

Новый взгляд на сейсмостратиграфию и углеводородные системы палеозойских отложений Северо-Карского шельфа



В.Е. Вержбицкий, к.г.-м.н., Р.Р. Мурзин, В.Е. Васильев, С.В. Малышева, В.В. Ананьев, к.г.-м.н., Д.К. Комиссаров (ООО «Газпромнефть НТЦ»), Ю.В. Рослов, к.ф.-м.н. (ООО «Сейсмо-Шельф»)

New look at the seismic stratigraphy and hydrocarbon systems of Paleozoic sedimentary rocks of North Kara shelf

V.E. Verzhbitsky, R.R. Murzin, V.E. Vasilyev, S.V. Malysheva, V.V. Ananyev, D.K. Komissarov (Gazpromneft NTC LLC), Yu.V. Roslov (Seismoshelf LLC)

North Kara shelf is one of the poorly explored, but highly prospective area for hydrocarbon discoveries in Russian Arctic. Based on marine seismic and onshore geology data we recognized three main unconformities within the North Kara shelf: Late Baikalian, Caledonian and Herzinian. We believe that general structural pattern of the North Kara region was formed in Late Carboniferous-Early Permian time as a result of collision-related orogeny of Taimyr-Severnaya Zemlya domain. The re-interpretation of seismic data and subsequent basin modeling led us to conclusion that North Kara may represent mostly gas-bearing basin due to the high maturity of Lower Paleozoic source rocks.

Ключевые слова: Северо-Карский шельф, тектоническая структура, сейсмостратиграфия, бассейновое моделирование, прогноз нефтегазоносности.
Адреса для связи: Verzhbitskiy.VE@gazpromneft-ntc.ru, Murzin.RR@gazpromneft-ntc.ru

Расшифровка геологической структуры шельфа северной части Карского моря (рис. 1) важна как для восстановления геодинамической истории Арктики, так и для выявления перспектив нефтегазоносности рассматриваемого региона [1-3]. При этом при отсутствии морских скважин на шельфе северной части Карского моря на вопрос о стратиграфическом диапазоне и расчленении осадочного чехла нельзя ответить однозначно.

Корреляция выделенных авторами сейсмокомплексов по опорному профилю 3-AP (рис. 1, 2) (материалы получены ФГНПП «Севморгео») проводилась прежде всего со стратиграфическими подразделениями архипелага Северная Земля. В целом авторы применяли тот же подход, что и специалисты «Севморгео» [3], однако принципы выделения и возрастной привязки ключевых горизонтов были существенно пересмотрены. Согласно основным положениям ранее проведенной интерпретации «рифейские, кембрийские и ордовикские отложения характеризуются отсутствием крупных несогласий», а фиксируемые на суше перерывы за пределами архипелага на шельфе не прослеживаются, при этом «вся толща нижнего-среднего палеозоя мощностью около 9500 м характеризуется удивительно согласным залеганием» [3].

По мнению авторов, эти утверждения представляются достаточно спорными. Известно, что Северо-Карский регион в течение палеозоя находился в зоне влияния позднебайкальского, каледонского и герцинского тектогенеза. Соответственно описываемый в

