



СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНДАМЕНТА И ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ

В.Ю. КЕРИМОВ¹, Е.А. ЛАВРЕНОВА^{2,3}, Ю.В. ЩЕРБИНА^{1,*}, Р.А. МАМЕДОВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ООО АСАП «Сервис»
39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия

³ Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Областью накопления больших мощностей осадочного чехла и эпицентром погружения в течение долгого времени являлись глубокие прогибы бассейнов Арктики. Проблемы геологического строения и тектоники наиболее полно и подробно изложены в публикациях ряда исследователей Восточно-Арктического шельфа.

Цель исследования. На основе анализа геолого-геофизических данных акваторий Арктического шельфа в статье поднимается вопрос геолого-тектонического строения восточно-арктических акваторий мезозой-кайнозойского времени. Знания о структурной эволюции осадочного бассейна важны с практической точки зрения, поскольку в нем располагается большое количество полезных ископаемых, в частности залежи углеводородов.

Материалы и выводы. Представленная работа основана на результатах обобщения геологоразведочных работ с применением современных технологий бассейнового анализа и численного бассейнового моделирования. Для формирования структурно-тектонического каркаса модели осадочных бассейнов Восточной Арктики были использованы структурные построения масштаба 1:5 000 000, выполненные специалистами ВСЕГЕИ в 2014 г. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный. Стратегия моделирования акваторий определялась особенностями геологического строения и эволюции осадочных бассейнов, а также качеством доступной геолого-геофизической и геохимической информации. Восточно-арктические акватории включены в единую модель в связи с тем, что изучаемые осадочные бассейны входят в состав одной континентальной окраины и их границы не всегда совпадают с условными границами акваторий.

Результаты. На основе комплекса исходных данных и выполненных по результатам их анализа и синтеза построений и моделирования разработана структурно-тектоническая модель Восточно-Сибирского и Чукотского морей и прилегающих районов, отражающая распределение главных структурных элементов, их пространственные взаимоотношения, а также их региональную иерархическую номенклатуру. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный. Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, предаптское несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна.

Заключение. В результате применения технологии бассейнового моделирования была создана структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла в восточно-арктических акваториях, что послужит основой для планирования поисково-оценочных работ на новых структурах и выбора объектов для лицензирования.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, геолого-геофизические данные, тектоника, палеогеография, фациальные схемы, цифровая база, Берингово море, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых, бассейновое моделирование, Анадырский бассейн, перспективные объекты, фациальные обстановки

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-35-70062.

Для цитирования: Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла восточно-арктических акваторий. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):19—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>

* Автор, ответственный за переписку

STRUCTURAL-TECTONIC MODEL OF THE BASEMENT AND SEDIMENTARY COVER OF EAST ARCTIC WATER AREAS

VAGIF Y. KERIMOV¹, ELENA A. LAVRENOVA², YULIA V. SHCHERBINA^{1,*}, RUSTAM A. MAMEDOV¹

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *ООО ASAP "Service"
39, Krasnogvardeiskaya str., Gelendzhik 353460, Russia*

³ *Gubkin University (National University of Oil and Gas)
65, Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia*

Background. For a long time, deep deflections present in the Arctic basin seafloor have been a site for accumulating a thick sedimentary cover and a subsidence epicentre. Issues associated with the geological structure and tectonics of these formations have been addressed in numerous publications devoted to the East Arctic shelf.

Aim. To discuss the question of the geological and tectonic structure of Mesozoic-Cenozoic East Arctic water areas by analysing the existing geological and geophysical data on the Arctic shelf. Information on the structural evolution of the sedimentary basin is important from a practical point of view, since these areas contain a large number of extractable resources, in particular, hydrocarbon deposits.

Materials and methods. The present work reviews the results of exploration works using modern technologies of basin analysis and numerical basin modelling. A structural-tectonic model of the East Arctic sedimentary basin was developed using the structural representations of the 1:5,000,000 scale performed by VSEGEI specialists in 2014. The developed model includes four main sedimentary complexes: pre-Aptian, Apt-Upper Cretaceous, Paleogene and Neogene-Quaternary. The modelling strategy was determined by the geological structure and evolution features of the sedimentary basin under study, as well as by the quality of available geological, geophysical and geochemical information. The East Arctic water areas were combined into a single model, since their sedimentary basins are part of the same continental margin and their boundaries do not always coincide with the conventional boundaries.

