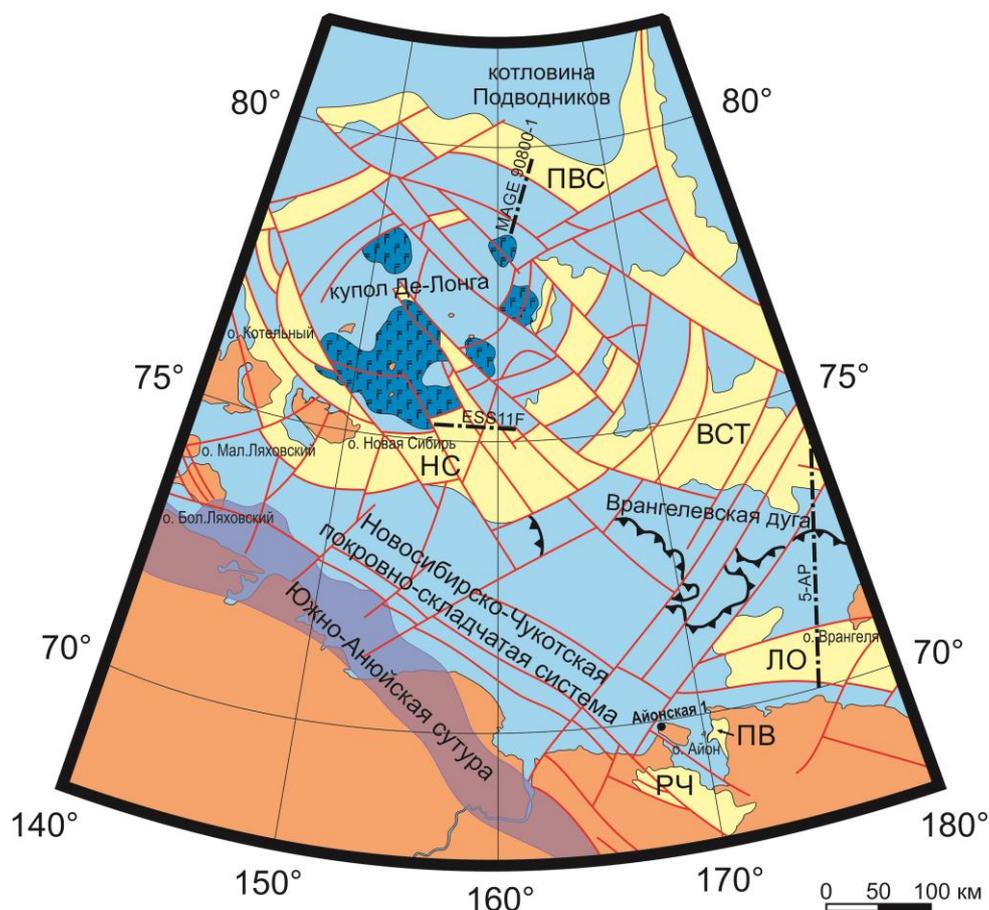


Рис. 6. Основные тектонические элементы шельфа Восточно-Сибирского моря [Хаин, Полякова, Филатова, 2009] с указанием местоположения фрагментов сейсмопрофилей ДМНГ ESS-11F, МАГЕ90800-1 и 5–АР

Бассейны: НС – Новосибирский, ВСТ – Восточный грабен, ПВС – Предвосточносибирский, ЛО – Лонгский, РЧ – Раучуанский, ПВ – Певекский.

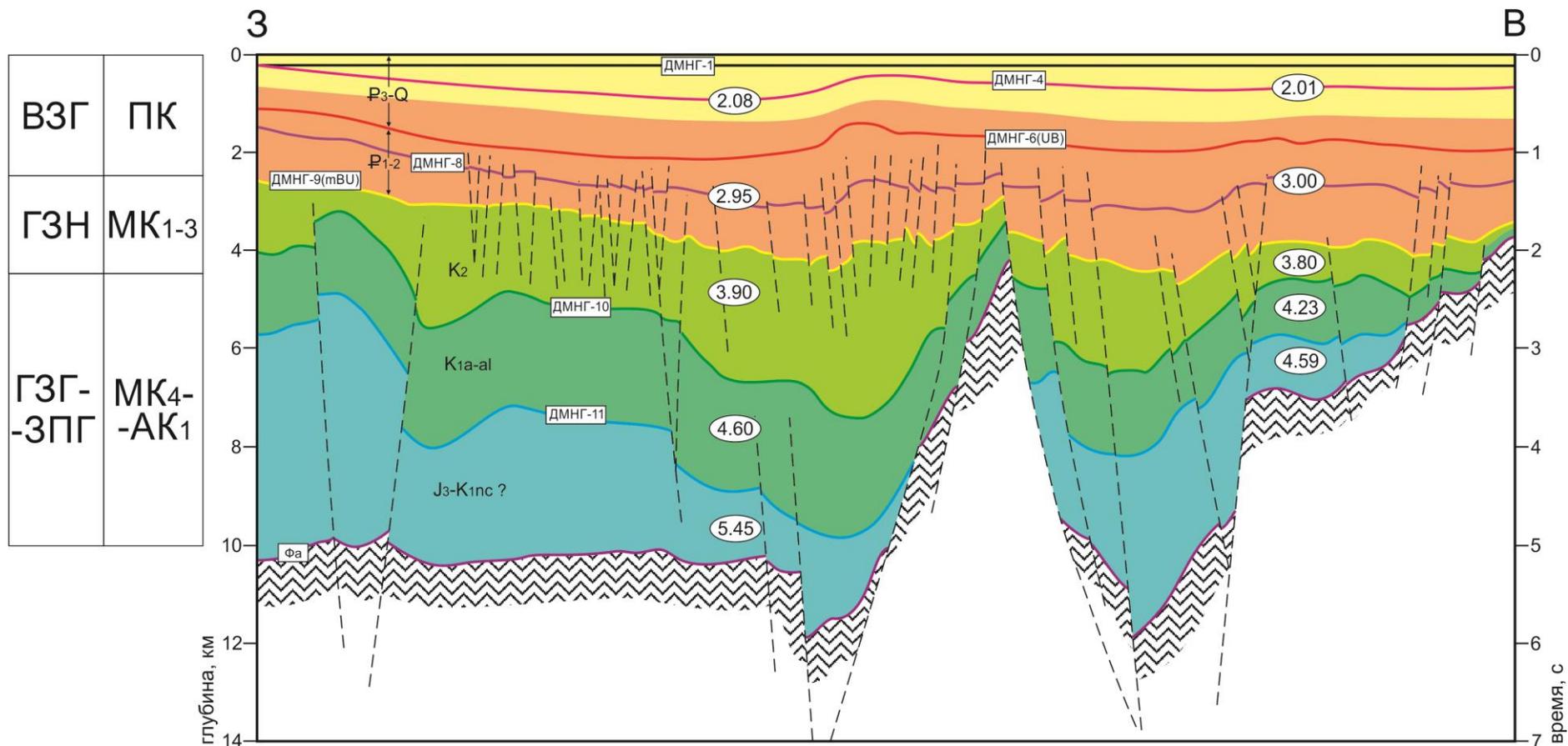


Рис. 7. Сейсмогеологический разрез Новосибирского бассейна по фрагменту профиля ДМНГ ESS-11F
 ([Петровская, Савишкина, 2014] с изменениями) с прогнозной шкалой катагенеза и зональностью нефтегазообразования