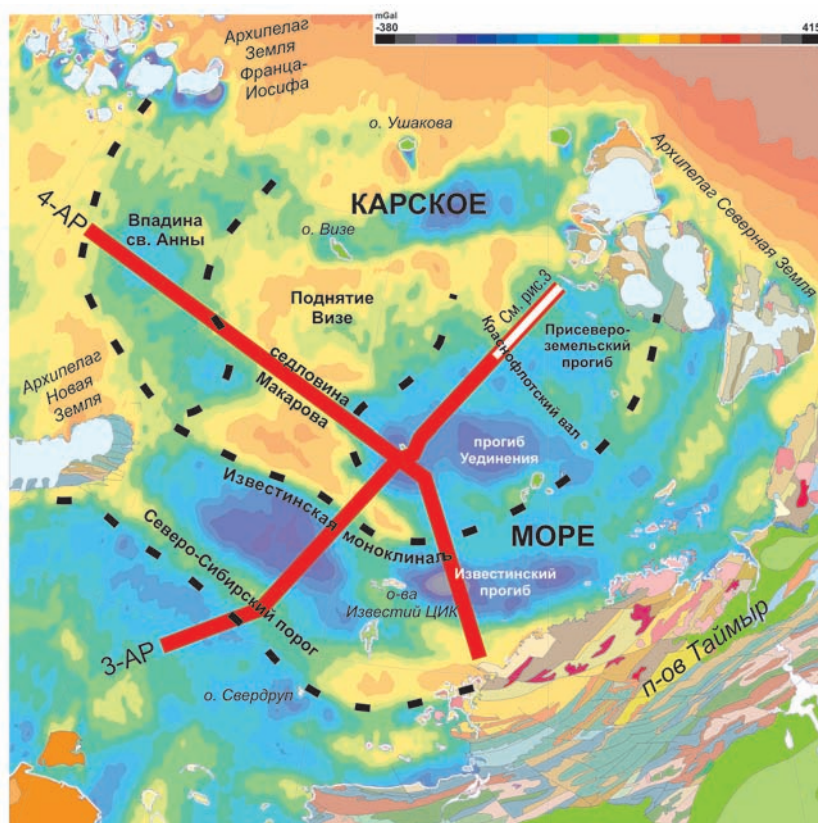


Рис. 1. Обзорная карта Северо-Карского региона, составленная на основе карты аномалий поля силы тяжести [12] с использованием геологической карты [13]

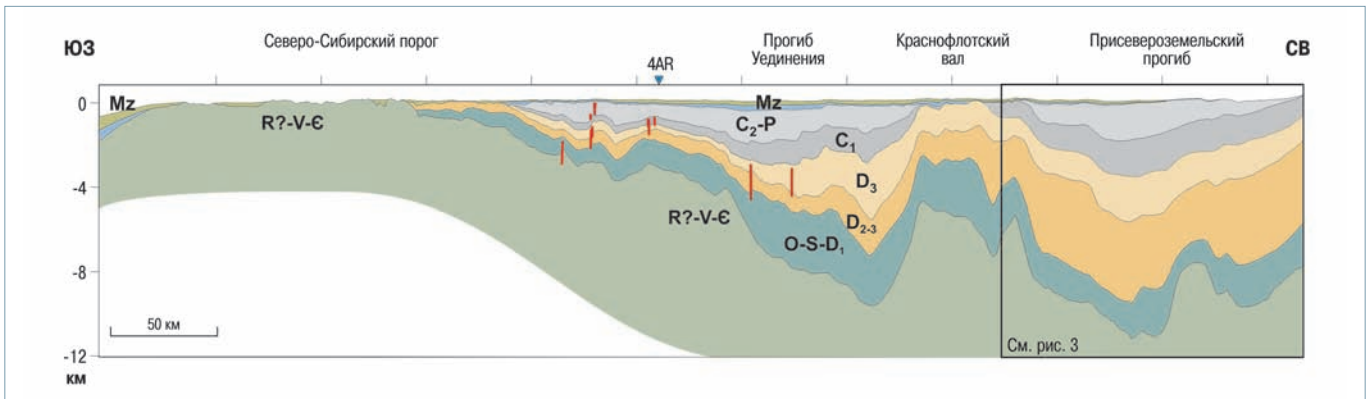


Рис. 2. Интерпретированный разрез по опорному профилю 3-AP, составлен с учетом [2, 3, 10, 14]