Results. On the basis of the conducted analysis of initial data, we developed a structural-tectonic model of the East Siberian and Chukchi Seas, as well as their surrounding areas. This model describes the distribution of the main structural elements, their spatial relationships, as well as their regional hierarchical nomenclature. The developed model includes four main sedimentary complexes: pre-Aptian, Apt-Upper Cretaceous, Paleogene, and Neogene-Quaternary. The structural model covering the aquatic areas of the Laptev Sea, East Siberian and Chukchi Seas includes five main surfaces: the basement of the sedimentary cover; the Pre-Aptian unconformity; the Cenozoic base; the unconformity in the lower part of the Oligocene and the basement of the Quaternary sediments; as well as the modern bottom topography.

Conclusion. Using the technology of basin modelling, a structural-tectonic model of the basement and sedimentary cover of East Arctic water areas was created, which can be used for planning exploration works.

Keywords: geological exploration, geological and geophysical data, tectonics, paleogeography, facies schemes, digital base, Bering sea, East Siberian sea, Laptev sea, basin's modeling, Anadyr basin, prospective objects, facies conditions

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the reported study was funded by RFBR, project number 20-35-70062.

For citation: Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Mustaev R.N., Shcherbina Yu.V. Structural-tectonic model of the basement and sedimentary cover of East Arctic water areas. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):19—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>

* Corresponding author

Проблемы геологического строения и тектоники наиболее полно и подробно изложены в публикациях В.А. Виноградова, В.Л. Иванова, Б.И. Кима, М.К. Косько, Д.В. Лазуркина, С.Б. Секретова, О.И. Супруненко, С.Д. Яшина и ряда других исследователей Восточно-Арктического шельфа [1, 2, 4—7, 9, 11—15, 18]. В статье для создания структурно-тектонической модели фундамента и осадочного чехла в восточно-арктических акваториях использованы современные технологии бассейнового моделирования — программа Petromod. В качестве основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная специалистами Equinor [14], которая охватывает временной период с триаса по палеоген включительно и учитывает плито-тектонические реконструкции, выполненные Doré и соавт. в 2015 г. восточно-арктические акватории включены в единую модель в связи с тем, что изучаемые осадочные бассейны

входят в состав одной континентальной окраины и их границы не всегда совпадают с условными границами акваторий. Стратегия моделирования акваторий определялась особенностями геологического строения и эволюции осадочных бассейнов, а также качеством доступной геолого-геофизической и геохимической информации. Для формирования структурно-тектонического каркаса модели осадочных бассейнов Восточной Арктики были использованы структурные построения масштаба 1:5 000 000, выполненные специалистами ВСЕГЕИ в 2014 г. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный (рис. 1).

Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, преаптское

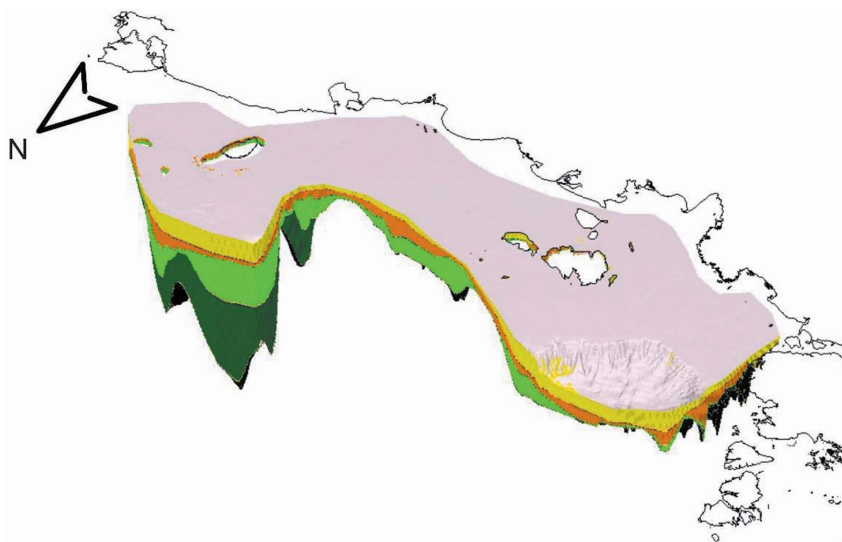


Рис. 1. Пространственно-временная модель Восточной Арктики

Fig. 1. Space-time model of the Eastern Arctic

несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна (рис. 2).