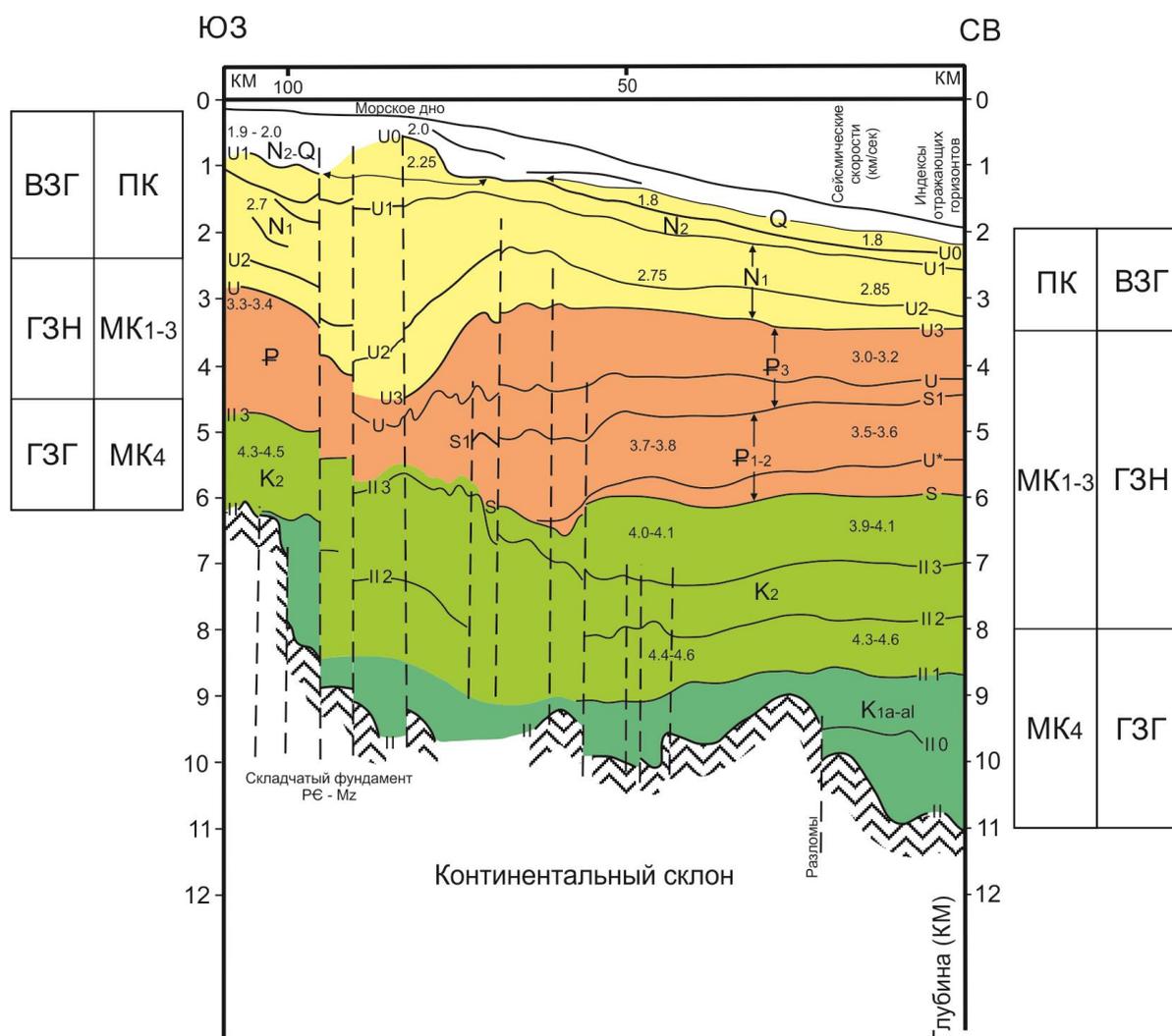


Рис. 8. Сейсмогеологический разрез Предвосточносибирского бассейна по фрагменту профиля MAGE 90800-1 ([Sekretov, 2002] с изменениями) с прогнозными шкалами катагенеза и зональностями нефтегазообразования

В основании Северо-Чукотского бассейна предполагается глубокий рифт, который мог заполняться осадками, начиная с позднего девона [Бурлин, Шипелькевич, 2006; Хаин, Полякова, 2007]. Тогда же, в палеозое, заложились рифтогенный субмеридиональной ориентировки Северо-Врангельский прогиб, реликт которого в современной структуре образует южный склон Северо-Чукотского бассейна. Главный очаг углеводородной генерации приурочен к центральному рифтогенному прогибу, второстепенный расположен во впадине на южном склоне бассейна (см. рис. 4). Особенности нефтегазообразования в главном очаге обусловлены очень большими мощностями осадочного чехла, кайнозойские и верхнемеловые отложения которого, по расчетам авторов, накапливались с лавинной скоростью от 100 до 160 м/млн. лет. Это приводило к поступлению в бассейн больших масс терригенного материала, что неминуемо способствовало значительной растянутости вертикальной шкалы катагенеза ОБ. В Южно-Каспийском, Мексиканском и других

бассейнах с лавинными скоростями седиментации нижняя граница продуктивных комплексов распространяется на глубину до 6-10 км. По этой причине главная зона нефтеобразования (ГЗН) Северо-Чукотского бассейна могла опуститься на столь же большие глубины. В осадочный разрез этой зоны попадает большая часть апт-верхнемелового комплекса, характеризующегося в соседнем бассейне Северного склона Аляски и на месторождении Бергер прилежащего к ней шельфа присутствием глинистой нефтематеринской формаций Пebbл-Хью, в составе которой встречаются и песчаные коллекторские горизонты. Отложения рассматриваемого комплекса Северо-Чукотского бассейна, в котором сейсмическая скорость варьирует в диапазоне 3,22-3,82 км/с (см. рис. 4), может соответствовать начальному-среднему мезокатагенезу (МК₁-МК₃) и ГЗН. В нижележащих отложениях она резко повышается от 4,84 до 5,92 км/с, что свидетельствует об интенсивном преобразовании пород и ОВ, находящегося на грациях заключительного мезокатагенеза и апокатагенеза (МК₅-АК). Плотность эмиграционного потока газообразных УВ из отложений верхнемеловых-кайнозойских комплексов составляет 7,5 млрд. м³/км², жидких УВ – 580 тыс. т/км². Всего генерировано 470 трлн. м³ газа и 36 млрд. т нефти. Полученные результаты отражают начальный углеводородный потенциал главного очага генерации, сформировавшегося на поздне-меловом-кайнозойском этапе развития бассейна, без учета масс перемещенных УВ из других комплексов и их потерь в атмосферу [Полякова, Борукаев, Сидоренко, 2016].

На южном фланге Северо-Чукотского бассейна существовал второй очаг палеозойского заложения, в котором распространены отложения верхней перми-средней юры (см. рис. 4), соответствующие по возрасту высококачественным нефтематеринским формациям Шублик и Нижний Кингак в бассейне Северного склона Аляски. На борту Северо-Чукотского бассейна пластовые сейсмические скорости этих отложений изменяются в диапазоне 3,3-3,8 км/с, что позволяет предполагать здесь развитие ГЗН на глубине 3,0-5,0 км. Относительно неглубокое залегание мезозойских и верхнепалеозойских образований, особенно в приподнятой части южного склона бассейна, делает этот район особенно интересным в качестве нефтегазопромыслового объекта.

Современная флюидодинамическая система Южно-Чукотского бассейна функционирует в очагах генерации, локализуемых в кайнозойских впадинах: Лонга, Северо- и Южно-Шмидтовских, в осадочном заполнении которых прогнозируются встреченные в Айонской скважине на границе палеоцена и эоцена и в конце раннего олигоцена пласты сапропелитов, содержащие морскую фауну фораминифер и диатомовых [Слободин и др., 1990]. Эти горизонты, вероятно, представляют нефтематеринские, а широко распространенные в разрезе угленосные отложения – газоматеринские толщи. ГЗН

прогнозируется в интервале глубин 2,2-4,0 км, где пластовая сейсмическая скорость составляет 3,2-3,5 км/с. Зоны глубинного и постумного газообразования (ГЗГ и ЗПГ) могли проявиться в нижнемеловых и юрских отложениях грабенов и полуграбенов складчатого фундамента (см. рис. 5). Средняя плотность эмиграционного потока в Лонгской и Шмидтовских впадинах составляла 920 млн м³/км² газа и 280 тыс. т/км² нефти. Всего произведено 16 трлн. м³ газа и 4,8 млрд. т нефти. Приближенный к материка Южно-Чукотский бассейн может стать первоначальным объектом для поисково-разведочных работ в акватории Восточной Арктики.

В Восточно-Сибирском море осадочные бассейны приурочены к поднятию Де Лонга, сформировавшемуся в результате купольного магматизма (см. рис. 6) [Филатова, 2007]. В ядре купола, охватывающего о-ва Жохова, Вилькицкого, Генриетты, Жаннетты и Бенетты, развиты кайнозойские и меловые базальтоиды внутриплитного типа. Купол разбит на грабены и горсты, разделенные концентрическими дуговыми и радиальными разломами. На западной, южной и юго-восточной перифериях купола располагается Новосибирский бассейн с включенным в его состав Восточным грабеном. С севера поднятие Де Лонга ограничено континентальным склоном с Предвосточносибирским бассейном. Они заполнены апт-кайнозойскими отложениями, в которых установлены те же пять ССК, что и в Чукотских бассейнах. Их общая мощность в депоцентрах Новосибирского бассейна достигает 5-8 км, а в Предвосточносибирском – 14-18 км.

