



СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, МОДЕЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

В.А. Конторович

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,
e-mail: KontorovichVA@jggg.sbras.ru*

Анализ сейсмических разрезов по морю Лаптевых показал, что в западной части акватории развит осадочный бассейн, мощность платформенных отложений в котором составляет 15–20 км. Выполнена комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов по континентальной окраине Сибирской платформы и акватории моря Лаптевых, проведено сопоставление сейсмогеологических моделей осадочных комплексов на континенте и в море, выполнен анализ гравитационных и магнитных аномалий. Результаты исследований показали, что западная часть моря Лаптевых в геологическом плане представляет собой северное продолжение Сибирской платформы. Перспективы нефтегазоносности этой части акватории будут связаны с верхнепротерозойско-среднепалеозойскими карбонатными отложениями и пермско-мезозойскими терригенными осадочными комплексами.

Шельф; сейсмический разрез; волновые и потенциальные поля; сейсмокомплекс; осадочный чехол; фундамент; Море Лаптевых; Сибирская платформа; Хатангский залив

SEISMOGEOLOGICAL CHARACTERISTICS, MODEL OF GEOLOGICAL STRUCTURE AND OIL AND GAS POTENTIAL OF THE LAPTEV SEA SHELF

V.A. Kontorovich

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,
e-mail: KontorovichVA@jggg.sbras.ru*

Analysis of seismic cross sections in the Laptev Sea showed that a sedimentary basin is developed in the western part of the water area, the thickness of platform deposits in which is 15–20 km. A complex interpretation of geological and geophysical materials on the continental margin of the Siberian platform and the Laptev Sea water area was carried out, seismogeological models of sedimentary complexes on the continent and in the sea were compared, and gravity and magnetic anomalies were analyzed. The research results showed that the western part of the Laptev Sea, in geological terms, is a northern continuation of the Siberian platform. The oil and gas potential of this part of the water area will be associated with the Upper Proterozoic-Middle Paleozoic carbonate deposits and Permian-Mesozoic terrigenous sedimentary complexes.

Shelf, seismic cross-section, wave fields, seismic complex, sedimentary cover, basement; Laptev Sea, Siberian Platform, Khatanga Bay

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее внимание геологов, геофизиков, нефтяников и газовиков привлекают арктические регионы Сибири и шельфы северных морей. В Западной Сибири вводятся в разработку месторождения, расположенные на побережье Карского моря на п-вах Ямал и Гыданский. На Сибирской платформе целенаправленные нефтепоисковые работы проводятся на северо-востоке Красноярского края и северо-западе республики Саха (Якутия) на побережье моря Лаптевых. В 2013 г. в Хатангском заливе в непосредственной близости от о. Бегичев компанией «Роснефть» открыто первое в этом регионе промышленно-значимое Центрально-Ольгинское месторождение, залежь нефти на котором сконцентрирована в пермских песчаных резервуарах. Одновременно выполнены региональные сейсморазведочные работы МОГТ в акваториях Карского моря и моря Лаптевых.

По результатам геолого-экономической оценки, выполненной специалистами ИНГГ СО РАН под руководством академика А.Э. Конторовича, уже во второй половине XXI в. главные центры добычи углеводородов в России переместятся на шельфы арктических морей, где начальные ресурсы нефти, газа и конденсата составляют порядка 140 млрд тонн [Конторович, 2010; Конторович и др., 2015].

Настоящая работа, выполненная на базе комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов, посвящена построению модели геологического строения моря Лаптевых, в пределах которого не пробурено ни одной глубокой скважины.

Несмотря на то что большинство специалистов высоко оценивает перспективы нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых, взгляды на геологическое строение этой акватории отличаются кардинально. Многие исследователи считают, что западная и центральная части шельфа моря Лаптевых в геологическом плане являются продолжением древней Сибирской платформы, и на этой территории развиты как древние, так и молодые платформенные осадочные комплексы от рифея до кайнозоя [Виноградов и др., 1976; Виноградов, 1984; Иванова и др., 1989; Ким, 2011].

Другая группа специалистов придерживается принципиально иной точки зрения и полагает, что в акватории осадочный чехол сложен верхнемеловыми кайнозойскими отложениями, залегающими на раннекиммерийском фундаменте [Roeser et al., 1995; Drachev et al., 1998; Hinz et al., 1998; Дараган-Суцова и др., 2010].

Адекватность модели геологического строения акватории напрямую предопределяет и кондиционность оценки ее перспектив. В случае если в этом регионе платформенные отложения представлены верхним мелом и кайнозоем, перспективы нефтегазоносности акватории будут связаны исключительно с терригенными породами – песчаными резервуарами, перекрытыми глинистыми флюидоупорами.

В случае если в акваторию моря Лаптевых продолжают комплексы Сибирской платформы, интерес в отношении нефтегазоносности будут представлять рифей-среднепалеозойские преимущественно карбонатные отложения и пермско-мезозойские терригенные осадочные комплексы.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ

Учитывая, что на шельфе моря Лаптевых не пробурено ни одной глубокой скважины, информацию о геологическом строении этой акватории несут исключительно геофизические, в первую очередь, сейсмические материалы и данные по структурам складчатого обрамления Лаптевоморского бассейна и континентальной окраине Сибирской платформы.

В настоящее время в западной части моря Лаптевых отработано 7150 км современных региональных сейсмических профилей МОГТ. Работы были выполнены в рамках четырех проектов: проект L 2007 г, проект РТ, проект м. Лаптевых 2005 г. и проект Южморгео 2012 г. (рис. 1).