Плитная модель базируется на представлении о последовательном трехэтапном раскрытии Арктики: Канадский бассейн, Котловина Подводников и Евразийский бассейн. Ключевым для формирования осадочного чехла рассматриваемых осадочных бас-

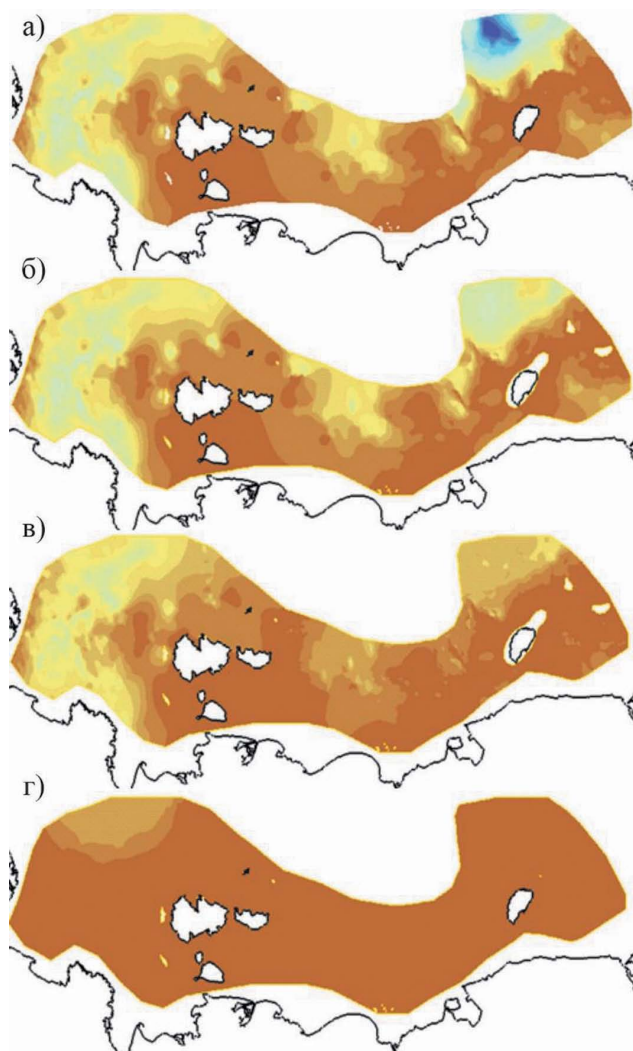


Рис. 2. Структурно-тектонические модели восточно-арктических акваторий (моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей): а — по поверхности разновозрастного фундамента; б — по поверхности преаптинского несогласия; в — по подошве кайнозойских отложений; г — по подошве неоген-квартера

Fig. 2. Structural and tectonic model of the Eastern Arctic area (Laptev sea, East Siberian and Chukchi seas) and on the uneven surface of the Foundation; б — on the surface pre-apertine of disagreement; в — in the soles of Cenozoic sediments; г — at the bottom of the Neogene-Quaternary

сейнов является существование с конца палеозоя — начала триаса Аляскинско-Чукотского микроконтинента (АСМС) и его последующая трансформация под влиянием тектонических факторов. В течение мезо-кайнозоя АСМС являлся областью рифтогенеза и заложения осадочных бассейнов и наконец в мелу сформировал большую часть шельфа Восточно-Сибирского моря. Палеозойские (допермские) и более древние породы входят в состав фундамента всех рассматриваемых осадочных бассейнов за исключением прогиба Ханна [9].

Структурно-тектонические особенности моря Лаптевых. В региональном плане море Лаптевых соответствует одноименной плите [6], занимающей промежуточное положение между подвижными платформами (метаплатформами) Западно- и Восточно-Арктической [17], также характеризующейся высокой подвижностью и сформированной над областью стыка блоков и зон разновозрастного фундамента. Согласно существующим представлениям [10], в западной и юго-западной частях акватории фундамент образован, в основном, блоками карельского и гренвильского фундамента. На востоке акватории, в пределах Восточно-Лаптевской ступени, преобладает киммерийский (или герцинско-киммерийский) фундамент Новосибирско-Чукотской складчатой системы. Такой же фундамент предполагается в некоторых шовных зонах между массивами карельской и гренвильской консолидации на юго-западе и в центральной части акватории (Южно-Лаптевский вал и вал Минина, возможно, представляющий собой ветвь Верхояно-Колымской складчатой системы). Главными элементами внутренней структуры мегабассейна являются системы положительных и отрицательных форм субмеридионального и северо-западного простирания, таких как прогибы (грабены) Оленёкско-Бегичевский, Центрально-Лаптевский, Омолойский, а также Лено-Таймырская зона поднятий, вал Минина и ряд менее крупных элементов (рис. 3). В составе осадочного чехла моря Лаптевых выделяются промежуточный и плитный структурный этажи [10, 16]. Первый охватывает интервал от верхнего рифея до нижнего мела и развит, в основном, в центральной и западной частях акватории. Второй включает отложения верхнего мела и кайнозоя, развитые на всей акватории.