Авторы не исключают присутствия в эоценовых и меловых толщах бассейнов, окружающих магматический купол Де-Лонга, нефте- и газоматеринских горизонтов хорошего качества. Такая возможность подтверждается находками в обнажениях некоторых островов Новосибирского архипелага эоценовых сапропелитов и многопластовых залежей каменного и бурого угля мел-кайнозойского возраста. Наряду с угленосными толщами широко распространены пачки глин и аргиллитов с ОВ II и II/III типов. В них содержания органического углерода ($C_{орг}$) обычно составляют около 1%, эти толщи относятся к нефтегазоматеринским среднего качества. В шельфовом Новосибирском бассейне, судя по величине сейсмических скоростей (2,0-3,0 км/с), кайнозойские отложения и их ОВ слабо преобразованы и соответствуют верхней зоне газообразования (ВЗГ). В ГЗН, охватывающей интервал 3,0-6,0 км ($V_{пл} = 3,9$ км/с), попадают верхнемеловой и значительная часть палеоцен-эоценового сейсмокомплексов (см. рис. 7). На склонах бассейна и его внутренних поднятий мощности отложений сокращаются, и в главную зону попадает также апт-альбский комплекс. В нижней части чехла с апт-альбским и слабо деформированным аптским или, возможно, верхнеюрско-неокомовым комплексами в интервале глубин от 4,5 до 10 км

уровень зрелости ОВ отвечает заключительным градациям мезокатагенеза и началу апокатагенеза ($V_{пл} = 4,6-5,5$ км/с), где могут располагаться ГЗГ и ЗПГ.

На внешнем шельфе и континентальном склоне Предвосточносибирского бассейна соотношение глубин залегания и пластовых сейсмических скоростей одновозрастных стратиграфических подразделений значительно различается (см. рис. 8).

В шельфовой части бассейна при мощности осадочного чехла до 6 км пластовые скорости изменяются от 2,0 до 4,5 км/с. В пределах континентального склона и особенно его подножия мощность отложений возрастает до 12 км и более, а значения пластовых скоростей сохраняются в диапазоне, близком шельфовому. Это свидетельствует о большой растянутости вертикальной шкалы катагенеза и позволяет прогнозировать нефтегазоносность отложений и на больших глубинах. В Предвосточносибирском бассейне формировались сложнослоистые дельтовые и турбидитовые комплексы с прослоями вулканических пород в меловой части разреза. Лавинная седиментация, нередко связанная с проградацией, периодически сменяемая меньшими ее скоростями, вероятно, способствовала формированию нефтематеринских, коллекторских и экранирующих толщ, создававших флюидодинамические системы с залежами нефти и газа, в числе которых могут быть крупные и гигантские. Такие условия седиментации свойственны склоновым бассейнам атлантических окраин Африки, Южной и Центральной Америки, а также других районов континентальных окраин Мирового океана, в которых нефтеносность приурочена и к большим глубинам ([Хаин, Полякова, 2004; Лоджевская, 2015; Леончик, Сенин, 2015] и др.).

Акустический фундамент

Наименее изученной частью осадочных бассейнов Восточно-Арктических морей является акустический фундамент. Влияние его деформированных комплексов на нефтегазоносность шельфа авторы определяли опосредованно, используя результаты своих геохимических исследований ОВ палеозойских и мезозойских отложений Новосибирско-Чукотской покровно-складчатой системы, которая служит основанием рассматриваемых бассейнов. Объектами изучения служили дислоцированные породные комплексы, обнажающиеся на чукотской суше, архипелаге Новосибирских о-вов и о-ве Врангеля. Палеозойский разрез рассматриваемых объектов (до карбона включительно) слагают карбонатные, терригенно-карбонатные и терригенные отложения, в разрезе пермско-мезозойских ассоциаций распространены преимущественно терригенные толщи. Не редки надвиговые контакты, наряду с несогласиями широкое развитие получили перерывы. На о-ве Врангеля породы по степени преобразованности соответствуют низкотемпературной субфации зеленосланцевой фации, на Новосибирских о-вах признаки регионального

метаморфизма отсутствуют [Косько и др., 2013; Остров Врангеля..., 2003]. Изменения мезозойских отложений чукотской суши чаще всего отвечают метагенезу.

По данным Г.Ч. Борукаева [Борукаев, 2017], в палеозойско-триасовых породах о-ва Врангеля и мезозойских отложениях чукотской суши уровень термической зрелости ОВ соответствует апокатагенным градациям и его генерационный потенциал в значительной степени исчерпан ($S_2 = 0-0,19$ мг УВ/г породы), а водородный индекс мал ($HI = 0-20$ мг УВ/г $C_{орг}$). Черные и темно-серые аргиллиты верхнего девона–нижнего карбона, верхней перми, верхнего триаса и верхней юры-неокома, характеризующиеся повышенными концентрациями $C_{орг}$ (около 1, иногда до 3,6%), выделены в качестве нефтегазопроизводивших отложений прошлых геологических эпох. Им свойственны очень низкие содержания хлороформного битумоида, исчисляющиеся тысячными и десятитысячными долями процента. Результаты авторов подтверждают сделанный ранее вывод Б.А. Клубова об утраченных генерационных способностях ОВ [Клубов, 1983].

В тончайших обогащенных ОВ прослоях глинистых сланцев и аргиллитов присутствуют точечные включения битумов: керитов и антраксолитов. В некоторых образцах песчаников и органогенных известняков, служивших, в геологическом прошлом, коллекторами, относительно повышены битуминозность ($\beta > 15\%$) и водородный индекс ОВ ($HI = 40-50$, в единичных образцах 100-250 мг УВ/г $C_{орг}$). Много реже такая же особенность ОВ фиксируется в аргиллитах. Она обусловлена точечными проявлениями в породах битумов, в составе которых сохранились смолисто-асфальтовые компоненты и высокомолекулярные УВ, в гомологических рядах которых преобладают термически стойкие структуры. Наблюдающиеся отскоки на фоне общего тренда низких значений S_2 и HI , вероятно, связаны с неравномерностью воздействия на ОВ динамокатагенеза, который носит мозаичный характер, вследствие чего в дислоцированных толщах могут сохраняться участки с не полностью утраченным генерационным потенциалом.

Генетический тип ОВ в виду его интенсивной деструкции однозначно определить не удалось. Однако некоторые геохимические показатели (распределение нормальных алканов и стеранов, наличие или отсутствие полиароматических УВ и сераорганических соединений, изотопный состав углерода углеводородных фракций) позволили Г.Ч. Борукаеву прогнозировать тип ОВ и условия его накопления. На о-ве Врангеля нефтегазопроизводившие толщи, вероятно, содержали преимущественно планктоногенное ОВ II, II/III типов, оно накапливалось на шельфе в условиях восстановительной среды. Не редко в придонных водах возникало сероводородное заражение. В позднем девоне-раннем карбоне fossilizировалось преимущественно высоколипидное ОВ. На чукотской суши ОВ аргиллитов верхней юры-нижнего мела имело смешанный состав и относилось к II/III типу.

Оно образовалось в морском бассейне наложенных впадин, на склонах которых происходили активные эрозионные процессы.

На о-вах Новосибирского архипелага признаки благоприятных условий для нефтегазообразования прошлых геологических эпох прослежены в разрезах картировочных скважин и обнажений от ордовика до неокома [Иванов, 1985; Константинов, Соболев, Ядренкин, 2013]. Свидетельства этого выявлены в отложениях девона, карбона, перми и триаса. Например, на о-ве Котельный глинистые сланцы среднего девона содержат $C_{орг}$ до 7,3%, верхнего девона - до 2,76%, по составу ОВ относится к II и II/III типам, термическая зрелость соответствует грациям среднего-позднего мезокатагенеза. Эти отложения обладали хорошими и очень хорошими нефтематеринскими свойствами, но на современном этапе их генерационный потенциал в значительной степени реализован. В тончайших прослоях нефтегазоматеринских толщ нижнего-среднего девона и карбона отмечены точечные проявления асфальтитов, керитов и антроксолитов. Проявления мальт и асфальтов известны в ниже-среднетриасовых аргиллитах [Иванов, 1985]. Присутствие ОВ II и II/III типов установлено в аргиллитах триаса и юры, в которых содержание $C_{орг}$ изменяется от 0,6 до 3,0%. На Новосибирских о-вах, где катагенез ОВ мезозойских пород соответствует среднему-позднему мезокатагенезу, генерационный потенциал и углеводородные скопления в какой-то степени могли сохраниться. Преимущественно нефть генерировали ниже-среднедевонские и ниже-среднетриасовые источники, газ и конденсат – карбоновые и пермские.