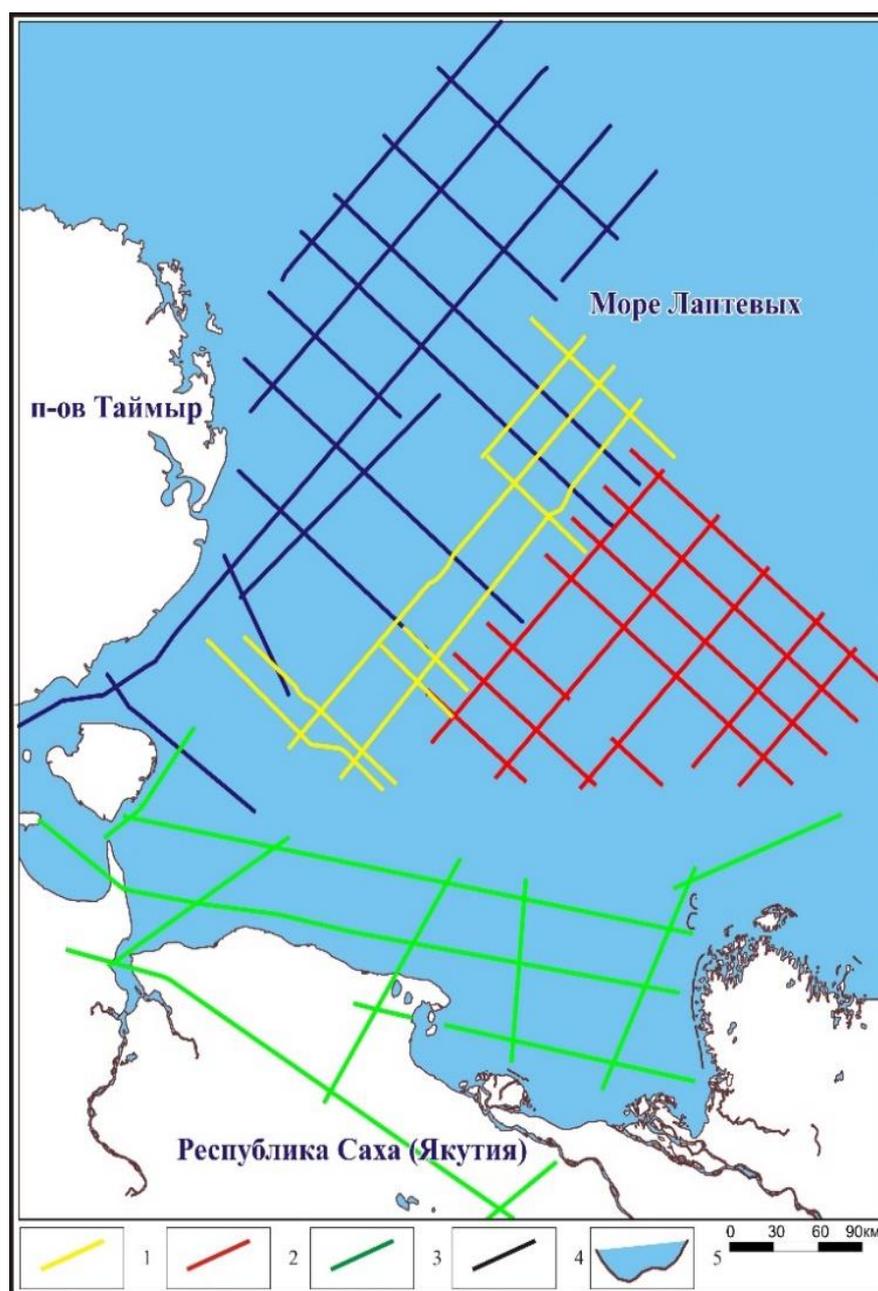


Рис. 1. Схема изученности моря Лаптевых сейсморазведкой МОГТ: 1 – профили L 2007 г., 2 – профили м. Лаптевых 2005 г., 3 – профили Южморгео 2012 г., 4 – профили РТ, 5 – береговая линия

Анализ сейсмических материалов позволяет констатировать, что они характеризуются разным, в ряде случаев невысоким качеством: сейсмические материалы проектов РТ и L характеризуются хорошим и удовлетворительным качеством, проект 2005 г. – удовлетворительным качеством, проект Южморгео 2012 г. (транзитная зона) – низким качеством (табл. 1).

Несмотря на разное качество сейсмических материалов, по имеющимся данным, в акватории моря Лаптевых удается достаточно надежно проследить серию опорных отражающих горизонтов и четко отделить фундамент, характеризующийся на временных разрезах хаотическим рисунком сейсмической записи, от платформенных отложений осадочного чехла, в пределах которого выделяется серия сейсмогеологических комплексов.

Таблица 1

Объем и качество сейсмического материала Лаптевоморской ПНГО

Проект	Кол-во проф	Длина проф	Качество материалов
пр L 2007	9	1113.45	Хорошее, удовлетворительное
пр Море Лаптевых 2005	16	1959.63	Удовлетворительное
пр Южморгео 2012	14	1832.19	Низкое
пр РТ	13	2248.41	Хорошее, удовлетворительное
Всего	52	7153.68	

Анализ временных разрезов однозначно свидетельствует о том, что в акватории моря Лаптевых получила развитие мощная толща осадочных платформенных отложений [Конторович и др., 2020]. В западной части акватории в депрессионных зонах значения времен приуроченного к кровле фундамента отражающего горизонта F достигают 8000 мс, максимальная мощность накопившихся осадков при средних скоростях распространения продольных сейсмических волн 4000–5000 км/с составляет 16–20 км.