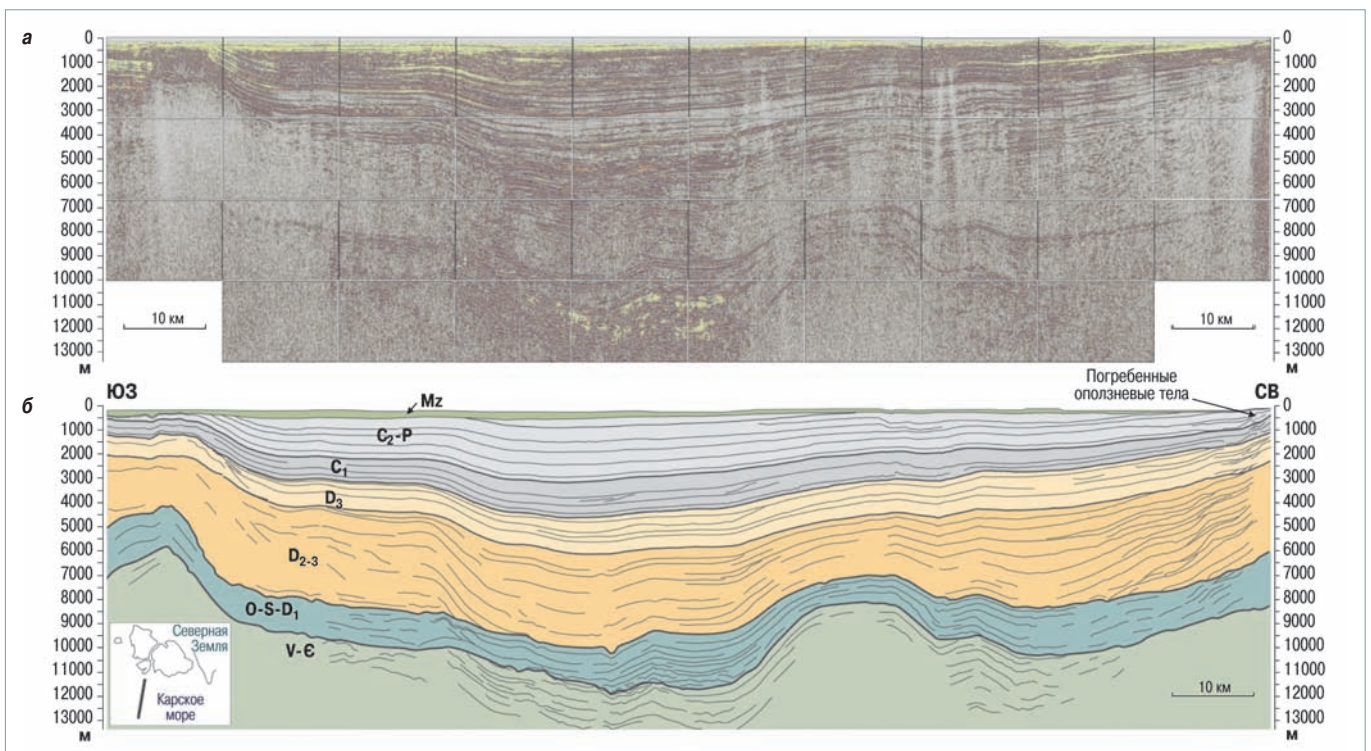


Рис. 3. Структура и сейсмостратиграфия Присевероземельского прогиба как основа для стратификации отражающих горизонтов Северо-Карского шельфа:

а – фрагмент опорного профиля 3-AP (положение профиля показано на рис. 1, 2); б – интерпретированный разрез профиля

статье подход к интерпретации сейсмических данных строился на выделении основных несогласий, разделяющих существенно различающиеся по внутренней структуре сейсмотолщи. Для возрастной привязки выделенных единиц была использована информация о региональных тектонических событиях, выраженных в изменении фациальных обстановок осадконакопления, а также о наличии крупных перерывов и несогласий.

Прежде всего авторы обратили внимание на наличие вблизи основания видимого стратифицированного разреза отчетливого углового несогласия компрессионной природы, фиксируемого на глубинах около 8-10 км (рис. 3). Данная граница была сопоставлена с резким угловым несогласием в основании ордовикских отложений о-ва Октябрьской Революции [2, 4-6]. Таким образом, в качестве нижней опорной границы на сеймопрофилях была выбрано несогласие, фиксирующее проявление региональной фазы позднебайкальского сжатия.