Высказанные предположения подтверждаются результатами газо-геохимических исследований донных осадков Восточно-Сибирского моря в районах Новосибирских о-вов и впадины Лонга [Гресов, Обжиров, Яцук, 2017]. Здесь определена повышенная метаноносность, достигающая 1,2-1,3 см³/кг (в осадках хребта Менделеева она не превышает 0,0012 см³/кг). Аномальные газо-геохимические поля установлены в пределах осложненных разломами поднятий с незначительной мощностью осадочного чехла, где происходила интенсивная газовая разгрузка. Основываясь на показателе молекулярной массы углеводородной фракции и изотопном составе углерода метана, А.И. Гресов с коллегами пришли к выводу, что основными источниками миграционных газов в донных осадках шельфа являются углегазоносные формации ($\delta^{13}C = -45,7...-68,0\%$), газоконденсатные и нефтегазовые залежи ($\delta^{13}C = -40,2...-53,8\%$) не только осадочного чехла, но и акустического фундамента. Максимальные концентрации глубинного гелия (до 0,0032%) и водорода установлены в районах Земли Бунге, Айонском, Лонгском и Котельническо-Святоносском, подверженных землетрясениям и повышенной сейсмичности до 6-7 баллов.

Из приведенных материалов следует, что обогащенные ОВ пачки аргиллитов и

глинистых известняков палеозой-мезозойского разреза Новосибирско-Чукотской системы, образующей складчатое основание бассейнов, в прошлом обладали хорошими нефтегазоматеринскими свойствами. Продукты их генерации могли сохраниться в виде скоплений битумов и газа на участках со слабо деформированными породными комплексами. В случае отсутствия катагенетического несогласия на современном этапе акустический фундамент является дополнительным источником УВ, поступающих по трещинам разломных зон в осадочный чехол бассейнов Восточной Арктики. Вероятно, влияние этих процессов на нефтегазоносность должно быть наиболее активным в местах неглубокого залегания фундамента на склонах бассейнов и их внутренних поднятиях.

Газовые, газоконденсатные и нефтегазовые залежи в шельфовых бассейнах Восточной Арктики могли формироваться в широком стратиграфическом диапазоне на разных гипсометрических уровнях, образуя многопластовые месторождения. Кроме антиклинальных ловушек, в осадочном чехле, вероятно, возникали также приразломные и литолого-стратиграфические аккумулярующие УВ формы. Над депоцентрами бассейнов прогнозируются залежи с преимущественной газоносностью, на склонах и горстовых поднятиях - возможны нефтегазовые, нефтяные и битумные скопления.

Бассейны Восточно-Арктического шельфа России являются потенциально нефтегазоносными. Их перспективы следует связывать преимущественно с верхнемеловыми-кайнозойскими флюидодинамическими системами, впитавшими в себя УВ, частично перемещенные из более древних отложений. Особенно значительными углеводородными ресурсами должны обладать Северо-Чукотский и Предвосточносибирский потенциально нефтегазоносные бассейны.

Предпосылки нефтегазоносности глубоководной Центрально-Арктической области

В качестве главных вещественных признаков возможной нефтегазоносности данной области рассматриваются литологический состав и мощности ССК, типы и уровень зрелости содержащегося в них ОВ. По этим признакам прогнозировались нефтегазоматеринские и коллекторские толщи.

Нефтегазоматеринские свойства отложений глубоководных котловин Амундсена и Подводников можно предположительно оценить на базе конкретных материалов, которые получены при изучении разрезов, вскрытых бурением по проекту АСЕХ на хребте Ломоносова [Backman et al., 2006]. 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_{org} 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_{org} составляет 0,3-0,6%, в кампанских породах ССК-2 оно возрастает до 1% [Backman et al., 2006; Ким, Глезер, 2007]. 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 [Лисицын, 1981]. В подобных условиях биопродуктивность планктона увеличивается, а вместе с ней растут и массы фоссилизировавшегося в восстановительной среде ОВ. Это приводит к формированию нефтематеринских толщ хорошего и высокого качества.

В позднепалеоцен-эоценовой эпохе на хребте Ломоносова выделяется климатический максимум, который подтверждается результатами изучения глинистой фракции. В.В. Крупская и ее коллеги установили слои углеродисто-кремнисто-глинистых отложений со значительными содержаниями (40-60%) монтмориллонита, в образовании которого участвовал пепловый материал [Крупская, Крылов, Соколов, 2011]. Снижение содержаний 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 типа (до 25%), встречены не только на хребте Ломоносова, но, так же, как указывалось в предыдущем разделе, на некоторых островах Новосибирского архипелага, о-в Айон и в бассейне Бофорт-Маккензи. Эти нефтематеринские отложения могут иметь широкое распространение в Арктике, как и в других регионах мира, где их присутствие связывается с глобальным аноксическим событием эоценового времени [Хаин, Полякова, 2012].

В Арктической нефтяной провинции Америки, в состав которой входят бассейн Северного склона Аляски и прилежащие к нему шельфы полярных морей, высокопродуктивная нефтегазоматеринская формация нижнего мела Пebbл-Хью служила одним из важных углеводородных источников месторождений поднятия Барроу п-ова Аляска и месторождения Бергер на Чукотском шельфе. Верхнемеловые нефтегазоматеринские формации Смокинг Хиллс и Баундэри Крик известны в бассейне Бофорт-Маккензи. По аналогии с ними авторы предполагают наличие таковых и в мелу

Центрально-Арктической области с прилежащим шельфом.

Также нельзя не учитывать генерационные возможности рассмотренного выше палеозой-юрского акустического фундамента. Его отдельные горизонты служили генераторами УВ для многих месторождений Арктической нефтяной провинции Америки и, возможно, для шельфовых бассейнов Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Из отдельных слабо дислоцированных участков фундамента и сейчас в осадочный чехол мигрируют углеводородные газы [Гресов и др., 2017].

Характеризуя нефтегазоматеринские толщи Центрально-Арктической области, приходится иметь в виду возможность низких содержаний $S_{орг}$ в кремнистых и кремнисто-глинистых отложениях. Таким примером служат ирбитская (эоцен) и славгородская (кампан) свиты эпиконтинентального Западно-Сибирского бассейна. В их белесых диатомитах, диатомовых и опоковидных глинах содержания $S_{орг}$ составляют сотые, в крайнем случае десятые, доли процента. Отложения эоцена и кампана никакого влияния на нефтегазоносность Западно-Сибирского бассейна не оказали.

Степень зрелости ОВ является не менее важной предпосылкой нефтегазоносности. В олигоцен-плиоценовых ССК-5, ССК-4 и средне-верхнеэоценовой части ССК-3 Центрально-Арктической области пластовые скорости изменяются в основном в пределах от 1,5 до 3,0 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 $V_{пл}$, варьирующей в интервале 3,0-3,7 км/с, преобразования ОВ приблизительно отвечают раннему мезокатагенезу ($МК_1$ – $МК_2$). В верхнемеловом ССК-2 $V_{пл}$ изменяется в пределах от 3,9 до 4,6 км/с и соответствует градации $МК_3$ 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) находится в диапазоне $МК_4$ – $МК_5$. 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 Канадской котловине [Богоявленский и др., 2015]. Сходство их шкал катагенеза 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 [O'Regan et al., 2016] 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 объясняют это явление различием теплопроводности неконсолидированных осадков котловин и складчатых комплексов хребта [Хуторской и др., 2009].