При этом в разрезе осадочного чехла выделяются пять сейсмогеологических комплексов, контролируемых надежно прослеживаемыми отражающими сейсмическими горизонтами – сейсмическими реперами, условно проиндексированными S₁–S₅. В основании платформенных отложений выделен отражающий горизонт F, приуроченный к подошве платформенных отложений – кровле фундамента (рис. 2). На шельфе моря Лаптевых все платформенные сейсмокомплексы залегают квазипараллельно, а рельефы контролирующих комплексы отражающих горизонтов постепенно выгораживают вверх по разрезу. В направлении Таймырской складчатой области мощности сейсмокомплексов постепенно сокращаются, и они последовательно (снизу-вверх) выклиниваются на складчатые сооружения Таймыра (рис. 3).

Выше было отмечено, что в настоящее время существуют две принципиально отличающиеся точки зрения на геологическое строение западной части моря Лаптевых:

1. Продолжение древней Сибирской платформы; фундамент – архейско-протерозойский; осадочный чехол – рифей-кайнозой.

2. Фундамент позднекиммерийский; осадочный чехол – верхнемеловые и кайнозойские отложения.

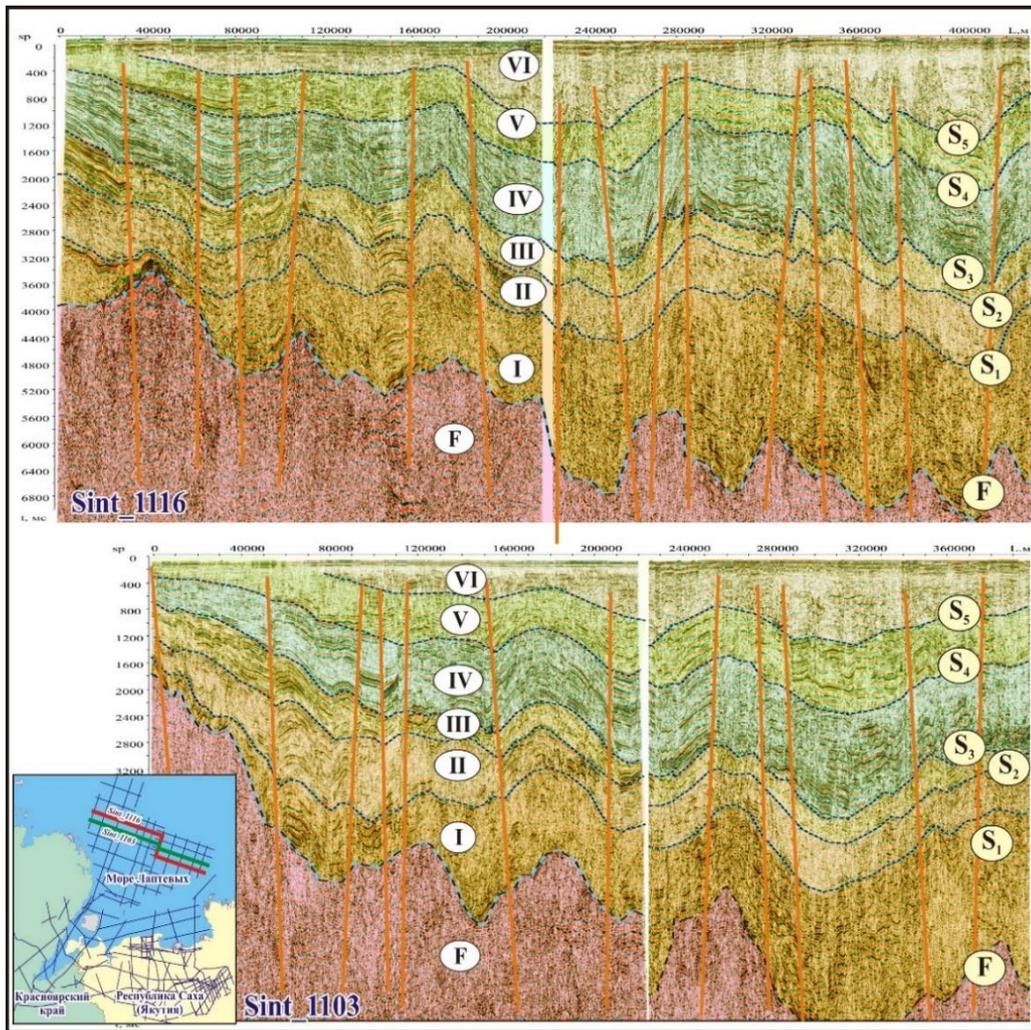


Рис. 2. Сейсмогеологическая характеристика шельфа моря Лаптевых

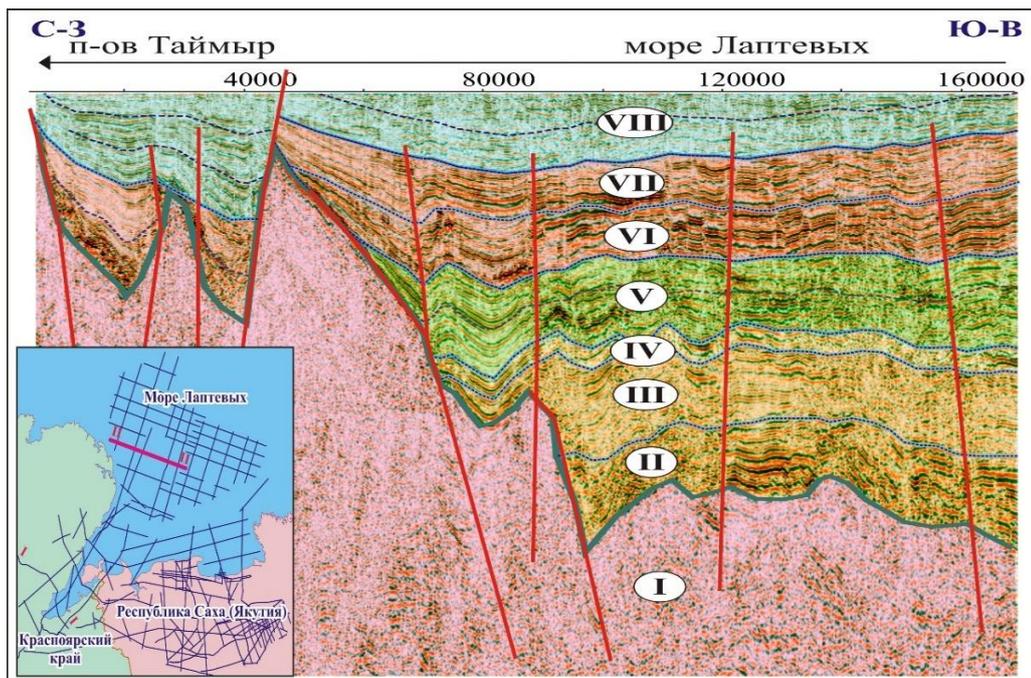


Рис. 3. Характер выклинивания сейсмокомплексов на складчатые сооружения Таймыра

Предварительный анализ имеющихся сейсмических материалов не позволяет однозначно ответить на вопрос, какая из этих точек зрения верна.

На континентальной окраине Сибирской платформы, где пробурено большое количество глубоких скважин, на временных сейсмических разрезах в осадочном чехле выделяется 5 регионально-развитых сейсмогеологических мегакомплексов: рифейский, вендский, палеозойский, пермский и мезозойский, которые в кровле и подошве контролируются сейсмическими реперами [Конторович и др., 2013, 2019a] (рис. 4).