Конформно слоистый комплекс, перекрывающий поверхность предордовикского несогласия, характеризуется достаточно выдержанной толщиной (около 2 км). Он был сопоставлен с ордовикско-раннедевонскими терригенно-карбонатными отложениями островов, соот-

ветствующих комплексу фаций карбонатной платформы с подчиненным распространением лагунных эвапоритовых обстановок [4-6]. Вышележащий сейсмический комплекс перекрывает нижележащие горизонты с ярко выраженным подошвенным прилеганием и характеризуется проградационным строением. При этом клиноформы заполняют бассейн со стороны как архипелага Северная Земля, так и других локальных поднятий.

Такое очевидное различие между этими двумя сейсмокомплексами позволяет предполагать резкую смену тектоноседиментационного режима и в определенной степени облегчает проведение корреляций с комплексами суши. Еще известный геолог, академик АН СССР Д.В. Наливкин в 1973 г. указывал, что девонские отложения архипелага Северная Земля представляют собой типичные континентальные красноцветные песчаники каледонской молассы «Олд Ред», весьма сходные с отложениями Шпицбергена и других северных каледонид.

Примерно на 700 м выше предполагаемой кровли девонских отложений выделяется клиновидное оползневое тело, обращенное острым концом от архипелага Северная Земля. Клиновидное тело, как и рефлекторы нижележащих горизонтов, смяты в СВ-вергентные (в плоско-

сти разреза) асимметричные Z-складки, которые также могут быть описаны как складки срыва или взбросо-складки [7]. Морфология складок свидетельствует о восточном направлении тектонического транспорта согласно общей вергентности складчато-надвиговых структур архипелага Северная Земля. По мнению авторов, время формирования данной клиновидной пачки отвечает началу герцинской деформации и воздымания Таймыро-Североземельского региона в середине карбона [8]. Соответственно нижележащая толща должна соответствовать нижнему карбону, вышележащая – верхнему карбону–перми.

Накопление вышележащего синколлизионного комплекса может быть пролонгировано по времени по крайней мере до кунгурского века нижней перми (275 млн. лет), вполне возможно и до капитанского века (264 млн. лет) верхней перми (гвадалупий). В то же время основной верхнепермский осадочный комплекс, накопление которого должно происходить синхронно внедрению постколлизионных гранитов (264-258 млн. лет) [8], может залегать выше границы верхнего несогласия, условно указанного авторами как подошва мезозоя (см. рис. 3). Трассирование поверхности предполагаемого предордовикского несогласия и вышележащих границ в палеозойском осадочном комплексе по профилю 3-AP не выявило наличия амплитудных разрывных нарушений и крупных рифей-кембрийских структур растяжения, предполагавшихся ранее специалистами ФГНПП «Севморгео», ООО «Сейсмо-Шельф». Тем не менее авторы не исключают возможности проявления в регионе раннеордовикского рифтинга [2].

В целом осадочный разрез вовлечен в положение складкообразования с признаками конседиментационной деформации на различных уровнях. По-видимому, генеральный структурный стиль Северо-Карского региона («платформенных» внутриплитных деформаций согласно работе [1]) был сформирован в карбоне – перми в результате горизонтальных напряжений коллизионного сжатия со стороны таймырско-североземельского орогена. В восточной (притаймырской) части профиля 4-AP наблюдается Известинский грабенообразный прогиб, наложенный на герцинский складчатый фундамент [9, 10]. Авторы данной работы предполагают присдвиговую (пулл-апарт) природу этого прогиба, а его формирование связывают с таймырскими правосторонними компрессионными сдвигами, проявившимися в триасе [11]. В целом мезозойские деформации п-ова Таймыр, по-видимому, не оказали такого существенного воздействия на внутреннюю структуру чехла Северо-Карского шельфа, как предшествующие им палеозойские.