Промежуточный этаж делится на три комплекса: верхнерифейско-вендский, ниже-среднепалеозойский и верхнепалеозойско-нижнемеловой, выделяемые на основе сейсмостратиграфического анализа и по аналогии с континентальными разрезами.

Структурные элементы

- А — ПЕЧОРО-БАРЕНЦЕВО-СЕВЕРО-КАРСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. А1 — Таймыро-Северо-Земельский щит; А2 — Восточно-Октябрьская зона дислокаций.
- Б — ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКИЙ ПРОГИБ. Б1 — Таймырская складчато-орогенная система; Б2 — Журавлёвско-Бегичевская зона поднятий (Анабаро-Хатангская седловина — в верхних этажах разреза); Б3 — Жданихинский/Жданинский прогиб (восточное замыкание: Усть-Хатангская впадина).
- В — СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА. В1 — Лено-Анабарский прогиб.
- Г — ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА. Г1 — Верхоянский мегантиклинарий; Г2 — Оленёвская складчатая зона; Г3 — Эльги-Адычанский мегантиклинарий (Шелонский массив).
- Д — ЛАПТЕВСКО-НИЖНЕКОЛЫМСКАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. Д1 — Лаптевская/Лаптевоморская плита; 1 — Малотаймырская ступень; 2 — Усть-Ленская сводово-блоковая область (2а — Западно-Ленский купол, 2б — Саастырская ступень); 3 — Западно-Лаптевская синеклиза (3а — ступень Прончищевых, 3б — Оленёвско-Бегичевская зона прогибов, 3в — Лено-Таймырская зона пограничных поднятий, 3г — Южно-Лаптевская впадина, 3д — вал Минина, 3е — Омолойская зона прогибов/грабен, 3ж — Северо-Западное поднятие); 4 — Восточно-Лаптевская ступень (4а — Восточно-Лаптевское поднятие, 4б — Бельковский горст, 4в — Столбовской горст, 4г — Северо-Шелонская терраса, 4д — Бельковско-Святоноская система грабен); 5 — Анисинский прогиб. Д2 — Хромско-Индибирская седловина.
- Е — НОВОСИБИРСКО-ЧУКОТСКАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА.
- Ж — НОВОСИБИРСКО-ЧУКОТСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА.
- З — ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА.
- И — РЕЛИКТОВАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА ЛОМОНОСОВА-ГЕОФИЗИКОВ.
- К — ТРАНСАРКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВЫХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН (впадина Подводников-Толля).
- Л — ЕВРАЗИЙСКАЯ ГЛУБОКОВОДНАЯ ВПАДИНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВОГО ОКЕАНА. Л1 — котловина Нансена; 1 — Восточно-При-таймырская впадина. Л2 — градово-рифтовая система хр. Гаккеля; Л3 — котловина Амундсена.