Способность осадочного чехла генерировать жидкие УВ определяется прежде всего концентрацией липидного ОВ в породах. Как 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 наиболее продуктивные нефтематеринские горизонты с ОВ II типа на грациях ПК₃-МК₂. Характеризуя углеводородный потенциал этого комплекса, авторы учитывали результаты исследований О.К. Баженовой, детально изучившей аналогичные отложения кайнозойских бассейнов северо-запада Тихоокеанского пояса [Баженова, 1995]. Этим исследователем расширен диапазон нефтеносности углеродистых кремнистых и кремнисто-глинистых толщ за счет протокатагенетического нефтегазообразования диатомового источника ОВ. Под действием мягкого термолиза в его смолисто-асфальтеновых компонентах и низкоконденсированных структурах разрушались мостиковые связи, что в конечном итоге приводило к формированию незрелых нефтяных часто тяжелых нефтей. Такие возможности не следует исключать и для нефтематеринских образований ССК-3. По степени преобразованности ОВ верхнемелового ССК-2 соответствует грации МК₃.

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 ГЗН (рис. 9). На поднятиях, где из разреза выпадает бóльшая часть палеогеновых отложений и ГЗН практически отсутствует, преобладает газообразование зоны протокатагенеза. 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 [Баженова, 1995].

Очевидно, фазовое состояние УВ и объемы их ресурсов в Центрально-Арктической области в значительной степени зависят от генерационного потенциала верхнепалеоцен-эоценового ССК-3 и верхнемелового ССК-2, определивших направленность и масштабность нефтегазообразования, которое могло идти по двум сценариям (см. рис. 9). Первый, оптимистический, развивался при значительной распространенности в этих комплексах, обогащенных сапропелевым ОВ горизонтов, которые встречаются в интервале разреза 1,0-

3,8 км, соответствующем ГЗН. Второй, пессимистический, действовал при уменьшении роли таких горизонтов вследствие меньших концентраций ОБ в мелководном бассейне. Это приводило к сокращению мощности материнских отложений и снижению «активности» ГЗН, ограниченной интервалом 1,8-3,8 км. Очаги генерации УВ 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.

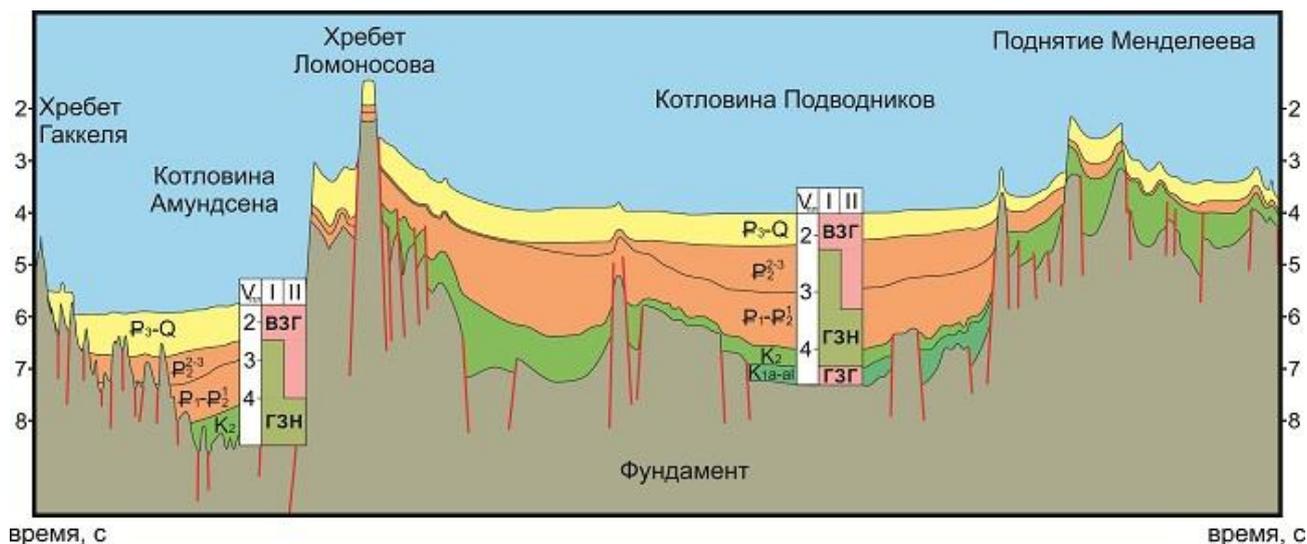


Рис. 9. Сеймостратиграфический профиль по линии котловина Амундсена – хребет Ломоносова - котловина Подводников - поднятие Менделеева

[Казмин, Лобковский, Кононов, 2014]

Зональность нефтегазообразования, сформированная по двум возможным сценариям: I - оптимистическому, II – пессимистическому; Vпл - пластовая сейсмическая скорость.

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. 9), Ю.Б. Казмин и его коллеги отмечают ненарушенность апт-кайнозойского осадочного чехла впадин, в которых отсутствуют структуры и другие признаки сжатия [Казмин, Лобковский, Кононов, 2014]. Близкие особенности наблюдаются в расположенной севернее впадине Макарова. Геотермические данные также подтверждают отсутствие тектонической активности в районе котловин [Хуторской и др., 2009]. В качестве потенциально нефтегазоносных объектов прогнозируются участки, прилегающие к выступам фундамента, проникающим в меловые и кайнозойские отложения. Такие особенности структуры характерны для котловины Амундсена. Благоприятные структурные условия выявлены также на периферии котловины Подводников, где ее отделяют высокие выступы фундамента от относительно небольших

впадин в подножии склонов хребтов Ломоносова и Менделеева (см. рис. 9). На отмеченных участках предположительно формировались литолого-стратиграфические ловушки в зоне выклинивания коллекторских горизонтов верхнего мела-эоцена. Антиклинальные ловушки также могли образоваться на вершине облекаемых неогеновыми осадками выступов. Такое расположение аккумулярующих емкостей позволяет принимать миграционные потоки УВ из очагов генерации, локализованных как в крупной котловине, так и в небольших впадинах подножия склонов хребтов. Кайнозойские отложения, характеризующиеся низкими пластовыми скоростями (1,8-3,0 км/с), обладают хорошими фильтрационно-емкостными свойствами, а кремнисто-глинистые породы эоцена могут служить не только углеводородным источником, но и быть хорошим поровым коллектором.

Заключение

Выявленные авторами благоприятные геофизические и литолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности Восточно-Арктического региона позволили сделать следующие выводы:

1. В апт-кайнозойском заполнении осадочных бассейнов акватории выделено пять близких по возрасту сейсмокомплексов, отражающих связь рифтовых систем восточно-арктических шельфов и глубоководных котловин Центрально-Арктической области.

2. На современном этапе генерационные и аккумуляционные возможности сохранили в основном верхнемеловые и кайнозойские флюидодинамические системы. В преимущественно терригенном разрезе осадочного чехла выделяются палеоцен-эоценовый и верхнемеловой сейсмокомплексы, в которых возможно присутствие углеродисто-кремнисто-глинистых горизонтов, содержащих аквагенное ОВ, способное генерировать нефть.

3. Лавинная седиментация в палеогене и позднем мелу Северо-Чукотского и Предвосточносибирского бассейнов обусловила растянутость по вертикали шкалы катагенеза ОВ, позволяющей прогнозировать нефтегазоносность и на больших глубинах.

4. В палеозой-мезозойских породах акустического фундамента генерационный потенциал в значительной степени реализован, но в местах со слабо деформированными осадочными комплексами их продукты генерации частично сохранились в виде рассеянных газов и битумов, возможно, и их скоплений. Акустический фундамент служит второстепенным источником УВ, поступающих по трещинам разломных зон в осадочный чехол бассейнов.

5. Наиболее перспективными в нефтегазоносном отношении представляются шельфовый Северо-Чукотский и шельфово-склоновый Предвосточносибирский бассейны. На склонах и горстовых поднятиях бассейнов могут быть открыты крупные нефтегазовые и

газовые месторождения. Относительно неглубокое залегание нижнемезозойских и верхнепалеозойских образований на южном склоне Северо-Чукотского бассейна делают этот район особенно интересным в качестве нефтегазопроисхождения. В глубоководных бассейнах потенциально нефтегазоносные объекты прогнозируются на участках, примыкающих к крупным выступам фундамента, отделяющим котловины от небольших впадин подножия склонов хребтов Ломоносова и Менделеева.

Проведение поисково-разведочных работ в рассмотренных бассейнах затруднено тяжелыми климатическими условиями со сложной ледовой обстановкой, значительной удаленностью от материка и не всегда удовлетворительным уровнем современных технологических средств. Готовиться к освоению труднодоступного Восточно-Арктического региона необходимо уже сейчас, чтобы через короткое время ситуация изменилась в лучшую сторону и будущие поколения с наименьшими затратами и без нанесения ущерба природе смогли воспользоваться его углеводородными ресурсами.