В то же время характер сейсмической записи на временных разрезах позволяет сделать вывод о том, что Хатангско-Ленский (Северо-Сибирский) и Лаптевоморский бассейны разделены контрастным выступом фундамента, характеризующимся хаотическим характером волнового поля, который не позволяет однозначно стратифицировать сейсмокомплексы, выделяемые на морских разрезах. В тектоническом плане этот выступ выделен в качестве надпорядковой положительной структуры Береговой гряды, которая протягивается от восточной части полуострова Таймыр вдоль всего побережья до дельты р. Лена и Верхоянской складчатой области.

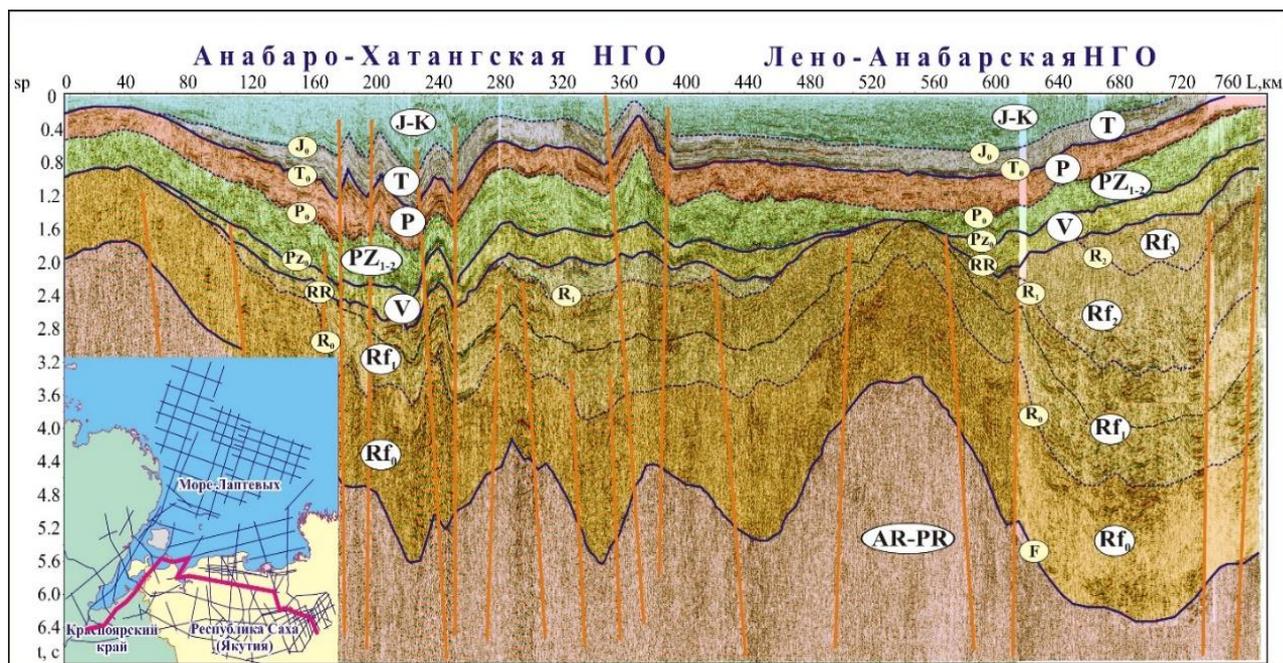


Рис. 4. Сейсмогеологический разрез по региональному композитному профилю Reg_3 (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская НГО) [Конторович и др., 2019б]

На рис. 5 приведены два варианта интерпретации регионального композитного временного разреза по профилю, пересекающему Хатангский залив, который в геологическом плане расположен на севере Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, и уходящему в акваторию моря Лаптевых. Оба варианта интерпретации волновых полей, вероятно, имеют право на существование. Первый вариант предполагает продолжение Сибирской платформы в море, в рамках второго варианта прогнозируется развитие на шельфе моря Лаптевых независимого осадочного бассейна, в котором развиты принципиально иные осадочные комплексы с неясной, возможно, верхней мел-кайнозойской, датировкой.