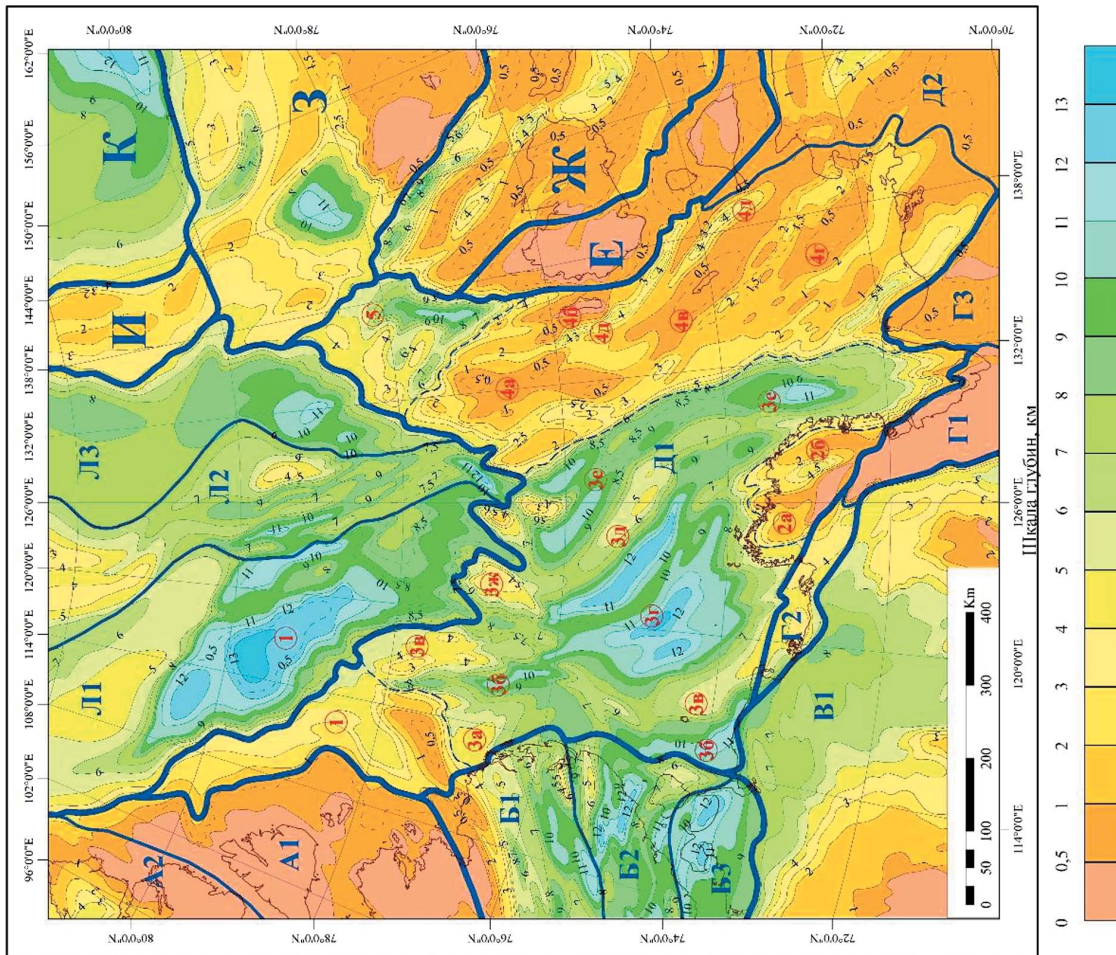


Рис. 3. Структурно-тектоническая карта моря Лаптевых и прилегающих территорий и акваторий (по данным АО «Союзморгео», 2018)
Fig. 3. Structural and tectonic map of the Laptev sea and adjacent territories and water areas (according to the JSC «Soyuzmorgeo», 2018)

Плитный этаж также включает три комплекса: верхнемеловой-палеогеновый (мел-палеоценовый) [8], миоценовый (палеоцен-среднемиоценовый) и плиоцен-четвертичный (среднемиоцен-плейстоценовый). Существуют региональные особенности развития отложений этого этажа. Так, на материке кайнозойские отложения резко несогласно залегают на позднемезозойском складчатом основании, а отложения верхнемелового-палеогенового (палеоцен-эоцен) комплекса в большинстве районов обрамления моря Лаптевых отсутствуют, что часто рассматривается как свидетельство регионального пенеплена конца мела-палеогена.

Структурно-тектонические особенности Восточно-Сибирского моря. Согласно сформированной модели в распределении глубин поверхности фундамента и ее морфологии в направлении от побережья Восточно-Сибирского моря к внешнему краю его шельфа наблюдается определенная зональность, следующая примерно параллельно берегу. В ближней к берегу зоне шириной примерно 300—400 км поверхность фундамента залегает на небольших глубинах, в основном от 0,5 км и менее до 1,0—1,5 км, реже — до 2,0 км, и образует своеобразную региональную ступень.

Эта ступень разделена неглубокими депрессиями на отдельные «плато», или террасы. Некоторые из этих террас в плане продолжают по простиранию антиклинории, выраженные в складчато-орогенной структуре прилегающего побережья (Аньюйский антиклинорий и Северо-Чукотский мегантиклинорий), а разделяющие их депрессии — синклинальные зоны между ними. Некоторые террасы увенчаны узкими грядами, продолжающимися по простиранию островные антиклинальные поднятия (о-ва Ляховский и Котельный). При этом генеральное простирание этих гряд также соответствует ориентировке складчатых зон киммерид Северной Чукотки.

На основе комплекса исходных данных и выполненных по результатам их анализа и синтеза построений и моделирования разработана структурно-тектоническая модель Восточно-Сибирского и Чукотского морей и прилегающих районов, отражающая распределение главных структурных элементов, их пространственные взаимоотношения, а также их региональную иерархическую номенклатуру (рис. 4).

В качестве надрегиональных элементов структуры региона выделяются окраинно-континентальные (или — материковые) подвижные платформы и плиты, палеоплатформенные области,

складчато-орогенные пояса и другие элементы. В составе региональных элементов выделяют плиты, системы поднятий и депрессионные системы, отдельные структурные объекты положительного и отрицательного знака, в том числе антиклинории и синклинории, зоны сбросово-блоковых структур, некоторые другие элементы. В число субрегиональных и прочих структурных элементов включены меньшие по масштабам формы, характеризующиеся тем или иным уровнем отношений соподчиненности с более масштабными структурно-геологическими объектами.