Наибольший аплифт и размыв регион испытал в герцинское время, в течение позднего карбона – перми: толщина осадочного чехла Северо-Сибирского порога уменьшилась на 3 км, поднятия Визе – не более чем на 2,5 км. Расположение источников сноса определялось исходя из геодинамической истории региона и сейсмостратиграфического анализа. Согласно результатам седиментационного моделирования литологический состав Северо-Карского бассейна достаточно разнообра-

зен. Начиная с ордовика, карбонатные постройки формировались как в зоне внутришельфовых поднятий, так и по краю бассейна. В зоне открытого шельфа преобладают глины и мергели. В зонах, прилегающих к суше, на западе и в большей степени на востоке развиваются лагунные фации, накапливаются гипсы, ангидриты, седиментационные доломиты. В среднем девоне поступление большого объема осадков с каледонского орогена с запада и востока вызвало лавинную седиментацию, которая сопровождалась развитием олистостром и оползней. В позднем фране – раннем карбоне установился трансрессивный режим осадконакопления, в разрезе снова стали преобладать карбонаты. В разрезе верхнего карбона и нижней перми увеличилась доля терригенного материала, осадконакопление сопровождалось ростом поднятий и частичным размывом древних толщ. Заканчивается разрез маломощной толщей преимущественно терригенных пород верхней перми(?) – мезозоя.

На основе новой сейсмостратиграфической схемы Северо-Карского региона было проведено моделирование углеводородных систем. Их основными элементами стали карбонатно-терригенный ордовикско-нижнедевонский и преимущественно терригенный среднедевонский резервуары, покрышками для которых выступают соответственно глинистые отложения нижнего и верхнего девона. В качестве нефтегазоматеринских (НГМ) свит выделены глинистые и глинисто-карбонатные отложения нижнего ордовика, нижнего и верхнего силура, нижнего девона (рис. 4).

Выполненные в рамках бассейнового моделирования палеорекострукции показали, что к моменту образования основных структурных элементов отложения основных НГМ горизонтов полностью реализовали свой потенциал и вышли из главной фазы нефтеобразования (ГФН). Ко времени герцинских тектонических процессов (пермского аплифта) и формирования Центрально-Карского поднятия основная генерация жидких углеводородов в материнских отложениях в южной области Присевероземельского прогиба, прогибах Уединения и Св. Анны уже завершилась. Генерация углеводородов продолжается локально, в тех зонах, где НГМ отложения остаются в ГФН, с последующей миграцией в направлении сформировавшихся поднятий. Результаты моделирования показали, что жидкие углеводороды, сформированные в догерцинский этап, подвергались вторичному крекингу или были вытеснены газом, образовавшимся в НГМ отложениях при вступлении их в главную фазу газообразования.

Таким образом, по результатам проведенного моделирования установлена преимущественная газоносность бассейна. Основные объемы газа в карбонатно-терригенных породах ордовикско-нижнедевонского нефтегазового комплекса (НГК) толщиной до 2-2,5 км прогнозируются в пределах крупных региональных поднятий: Визе и Краснофлотского вала (северная часть) (рис. 5). Скопления газа прогнозируются в южной части Присевероземельского

Элементы углеводородных систем	Палеозой																
	Ордовик					Силур				Девон							
	нижний		средний			верхний	пландо-верийский	венлокский	лудловский	пржидольский	нижний		средний	верхний			
	O _{1t}	O _{1a}	O ₂₁	O _{21d}	O _{2k}	O _{3as}	S ₁₁	S _{1v}	S _{21d}	S _{2p}	D _{1z}	D _{1zg}	D _{1e}	D _{2ef}	D _{2zv}	D _{3f}	D _{3fm}
НГМ горизонт																	
Коллектор																	
Покрышка																	