Работа обеспечена базовым финансированием за счет субсидии по теме №0135-2016-0022 ФАНО.

Литература

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.

Баженова О.К. Аутигенная нефтеносность – свойство глинисто-кремнистых толщ // Геология и геохимия горючих ископаемых. - М.: ВНИИЗарубежгеология, 1995. - С. 129-135.

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Богоявленская О.В., Никонов Р.А. Перспективы нефтегазоносности седиментационных бассейнов и фундамента Циркумарктического региона // Геология нефти и газа. – 2017. – № 5. – С. 5-20.

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Никонов 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.

Богоявленский В.И., Полякова И.Д., Будагова Т. А., Богоявленский И.В., Данилина А.Н. Геолого-геофизическая изученность и нефтегазоносность акваторий Циркумарктического сегмента Земли // Геология нефти и газа. – 2011. – № 6. – С. 45–58.

Борукаев Г.Ч. Органическая геохимия палеозой-триасовых отложений острова Врангеля // Геология нефти и газа. –2017. – № 4. – С. 79-89.

Бурлин Ю.К., Шпелькевич Ю.В. Основные черты тектонического развития осадочных бассейнов в западной части шельфа Чукотского моря и перспективы их нефтегазоносности // Геотектоника. – 2006. – № 2. – С. 65-82.

Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю.

Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. – 2013. – Т.54. – № 8. – С. 1083-1107.

Виноградов В.А., Гусев Е.А., Рекант П.В., Пяткова М.Н. Особенности формирования осадочного чехла Таймырско-Аляскинской области Арктики (с позиции структурных связей в системе шельф-океан) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2016. - Т.11. - №1. - http://www.ngtp.ru/rub/4/10_2016.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/10_2016

Гресов А.И., Обжиров А.И., Яцук А.В. Газоносность донных осадков и геохимические признаки нефтегазоносности шельфа Восточно-Сибирского моря // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т.36. – № 4. – С.77-84.

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.

Иванов В.В. Осадочные бассейны Северо-Восточной Азии. - М.: Наука, 1985. – 215 с.

Казмин Ю.Б., Лобковский Л.И., Кононов М.В. Геодинамическая модель развития Американо-Арктического 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.

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.

Клубов Б.А. Природные битумы Севера. - М.: Наука, 1983. – 208 с.

Константинов А.Г., Соболев Е.С., Ядренкин А.В. Стратиграфия триаса восточной части побережья моря Лаптевых и Новосибирских островов // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1028-1046.

Косько М.К., Соболев Н.Н., Кораго Е.А., Проскурнин В.Ф., Столбов Н.М. Геология Новосибирских островов – основа интерпретации геофизических данных по Восточно-Арктическому шельфу России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 2. - http://www.ngtp.ru/rub/5/17_2013.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2013

Крупская 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.

Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шитлов Э.В. Геодинамическая модель тектонического развития Арктики в мезозое и кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России // Геотектоника. – 2013. – № 1. – С. 1-32 .

Лазуркин Д.В. Новый метод выделения зон протокатагенеза, мезокатагенеза и апокатагенеза по пластовым сейсмическим скоростям в терригенном осадочном чехле // Докл. РАН. – 2011. – Т. 437. – С. 212-214.

Леончик М.И., Сенин Б.В. Дельтовые и турбидитные комплексы арктической окраины России – перспективные направления поиска крупных систем скоплений углеводородов // Арктика – нефть и газ 2015: материалы всероссийской конференции с международным участием (г. Москва, 21-23 апреля 2015 г.). - ИПНГ РАН, 2015.

Лисицын А.П. Вклад эндогенного вещества в океанскую седиментацию // Литология на новом этапе развития геологических знаний. - М.: Наука, 1981. – С.20-45.

Лоджевская М.И. Количественная оценка нефтегазоносности с позиций глубинного

происхождения углеводородов // Геология нефти и газа. – 2015. – № 5. – С.52-61.

Морозов А.Ф., Шкатов М.Ю., Корнеев О.Ю., Кашубин 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.

Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология / Под ред. М.К. Косыко и В.И. Ушакова. – СПб: ВНИИОкеангеология, 2003. - 137 с

Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9. – № 3. http://www.ngtp.ru/rub/4/39_2014.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/39_2014

Половков В.В. Выявление залежи углеводородов в Восточно-Сибирском море с помощью совместного использования отраженных и преломленных сейсмических волн // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6. – № 4. - http://www.ngtp.ru/rub/5/39_2011.pdf

Полякова И.Д. Нефтегазоматеринские толщи Арктики // Литология и полезные ископаемые. – 2015. – № 1. – С.30-54.

Полякова И.Д. Перспективные нефтегазоносные бассейны шельфа Чукотского и Восточно-Сибирского морей // Фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа и развития нефтегазового комплекса России. - М.: ГЕОС, 2007. – С.137-147.

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.

Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч., Сидоренко Св.А. Потенциальная нефтегазоносность Восточно-Сибирского моря // Геология нефти и газа. – 2017. – № 1. – С.16-28.

Поселов В.А., Буценко В.В., Верба В.В., Жолондз С.М., Трухалев А.И. 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.

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.

Слободин В.Я., Ким Б.И., Степанова Г.В., Коваленко Ф.Я. Расчленение разреза Айонской скважины по новым биостратиграфическим данным // Стратиграфия и палеонтология мезо-кайнозоя Советской Арктики. - Изд-во ПГО «Севморгеология», 1990. – С. 43-58.

Филатова Н.И. К генезису купола Де Лонга // Докл. РАН. – 2007. – Т. 413. – № 4. - С. 520-524.

Хаин В.Е., Полякова И.Д. Геодинамические предпосылки нефтегазоносности континентального склона глубоководных впадин // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – № 1. – С. 3-11.

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.

Хаин В.Е., Полякова И.Д. Шельфово-склоновые бассейны и их возможная

нефтегазоносность в Восточной Арктике // Нефть и газ Арктики. - М.: Интерконтакт Наука, 2007. – С. 50-58.

Хаин В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И. Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики // Геология и геофизика. - 2009. – Т. 50. – № 4. – С. 443-460.

Хаин В.Е., Филатова Н.И., Полякова И.Д., Чехович В.Д. Тектоническая карта Восточной Арктики (Гл. ред. В.Е. Хаин). Масштаб 1:2 500000. - Москва (ГИН РАН), Новосибирск (ИНГГ СО РАН), 2011.

Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. Геотермия Арктического бассейна: проблемы и решения // Геология полярных областей Земли: материалы XLII Тектонического совещания. – 2009. – Т. 2. – С. 275-279.

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.

Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Løvlie R., Pälike H., Spofforth D., Gattacecca J., Moran K., King J., Heil Ch. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // *Paleoceanography*. – 2006. – V.23. – N 1.

Craig J.D., Sherwood K.W. Economic study of the Burger gas discovery, Chukchi shelf, Northwest Alaska. – 2004. - <http://www.mms.gov/alaska/re/reports/rereport.htm>

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).

Sekretov S.B. Structure and tectonic evolution of the southern Eurasia Basin, Arctic Ocean // *Tectonophysics*. – 2002. – V. 351. – P. 193-243.

Polyakova I.D.

Federal State Budgetary Institute of Science Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (GIN RAS), Moscow, Russia, borukaeva@yandex.ru

Borukaev G.Ch.

Moscow, Russia, gborukaev@mail.ru

GEOPHYSICAL AND LITHOLOGICAL-GEOCHEMICAL REQUIREMENTS OF OIL AND GAS INDUSTRY OF THE DEEP AND SHELF BASINS OF THE RUSSIAN EASTERN ARCTIC

In the Aptian-Cenozoic study of each of the sedimentary basins in the eastern Arctic, five identically dated seismic-stratigraphic complexes have been identified reflecting the relationship of the rift systems of the eastern Arctic shelves and the deep-water basins of the Central Arctic region. Lithological composition and thickness of deposits, types and thermal maturity of organic matter were reconstructed. The reconstruction is based on data from seismic profiling, underwater drilling, and study of bottom sediment samples, seismic velocity analysis and assessment of oil and gas prospects of the neighboring Arctic shelf.