Наряду с традиционно выделяемыми структурно-тектоническими элементами авторы сочли целесообразным и полезным для понимания тенденций развития структуры на основе комплекса геолого-геофизических данных и моделирования выделять такой элемент, как «палеоплатформенная область», или палеоплатформа. Теоретической предпосылкой для выделения этого элемента являются идеи Л.П. Зоненшайна и Л.М. Натапова об эпигренвилевском кратоне Арктида и более ранняя — Н.С. Шатского о Гиперборейской платформе [3, 12]. Как считают эти исследователи, фрагментами указанной платформы, разрушенной в настоящее время, являются выходы докембрийского фундамента Таймыра, Канадской Арктики, Аляски, Чукотки; ее обломки занимают, по их мнению, всю полярную область, включая шельфы и острова Баренцева, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, поднятия Ломоносова, Менделеева, Чукотского плато и др.

Учитывая, что часть фрагментов этой древней платформы (кратона) в современной структуре Арктики вошла в состав новых платформенных образований (например, Восточно-Сибирской и Чукотско-Бофортской), а остальные части либо ушли в «самостоятельное плавание» в виде «террейнов» или срединных массивов, либо образовали более или менее компактные глыбово-блоковые ассоциации, мы приходим к выводу о целесообразности выделения этих последних в качестве палеоплатформ или палеоплатформенных областей.

В рассматриваемой части Арктического региона можно наблюдать два типа таких образований, возможно, отображающих разные стадии развития их структуры.

В Центрально-Арктическом регионе, примыкающем с севера к Восточно-Арктической окраинно-материковой подвижной платформе, такая область представлена совокупностью поднятых блоков и зон докембрийского и палеозойского основания, местами прикрытого мезозойско-кайнозойским чехлом, и разделяющих их глубоких трогов с корой