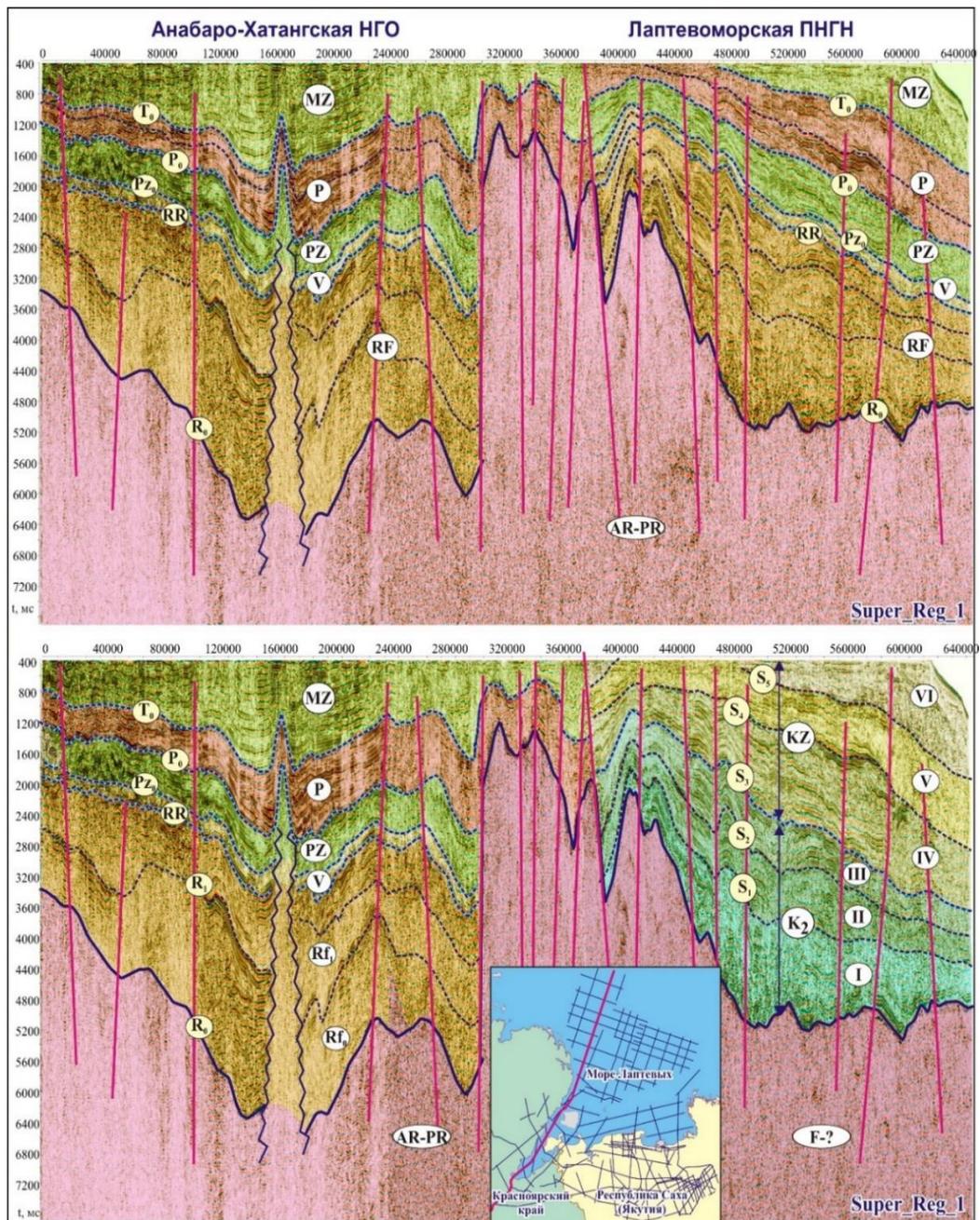


Рис. 5. Варианты интерпретации сейсмического разреза по профилю Sup_Reg_1 (Сибирская платформа-море Лаптевых)

К ВОПРОСУ СТРАТИФИКАЦИИ ОСАДЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Несмотря на приведенные выше данные, выполненный в ИНГГ СО РАН комплексный анализ геолого-геофизических материалов, позволяет с большой степенью вероятности утверждать, что на шельфе моря Лаптевых получило развитие продолжение Сибирской платформы.

В качестве обоснования этого тезиса приведем следующие аргументы:

1. Волновые поля, толщины сейсмокомплексов. Анализ сейсмических материалов по Хатангско-Ленскому междуречью и шельфу моря Лаптевых позволяет отметить их существенное подобие. На рис. 6 приведен сейсмогеологический разрез по профилю, пересекающему Сибирскую платформу, Береговой выступ фундамента и шельф моря Лаптевых. Анализ волновых полей на платформе и в море

позволяет отметить их практически полную идентичность. Ниже приведен сейсмогеологический разрез с вырезанной Береговой грядой, в который вошли фрагменты разреза по западной и восточной частям профиля. Здесь сейсмокомплексы на континенте и в море стыкуются практически идеально.