At the present stage, generation and accumulation capabilities are characteristic mainly of the Upper Cretaceous and Cenozoic fluidodynamic systems of the sedimentary cover. The Paleozoic-Mesozoic rocks of the acoustic basement (in the absence of catagenetic unconformity at its boundary) serve as a secondary source of hydrocarbons entering the fractures of the fault zones into the sedimentary cover of the basins. The shelf North Chukchi and the shelf-slope of the Fore-Eastern Siberian basins are the most promising in the oil and gas bearing respect, the productivity of which is predicted in a wide range, basins which also extends to great depths.

Large oil and gas and gas accumulations can be discovered on the slopes and horst elevations of the basins. The relatively shallow occurrence of Lower Mesozoic and Upper Paleozoic formations on the southern slope of the North Chukchi Basin makes this region particularly attractive as oil and gas prospect. In the deep-water basins belonging to the high-latitude Arctic, potentially oil-and-gas bearing targets are assumed in areas adjacent to the major basement uplifts, which separates the large basins from the small basins of the foot of the slopes of the Lomonosov and Mendeleev Ridges.

Keywords: *seismostratigraphic sections, oil and gas reservoirs, catagenetic maturity of organic matter, fluid dynamic systems, centre of oil and gas formation, potentially oil and gas bearing targets, Russian Eastern Arctic.*

References

Artyushkov E.V., Chekhovich P.A. *Glubokovodnye osadochnye basseyny v akvatorii rossiyskoy Arktiki: mekhanizmy obrazovaniya, perspektivy neftegazonosnosti, obosnovanie prinadlezhnosti k kontinental'nomu shel'fu* [Deep-water sedimentary basins in the water area of the Russian Arctic: the mechanisms of formation, the prospects for oil and gas, elements for belonging to the continental shelf]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 2 (18), p. 26-34.

Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Løvlie R., Pälike H., Spofforth D., Gattacecca J., Moran K., King J., Heil Ch. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge. *Paleoceanography*, 2006, vol.23, no. 1.

Bazhenova O.K. *Autigennaya neftenosnost' – svoystvo glinisto-kremnistykh tolshch* [Authigenic oil-bearing property is a property of clay-siliceous strata]. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh*. Moscow: VNIIZarubezhgeologiya, 1995, p. 129–135.

Bogoyavlenskiy V.I., Bogoyavlenskiy I.V., Bogoyavlenskaya O.V., Nikonov R.A. *Perspektivy neftegazonosnosti sedimentatsionnykh basseynov i fundamenta Tsirkumarkticheskogo regiona* [Prospects of oil and gas content of sedimentary basins and the basement of the Circumarctic region]. *Geologiya nefti i gaza*, 2017, no. 5, p. 5-20.

Bogoyavlenskiy V.I., Bogoyavlenskiy I.V., Nikonov R.A., Shuster V.L. *Perspektivy neftegazonosnosti Kanadskoy glubokovodnoy kotloviny i sopredel'nykh 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), p. 61-69.

Bogoyavlenskiy V.I., Polyakova I.D., Budagova T.A., Bogoyavlenskiy I.V., Danilina A.N. *Geologo-geofizicheskie issledovaniya neftegazonosnosti akvatoriy Tsirkumarkticheskogo segmenta Zemli* [Geological and geophysical studies of petroleum potential of offshore of circumarctic segment of the Earth]. *Geologiya nefti i gaza*, 2011, no. 6, p. 45-58.

Borukaev G.Ch. *Organicheskaya geokhimiya paleozoy-triasovykh otlozheniy ostrova Vrangelya* [Organic geochemistry of Paleozoic-Triassic sequences of Wrangel Island]. *Geologiya nefti i gaza*, 2017, no. 4, p. 79-89.

Burlin Yu.K., Shipel'kevich Yu.V. *Osnovnye cherty tektonicheskogo razvitiya osadochnykh basseynov v zapadnoy chasti shel'fa Chukotskogo morya i perspektivy ikh neftegazonosnosti* [The main features of the sedimentary basins tectonic development in the western part of the Chukchi shelf and their oil and gas potential prospects]. *Geotektonika*, 2006, no.2. p. 65-82.

Chernykh A.A., Krylov A.A. *Sedimentogenez v kotlovine Amundsena v svete geofizicheskikh dannykh i materialov bureniya na khrebte Lomonosova* [Amundsen Basin sedimentogenesis in the Light of Geophysical and Drilling Data on the Lomonosov Ridge]. *DAN*, 2011, vol. 440, no. 4, p. 516-520.

Craig J.D., Sherwood K.W. Economic study of the Burger gas discovery, Chukchi shelf, Northwest Alaska. 2004. <http://www.mms.gov/alaska/re/reports/rereport.htm>

Derevyanko L.G., Gusev E.A., Krylov A.A. *Palinologicheskaya kharakteristika melovykh otlozheniy khrebta Lomonosova* [Palynological features of Lomonosov Ridge Cretaceous deposits]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2009, no. 2(82), p. 78-84.

Filatova N.I. *K genezisu kupola De Longa* [To the genesis of the dome of De Long]. *Dokl. RAN*, 2007, vol. 413, no. 4, p. 520-524.

Gresov A.I., Obzhirov A.I., Yatsuk A.V. *Gazonosnost' donnykh osadkov i geokhimicheskie priznaki neftegazonosnosti shel'fa Vostochno-Sibirskogo morya* [Gas bearing sediment and geochemical features of oil and gas East Siberian Sea bearing shelf]. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2017, vol.36, no. 4, p.77-84.

Ivanov V.V. *Osadochnye basseyny Severo-Vostochnoy Azii* [Sedimentary basins of Northeast Asia]. Moscow: Nauka, 1985, 215 p.

Kazmin Yu.B., Lobkovskiy L.I., Kononov M.V. *Geodinamicheskaya model' razvitiya Ameraziyskogo basseyna Arktiki (k obosnovaniyu prinadlezhnosti khrebta Lomonosova, podnyatiya Mendeleeva i kotloviny Podvodnikov k Rossiyskoy materikovoy okraine)* [Geodynamic model of the development of the Amerasian Arctic Basin (involving the proved belonging to Lomonosov Ridge, the Mendeleev Rise and the Podvodnik Basin assigned to the Russian Mainland)]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2014, no. 4 (16), p.14-27.

Khain V.E., Filatova N.I., Polyakova I.D., Chekhovich V.D. *Tektonicheskaya karta Vostochnoy Arktiki* [Tectonic map of the Eastern Arctic area]. Editor V.E. Khain. Masshtab 1:2 500000. Moscow (GIN RAN), Novosibirsk (INGG SO RAN), 2011.

Khain V.E., Polyakova I.D. *Geodinamicheskie predposylki neftegazonosnosti kontinental'nogo sklona glubokovodnykh vpadin* [Geodynamic premises for oil and gas content of the continental slope of deep-sea depressions]. *Geologiya i geofizika*, 2004, vol. 45, no. 1, p. 3-11.

Khain V.E., Polyakova I.D. *Shel'fovo-sklonovye basseyny i ikh vozmozhnaya neftegazonosnost' v Vostochnoy Arktike* [Shelf-slope basins and their possible oil and gas potential in the Eastern Arctic]. *Neft' i gaz Arktiki*. Moscow: Interkontakt Nauka, 2007, p. 50-58.

Khain V.E., Polyakova I.D. *Uglerodistye metallonosnye otlozheniya i sobytiya okeanskoy anoksii v fanerozoyskoy istorii Zemli* [Carboniferous metalliferous ores and the events of ocean anoxia in the Phanerozoic history of the Earth]. *Okeanologiya*, 2012, vol. 52, no. 2. p. 423-436.

Khain V.E., Polyakova I.D., Filatova N.I. *Tektonika i neftegazonosnost' Vostochnoy Arktiki* [Tectonics and oil and gas content of the Eastern Arctic area]. *Geologiya i geofizika*, 2009, vol. 50,

no. 4, p. 443-460.

Khutorskoy M.D., Podgornykh L.V., Leonov Yu.G., Ermakov A.V., Akhmedzyanov V.R. *Geotermya Arkticheskogo basseyna: problemy i resheniya* [Geothermy of the Arctic Basin: Problems and Solutions]. *Geologiya polyarnykh oblastey Zemli. Materialy XLII Tektonicheskogo soveshchaniya*, 2009, vol. 2, p. 275-279.

Kim B.I., Glezer Z.I. *Osadochnyy chekhol khrebtâ Lomonosova (stratigrafiya, istoriya formirovaniya chekhla i struktury, vozrastnye datirovki seysmokompleksov)* [The sedimentary cover of the Lomonosov Ridge (stratigraphy, the history of the formation of the cover and structure, age dating of seismic sections)] *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2007, vol. 15, no. 4, p. 63-83.