Условные обозначения

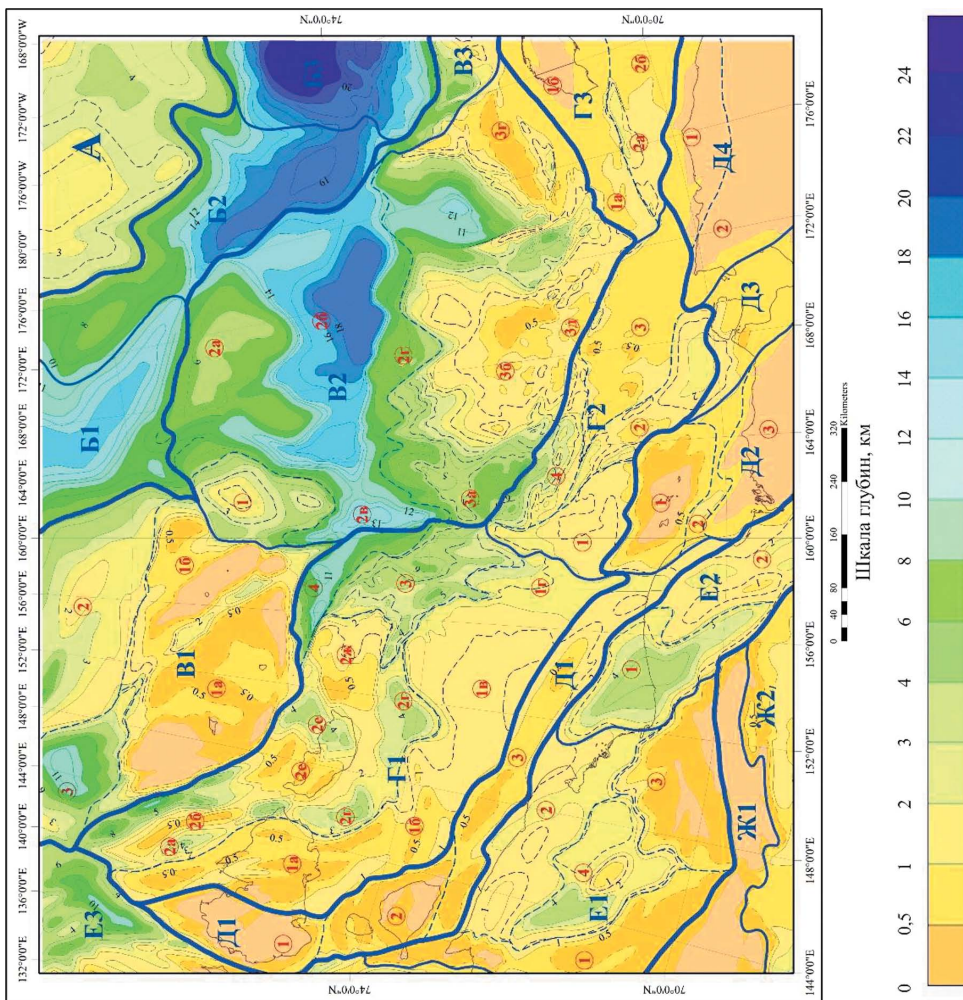
1—4 — границы структурных элементов: 1 — субглобальные и надрегиональные; 2 — региональные и впадин; Б1 — впадина Подводников-Толля; Б2 — прогиб Вилькицкого; Б3 — Северо-Чукотский прогиб; В — Восточно-Арктическая эпикаледонская окраинно-континентальная подвижная платформа (реликт Гиперборейской палеоплатформы). В1 — плита Анжу: 1 — поднятие/купол Де Лонга (1а — Жоховско-Беннетский выступ, 1б — Жан-нетско-Генриетский выступ, 1в — грабен Эммеины); 2 — Северо-Беннетская ступень, 3 — Южно-Ломоносовская зона поднятий и впадин; В2 — Восточно-Арктическая/Восточно-Новосибирская плита: 1 — Восточно-Жоховское поднятие, 2 — Восточно-Новосибирская синеклиза (2а — Северное поднятие, 2б — Ротундский прогиб, 2в — Денбарский жёлоб, 2г — Северо-Шелагская блоковая терраса). 3 — Медвежинско-Шелагская зона блоковых поднятий и впадин (3а — Мелвиллская впадина, 3б — Барановское блоково-сводовое поднятие, 3в — Дрежхедский прогиб, 3г — Мамоново поднятие, 3д — Янранайская/Южно-Барановская седловина). В3 — Чукотско-Борфортская плита (Северо-Врангелевская ступень). Г — Новосибирско-Чукотская эпикиммерийская подвижная платформа. Г1 — Западно-Новосибирская плита: 1 — Фаддевско-Благовещенская ступень (1а — Восточно-Фаддевская зона поднятий, 1б — Восточно-Ляховская/Санникова зона поднятий и впадин, 1в — Благовещенская терраса, 1г — Куропаточный прогиб), 2 — Анжу-Новосибирская зона прогибов и поднятий (2а — жёлоб Санга-Балаган, 2б — Анжуйский/Илин-Юрхский прогиб/жёлоб, 2в — поднятие м. Каменного), 3 — Западно-Денбарская терраса, 4 — Южно-Жоховский жёлоб. Г2 — Усть-Колымско-Пеггымельская региональная ступень: 1 — Пушкарёвское поднятие, 2 — Айонский прогиб, 3 — Певекско-Шмидтовское поднятие, 4 — Крестовская терраса. Г3 — Врангелевско-Чукотская плита: 1 — Врангелевско-Геральдская зона поднятий (1а — Западно-Врангелевская седловина, 2а — Врангелевское поднятие), 2 — Лонга-Южно-Чукотская синеклиза (2а — впадина Лонга, 2б — Валькарайская седловина). Д — Новосибирско-Чукотский складчато-орогенный пояс. Д1 — Котельническо-Гусиный край; Д2 — Медвежинско-Аноийский прогиб, 2 — Южно-Медвежинская седловина, 3 — Аноийский антиклинорий (Аляраутский выступ), Д3 — Рачуанский прогиб, Д4 — Чукотский мегантиклинорий: 1 — Экиатапский выступ, 2 — Паловаямская складчато-орогенная зона. Е — Лаптевско-Нижнеколымская раннеальпийская (пострифтовая) подвижная платформа. Е1 — Хромско-Индигирская седловина: 2 — Святоносская зона поперечных поднятий, 2 — Ойгос-Ярская ступень, 3 — Кондаковское/Чоккурдахское поднятие, 4 — Тастакская впадина; Е2 — Нижнеколымско-Южно-Аноийская система прогибов: 2 — Усть-Индигирский прогиб, Е3 — Лаптевоморская плита (Анисинский прогиб). Ж — Восточно-Якутская (Колымско-Омолонская) эпикиммерийская подвижная платформа. Ж1 — Улахан-Тас-Полуосенская система поднятий, Ж2 — Среднеколымская впадина.