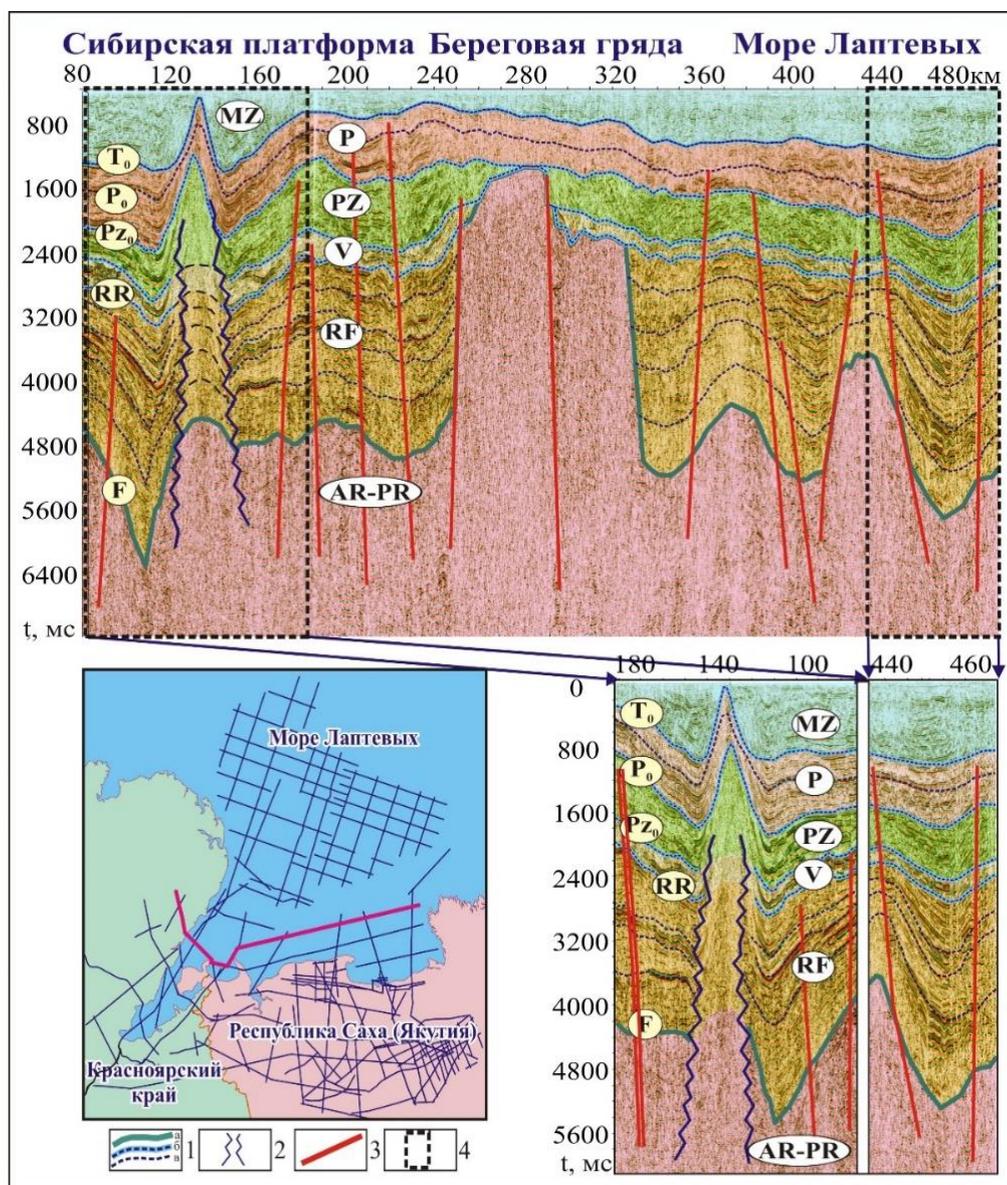


Рис. 6. Сопоставление волновых полей в Арктических регионах Сибирской платформы и акватории моря Лаптевых: 1 – сейсмические горизонты: а – кровля фундамента, б – опорные, в – дополнительные, 2 – соляные купола, 3 – разломы, 4 – сшитые фрагменты сейсмических разрезов

В рамках проведенных исследований также была построена структурная карта по кровле фундамента, анализ которой показал, что к югу и северу от Береговой гряды временная мощность и толщина платформенных отложений практически одинаковы. В обоих бассейнах максимальная мощность платформенных отложений составляет 15–20 км. Очевидно, что волновые поля в разновозрастных бассейнах, имеющих разное геологическое строение, могут быть похожи. В то же время, практически одинаковые мощности платформенных отложений и сейсмокомплексов на континенте и на шельфе и подобие рисунков сейсмической записи сложно отнести к случайным.

2. Темпы осадконакопления. В Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, которая погружалась на протяжении всего мезозоя и кайнозоя, средняя мощность осадочного чехла, формировавшегося на протяжении 250 млн лет (триас-кайнозой), в среднем составляет 3500 м (темпы осадконакопления – 15 м/млн л); на севере бассейна, где толщина осадочного чехла в депрессионных зонах достигает 8000–8500 м, темпы осадконакопления составляют 30 м/млн л.

На севере Сибирской платформе толщина платформенных венд-мезозойских отложений, вскрытых скважинами не превышает 3000 м, по сейсмическим данным достигает 5000 м. Очевидно, что этот регион, в котором за историю формирования отложений осадочного чехла существовала серия размывов не является классическим для понимания скоростей формирования осадков. Тем не менее максимальные темпы осадконакопления здесь составляют 5–8 м/млн л.

В случае, если весь осадочный чехол моря Лаптевых сложен позднемиоценовыми и кайнозойскими осадками, то большие мощности платформенных отложений (15–20 км) предполагают не просто высокие, а чрезвычайно высокие темпы осадконакопления – 150–200 м/млн л. Сложно объяснить такие скорости осадконакопления (в 5 раз выше, чем на севере Западной Сибири; в 15 раз выше, чем на сопредельных территориях Сибирской платформы). При этом абсолютно неясно какие области могли служить источниками сноса для формирования столь мощной толщи осадков.

3. Потенциальные поля. В качестве основной причины формирования мощных толщ верхнемеловых и кайнозойских осадков в западной части моря Лаптевых чаще всего приводится кайнозойский рифтогенез. Формирование рифтовых систем, как правило, сопровождается образованием протяженных глубинных разломов, которые находят отражение в потенциальных полях в виде линейных аномалий повышенных значений гравитационного и, особенно, магнитного полей. В западной части моря Лаптевых такие аномалии не выделяются (рис. 7).