Рис. 4. Элементы углеводородных систем отложений Северо-Карского региона

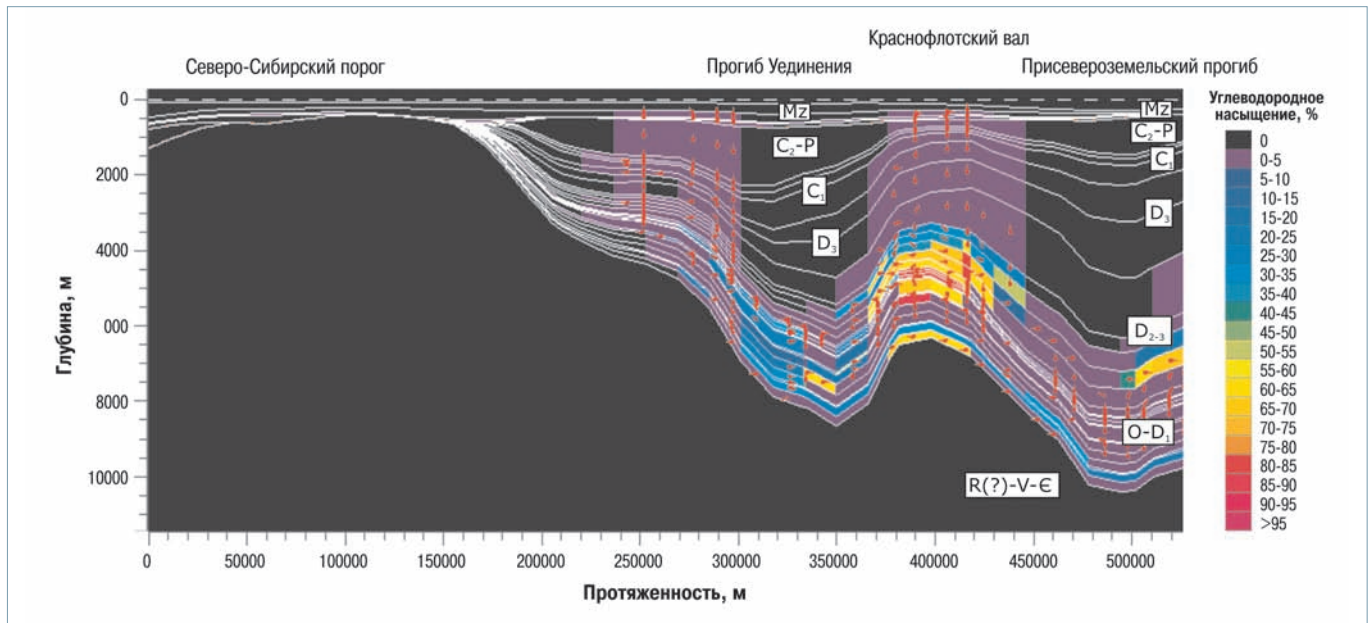


Рис. 5. Схема углеводородного насыщения отложений Северо-Карского региона по профилю 3-AP

прогиба вдоль склона Известинской моноклинали. В преимущественно терригенных отложениях среднедевонского комплекса толщиной более 2 км крупные скопления газа ожидаются в зоне Краснофлотского вала и по восточному борту Присевероземельского прогиба, а также на поднятии Визе. Наибольшие объемы жидких углеводородов ордовикско-нижнедевонского НГК мигрировали в направлении поднятия Визе. В среднедевонском НГК их скопления прогнозируются на Краснофлотском вале, поднятии Визе, седловине Макарова и склоне Известинской моноклинали.

Выводы

1. Подошва ордовикского комплекса на шельфе представляет собой региональное угловое несогласие и залегает значительно ниже (приблизительно на 3 км), чем предполагалось ранее. Исходя из этого существенно возрастает толщина всего палеозойского комплекса Северо-Карского бассейна. Рифей-кембрийские комплексы не выполняют отдельные грабены, но смяты в складки более интенсивно, чем вышележащие комплексы. Крупных структур растяжения в основании палеозойского чехла, по имеющимся данным, не выявлено.