Klubov B.A. *Prirodnye bitumy Severa* [Bitumen of the North]. Moscow: Nauka, 1983, 208 p.

Konstantinov A.G., Sobolev E.S., Yadrenkin A.V. *Stratigrafiya triasa vostochnoy chasti poberezh'ya morya Laptevykh i Novosibirskikh ostrovov* [Stratigraphy of the Triassic of the Eastern Seaboard of the Laptev Sea and Novosibirsk Islands]. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol. 54, no. 8, p. 1028-1046.

Kos'ko M.K., Sobolev N.N., Korago E.A., Proskurnin V.F., Stolbov N.M. *Geologiya Novosibirskikh ostrovov – osnova interpretatsii geofizicheskikh dannykh po Vostochno-Arkticheskomu shel'fu Rossii* [Geology of Novosibirskian Islands – a basis for interpretation of geophysical data on the Eastern Arctic shelf of Russia]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2013, vol. 8, no. 2, available at: http://www.ngtp.ru/rub/5/17_2013.pdf DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2013

Krupskaya V.V., Krylov A.A., Sokolov V.N. *Glinistye mineraly kak indikatory usloviy osadkonakopleniya na rubezhe mel–paleotsen-eotsen na khrebtâ 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), p.23-35.

Laverov N.P., Lobkovskiy L.I., Kononov M.V., Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Sokolov S.D., Shipilov E.V. *Geodinamicheskaya model' tektonicheskogo razvitiya Arktiki v mezozoe i kaynozoe i problema vneshney granitsy kontinental'nogo shel'fa Rossii* [Geodynamic model of tectonic development of the Arctic in the Mesozoic and Cenozoic time and the problem of the outer boundary of the continental shelf of Russia]. *Geotektonika*, 2013, no. 1, p. 1-32.

Lazurkin D.V. *Novyy metod vydeleniya zon protokatageneza, mezokatageneza i apokatageneza po plastovym seysmicheskim skorostyam v terrigenom osadochnom chekhle* [A new method for determining of protocatagenesis, mesocatagenesis and apocatagenesis zones from reservoir seismic velocities in a terrigenous sedimentary cover]. *Dokl. RAN*, 2011, vol. 437. p. 212-214.

Leonchik M.I., Senin B.V. *Del'tovye i turbiditnye komplekсы arkticheskoy okrainy Rossii – perspektivnye napravleniya poiska krupnykh sistem skopleniy uglevodorodov* [Delta and turbiditic complexes of the Arctic margin of Russia are promising areas for searching for large systems of hydrocarbon accumulations]. "Arktika – neft' i gaz 2015". 2015.

Lisitsyn A.P. *Vklad endogen'nogo veshchestva v okeanskuyu sedimentatsiyu* [The contribution of endogenous material to ocean sedimentation]. *Litologiya na novom etape razvitiya geologicheskikh znaniy*. Moscow: Nauka, 1981, p.20-45.

Lodzhevskaya M.I. *Kolichestvennaya otsenka neftegazonosnosti s pozitsiy glubinnogo proiskhozhdeniya uglevodorodov* [Quantitative estimation of oil and gas potential from the point of view of the deep origin of hydrocarbons]. *Geologiya nefti i gaza*, 2015, no. 5. p. 52-61.

Morozov A.F., Shkatov M.Yu., Korneev O.Yu., Kashubin S.N. *Kompleksnaya geologo-geofizicheskaya ekspeditsiya «Arktika-2012» po obosnovaniyu kontinental'noy prirody podnyatiya Mendeleeva v Severnom Ledovitom okeane* [Integrated geological-geophysical expedition "Arctic-2012" to substantiate the continental nature of Mendeleev's uplift in the Arctic Ocean]. *Razvedka i okhrana neдр*, 2014, no. 3. p. 22-27.

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).

Ostrov Vrangelya: geologicheskoe stroenie, minerageniya, geoekologiya [Wrangel Island: geological structure, mineralogy, geoecology]. Editors M.K. Kos'ko, V.I. Ushakov. St. Petersburg: VNIIOkeanologiya, 2003, 137 p.

Petrovskaya N.A., Savishkina M.A. *Sopostavlenie seysmokompleksov i osnovnykh nesoglasiy v osadochnom chekhle shel'fa Vostochnoy Arktiki* [Sedimentary cover of the Eastern Arctic shelf – comparison of seismic complexes and main unconformity]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2014, vol. 9, no. 3, available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/39_2014.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/39_2014

Polovkov V.V. *Vyyavlenie zalezhi uglevodorodov v Vostochno-Sibirskom more s pomoshch'yu sovmestnogo ispol'zovaniya otrazhennykh i prelomlennykh seysmicheskikh voln* [Identification of the hydrocarbon deposit in the East Siberian Sea by using of the reflected and refracted seismic waves]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2011, vol. 6, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/5/39_2011.pdf

Polyakova I.D. *Neftegazomaterinskie tolshchi Arktiki* [Sources rocks of the Arctic]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2015, no. 1, p.30-54.

Polyakova I.D. *Perspektivnye neftegazonosnye basseyny shel'fa Chukotskogo i Vostochno-Sibirskogo morey* [Perspective oil and gas bearing basins of the Chukchi and East Siberian seas]. *Fundamental'nye problemy geologii i geokhimii nefiti i gaza i razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii*. Moscow: GEOS, 2007, p.137-147.

Polyakova I.D., Borukaev G.Ch., Sidorenko Sv.A. *Perspektivy neftegazonosnosti shel'fovykh basseynov Chukotskogo morya (rossiyskiy sektor)* [Prospects of oil and gas content of the shelf basins of the Chukchi Sea (Russian sector)]. *Geologiya nefiti i gaza*, 2016, no. 1, p. 16-28.

Polyakova I.D., Borukaev G.Ch., Sidorenko Sv.A. *Potentsial'naya neftegazonosnost' Vostochno-Sibirskogo morya* [Potential oil and gas potential of the East Siberian Sea]. *Geologiya nefiti i gaza*, 2017, no. 1, p.16-28.

Poselov V.A., Butsenko V.V., Verba V.V., Zholondz S.M., Trukhalev A.I. *Podnyatiya Ameraziyskogo subbasseyna v Severnom Ledovitom okeane i ikh vozmozhnye analogi v Atlanticheskoy okeane* [The rise of the Amerasian sub-basin in the Arctic Ocean and their possible analogous basin in the Atlantic Ocean]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 2008, p. 275-288.

Rekant P.V., Gusev E.A. *Seysmogeologicheskaya model' stroeniya osadochnogo chekhla Prilaptevomorskoy chasti khr. Lomonosova i privileyushchikh chastey glubokovodnykh kotlovin Amundsena i Podvodnikov* [Seismogeological model of the structure of the sedimentary cover of the Prilaptev Sea part. Lomonosov and adjoining parts of Amundsen and Podvodnikov deep basins]. *Geologiya i geofizika*, 2012, vol.53, no. 11, p. 1497-1512.

Sekretov S.B. Structure and tectonic evolution of the southern Eurasia Basin, Arctic Ocean. *Tectonophysics*, 2002, vol. 351, p. 193-243.

Slobodin V.Ya., Kim B.I., Stepanova G.V., Kovalenko F.Ya. *Raschlenenie razreza Ayonskoy skvazhiny po novym biostratigraficheskim dannym* [The subdivision of the Ayon well section using new biostratigraphical data]. *Stratigrafiya i paleontologiya mezo-kaynozoya Sovetskoy Arktiki*. Izd-vo PGO «Sevmorgeologiya», 1990, p. 43-58.

Vernikovskiy V.A., Dobretsov N.L., Metelkin D.V., Matushkin N.Yu., Kulakov I.Yu. *Problemy tektoniki i tektonicheskoy evolyutsii Arktiki* [Problems of tectonics and tectonic evolution of the Arctic area]. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol.54, no. 8, p. 1083-1107.

Vinogradov V.A., Gusev E.A., Rekant P.V., Pyatkova M.N. *Osobennosti formirovaniya osadochnogo chekhla Taymyrsko-Alyaskinskoy oblasti Arktiki (s pozitsii strukturnykh svyazey v sisteme shel'f-ocean)* [Taimyr-Alaskan arctic region - formation of sedimentary cover from the point of view of structural relations 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. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/10_2016