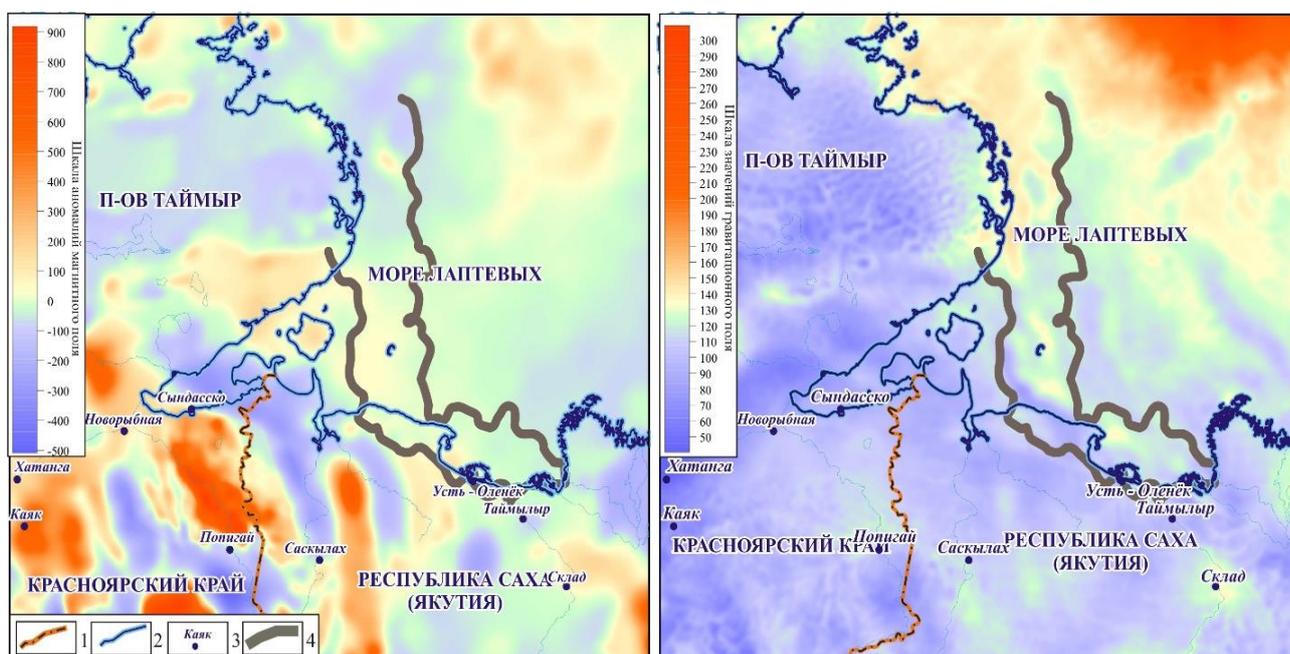


Рис. 7. Карты потенциальных полей (континентальная окраина Сибирской платформы, шельф моря Лаптевых): 1 – административные границы, 2 – береговая линия, 3 – населенные пункты, 4 – Береговая гряда

В акватории моря Лаптевых высокие значения гравитационного и магнитного полей выделяются только на северо-востоке, в зоне, где происходит резкое региональное погружения дна моря. Что касается обеспеченной сейсмикой западной части моря Лаптевых, то здесь фиксируются фоновые значения, такие же как на континентальной окраине Сибирской платформы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена анализу геологического строения моря Лаптевых, которое является одной из наиболее перспективных в отношении нефтегазоносности акваторий Арктической зоны России. В настоящее время не существует единой точки зрения на геологию этого региона и однозначное, окончательное решение этого вопроса может быть получено только после бурения первой глубокой скважины. В то же время результаты проведенных исследований позволяют с большой степенью вероятности утверждать, что западная часть моря Лаптевых в геологическом плане представляет собой северное продолжение Сибирской платформы, и в этой части акватории осадочный чехол, сложенный верхнепротерозойско-кайнозойскими отложениями, залегает на архейско-протерозойском фундаменте.

Анализ сейсмических материалов показал, что в северной части Хатангского залива получил развитие крупный выступ фундамента, который не позволяет проследить надежно стратифицированные на континенте сейсмогеологические комплексы в море Лаптевых.

В этой ситуации в рамках проведенных исследований была осуществлена попытка пройти в акваторию с востока из Лено-Анабарского прогиба от дельты р. Оленек (рис. 8).

Качество сейсмических материалов в транзитной зоне не позволяет говорить об однозначной корреляции отражающих горизонтов. Тем не менее, в рамках выполненной интерпретации, все рифей-мезозойские континентальные сейсмогеологические комплексы прослеживаются в акваторию моря Лаптевых, и вдоль линии профиля мощность платформенных отложений существенно возрастает.