2. Основные тектонические процессы, при которых сформировался современный облик Северо-Карского бассейна, происходили в позднебайкальской (первая фаза складкообразования), каледонской (молассовые отложения типа «Олд Ред») и герцинской (последняя фаза складкообразования) орогении.

3. Северо-Карский бассейн является преимущественно газоносным в связи с высокой зрелостью предполагаемых ордовикско-силурийских нефтегазоматеринских отложений, что подтверждено сейсмическими данными и результатами проведенного бассейнового моделирования.

Авторы выражают благодарность Н.Н. Косенковой (ООО «Газпромнефть НПС») и А.К. Худолею (Санкт-Петербургский гос. университет) за помощь в проведении работы, Виктории Пииз (Стокгольмский университет) за предоставленную возможность участвовать в международных научных семинарах по эволюции литосферы Арктики (CALE), а также Пьеру-Иву Шене и Мариш Сен-Жермес (VeicifFranlab) за советы при моделировании бассейнов Карского моря.

Список литературы

1. Богданов Н.А., Хаин В.Е. Тектоническая карта морей Карского и Лаптевых и севера Сибири м-ба 1:2 500 000. Объяснительная записка. – М.: Институт литосферы РАН, 1998. – 127 с.
2. Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview, in B.A. Vinning, S.C. Pickering, eds. Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers. – Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference: Geological Society London. – 2010. – V. 7. – P. 591-619, doi: 10.1144/0070591.
3. Палеозойские отложения Карского шельфа и их нефтегенерационный потенциал (по материалам работ на опорных профилях)/Ю.И. Матвеев, М.А. Верба, Г.И. Иванов (и др.)//Нефть и газ Арктики. М.: Интерконтакт Наука, 2007. – С. 156-166.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Листы Т-45-47 (о. Октябрьской Революции) Т-48-50 (о. Большевик). Объяснительная записка. – СПб: Изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2003. – 213 с.
5. Северная Земля. Геологическое строение и минерагения/под ред. И.С. Грамберга, В.И. Ушакова. – СПб.: ВНИИОкеанологии, 2000. – 187 с.
6. Geology of the Severnaya Zemlya Archipelago and the North Kara Terrane in the Russian high Arctic/H. Lorenz, P. Mannik, D. Gee, V. Proskurnin//Int J Earth Sci (Geol Rundsch). – 2008. – V. 97. – P. 519-547.
7. Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В. Разломы: морфология, геометрия и кинематика. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. – 148 с.
8. Верниковский В.А. Тектоническое строение Таймыр-Североземельского региона и его геодинамическая эволюция//Геология полярных областей Земли. – 2009. – Т. 1. – С. 90-94.
9. Дареган-Суцова Л.А., Петров О.В., Дареган-Суцов Ю.И. Северо-Карский регион – часть Баренцевоморского мегапрогиба или самостоятельная структура?//Тр. RAO / CIS OFFSHORE, 2011. – С. 54-60.
10. Depth model of the Barents and Kara seas according to geophysical surveys results/N.M. Ivanova, T.S. Sakulina, I.V. Belyaev (et al)//Arctic Petroleum Geology. – 2011. – V. 35. – P. 209-221.
11. Inger S., Scott R.A., Galionko B.G. Tectonic evolution of the Taimyr Peninsula, northern Russia: implications for Arctic continental assembly//Journal of the Geological Society. – 1999. – V. 155. – P. 1069-1072.
12. Sandwell D.T., Smith W.H.F. Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge Segmentation versus spreading rate//J. Geophys. Res. – 2009. B01411, doi:10.1029/2008JB006008.
13. Geological map of the Arctic/J.C. Harrison, M.R. St-Onge, O. Petrov (et al.)//Geological Survey of Canada. Open File 5816, scale 1:5 000 000, 2008.
14. Шипилов Э.В., Шкарубо С.И. Современные проблемы геологии и тектоники осадочных бассейнов Евразийско-Арктической континентальной окраины. Т. I. Литолого- и сейсмостатиграфические комплексы осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа. ММБИ КНЦ РАН. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. – 266 с.