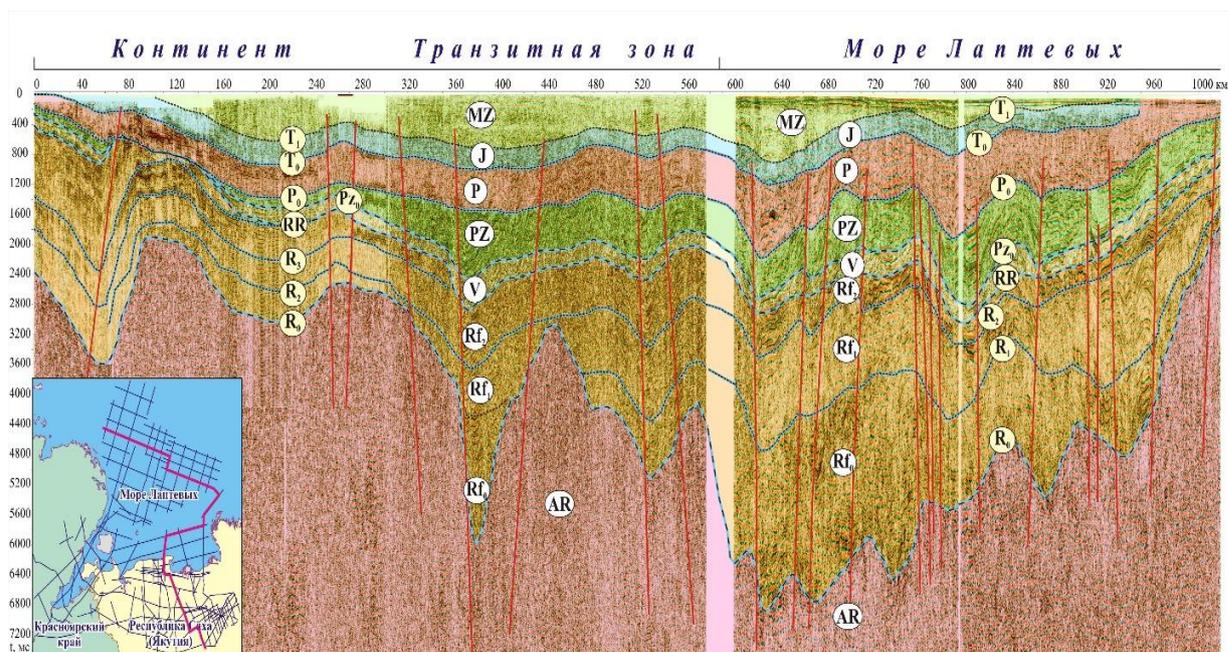


Рис. 8. Временной сейсмогеологический разрез по региональному композитному профилю Super_Reg_5

В рамках предложенной модели геологического строения шельфа моря Лаптевых перспективы нефтегазоносности акватории будут связаны с карбонатами рифея, венда, кембрия и среднего палеозоя, а также с терригенными комплексами перми и триаса.

Работа выполнена в рамках проектов НИР ИНГГ СО РАН при финансовой поддержке РФФИ Ресурсы Арктики, проект 18-05-70105.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов В.А. Море Лаптевых // Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 9: Моря Советской Арктики. –Л.: Недра, 1984. – С. 51–60.

Виноградов В.А., Гапоненко Г.И., Грамберг И.С., Шимараев В.Н. Структурно-формационные комплексы арктического шельфа Восточной Сибири // Советская геология. – 1976. – № 9. – С. 23–38.

Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцов Ю.И., Рукавишников Д.Д. Новый взгляд на геологическое строение осадочного чехла моря Лаптевых // Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 41. – С. 5–16.

Иванова Н.М., Секретов С.Б., Шкарубо С.И. Данные о геологическом строении шельфа моря Лаптевых по материалам сейсмических исследований // Океанология. – 1989. – Т. 29, Вып. 5. – С.789–795.

Ким Б.И., Евдокимова Н.К., Харитонов Л.Я. Осадочный чехол моря Лаптевых и его нефтегазовый потенциал // Геология нефти и газа. – 2011. – № 6. – С. 116–131.

Конторович А.Э., Эпов М.И., Бурштейн Л.М., Каминский В.Д., Курчиков А.Р., Малышев Н.А., Прищепа О.М., Сафронов А.Ф., Ступакова А.В., Супруненко О.И. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 7–17.

Конторович А.Э. Пути освоения ресурсов нефти и газа российского сектора Арктики // Вестник РАН. – 2015. – Т. 85, № 5–6. – С. 420–430.

Конторович В.А., Конторович А.Э., Губин И.А., Зотеев А.М., Лапковский В.В., Малышев Н.А., Соловьев М.В., Фрадкин Г.С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1253-1274.

Конторович В.А., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Соловьев М.В. Сейсмогеологические модели и нефтегазоносность осадочных комплексов в арктических регионах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская НГО) // Геология нефти и газа. – 2019а. – № 5. – С. 39–50.

Конторович В.А., Калинина Л.М., Калинин А.Ю., Соловьев М.В. Структурно-тектоническая характеристика и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины (Хатангский залив моря Лаптевых и прилегающие территории) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2019б. – Т. 14, № 3. – С. 1–18.

Конторович В.А., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Соловьев М.В. Геологическое строение и

сейсмогеологическая характеристика континентальной окраины Сибирской платформы и шельфа моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15, № 4, http://www.ngtp.ru/rub/2020/39_2020.html.

Drachev S.S., Savostin L.A., Groshev V.G., Bruni I.E. Structure and geology of the continental shelf of the Laptev Sea, Eastern Russian Arctic // Tectonophysics. – 1998. – Vol. 298. – P. 357.

Hinz K., Block M., Delisle G., Franke D., Kos'ko M.K., Neben S., Reichert C., Roeser H.A., Drachev S. Deformation of Continental Lithosphere on the Laptev Sea Shelf, Russian Arctic // Proceeding of III International Conference on Arctic Margins (ICAM III), 12–16 October, 1998. – Celle, 1998. – P. 85.

Roeser H.A., Block M., Hinz K., Reichert C. Marine Geophysical Investigations in the Laptev Sea and the Western part of the East Siberian Sea // Reports on Polar Research. Bremerhaven, FRG: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, 1995. – Vol. 176. – P. 367–377.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

КОНТОРОВИЧ Владимир Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН. Крупный специалист в области нефтегазоносности, тектоники и сейсмостратиграфии осадочных бассейнов Сибири. Область научных интересов: разработка методов прогнозирования геологического разреза, выявление и детальное картирование залежей углеводородов на базе комплексного анализа геолого-геофизических данных, разработка геолого-геофизических методов поиска месторождений нефти и газа в различных осадочных комплексах Сибири от венда до сеномана включительно.