Структурные элементы

А — Центральная-Арктическая область реликтовых платформенных структур (палеоплатформа Арктида). Б — Трансарктическая система рифтогенно-океанических прогибов и впадин: Б1 — впадина Подводников-Толля; Б2 — прогиб Вилькицкого; Б3 — Северо-Чукотский прогиб; В — Восточно-Арктическая эпикаледонская окраинно-континентальная подвижная платформа (реликт Гиперборейской палеоплатформы). В1 — плита Анжу: 1 — поднятие/купол Де Лонга (1а — Жоховско-Беннетский выступ, 1б — Жан-нетско-Генриетский выступ, 1в — грабен Эммеины); 2 — Северо-Беннетская ступень, 3 — Южно-Ломоносовская зона поднятий и впадин; В2 — Восточно-Арктическая/Восточно-Новосибирская плита: 1 — Восточно-Жоховское поднятие, 2 — Восточно-Новосибирская синеклиза (2а — Северное поднятие, 2б — Ротундский прогиб, 2в — Денбарский жёлоб, 2г — Северо-Шелагская блоковая терраса). 3 — Медвежинско-Шелагская зона блоковых поднятий и впадин (3а — Мелвиллская впадина, 3б — Барановское блоково-сводовое поднятие, 3в — Дрежхедский прогиб, 3г — Мамоново поднятие, 3д — Янранайская/Южно-Барановская седловина). В3 — Чукотско-Борфортская плита (Северо-Врангелевская ступень). Г — Новосибирско-Чукотская эпикиммерийская подвижная платформа. Г1 — Западно-Новосибирская плита: 1 — Фаддевско-Благовещенская ступень (1а — Восточно-Фаддевская зона поднятий, 1б — Восточно-Ляховская/Санникова зона поднятий и впадин, 1в — Благовещенская терраса, 1г — Куропаточный прогиб), 2 — Анжу-Новосибирская зона прогибов и поднятий (2а — жёлоб Санга-Балаган, 2б — Анжуйский/Илин-Юрхский прогиб/жёлоб, 2в — поднятие м. Каменного), 3 — Западно-Денбарская терраса, 4 — Южно-Жоховский жёлоб. Г2 — Усть-Колымско-Пеггымельская региональная ступень: 1 — Пушкарёвское поднятие, 2 — Айонский прогиб, 3 — Певекско-Шмидтовское поднятие, 4 — Крестовская терраса. Г3 — Врангелевско-Чукотская плита: 1 — Врангелевско-Геральдская зона поднятий (1а — Западно-Врангелевская седловина, 2а — Врангелевское поднятие), 2 — Лонга-Южно-Чукотская синеклиза (2а — впадина Лонга, 2б — Валькарайская седловина). Д — Новосибирско-Чукотский складчато-орогенный пояс. Д1 — Котельническо-Гусиный край; Д2 — Медвежинско-Аноийский прогиб, 2 — Южно-Медвежинская седловина, 3 — Аноийский антиклинорий (Аляраутский выступ), Д3 — Рачуанский прогиб, Д4 — Чукотский мегантиклинорий: 1 — Экиатапский выступ, 2 — Паловаямская складчато-орогенная зона. Е — Лаптевско-Нижнеколымская раннеальпийская (пострифтовая) подвижная платформа. Е1 — Хромско-Индигирская седловина: 2 — Святоносская зона поперечных поднятий, 2 — Ойгос-Ярская ступень, 3 — Кондаковское/Чоккурдахское поднятие, 4 — Тастакская впадина; Е2 — Нижнеколымско-Южно-Аноийская система прогибов: 2 — Усть-Индигирский прогиб, Е3 — Лаптевоморская плита (Анисинский прогиб). Ж — Восточно-Якутская (Колымско-Омолонская) эпикиммерийская подвижная платформа. Ж1 — Улахан-Тас-Полуосенская система поднятий, Ж2 — Среднеколымская впадина.

Рис. 4. Структурно-тектоническая схема Восточно-Сибирского и Чукотского морей (по данным АО «Союзморгео», 2018)

Fig. 4. Structural and tectonic diagram of the East Siberian and Chukchi seas (according to the JSC «Soyuzmorgeo», 2018)



субконтинентального, субокеанического или океанического типов и местами, возможно, с зачаточными явлениями спрединга.

Эта область ограничена двумя абиссальными котловинами — Евразийской и Канадской, Иннуитским складчатым поясом севера Гренландии и окраинно-материковой платформой Восточно-Арктической окраины Евразии.

Географически и структурно она включает поднятия Ломоносова, Менделеева-Альфа, Чукотского плато и более мелкие возвышенности, разделяющие их глубоководные бассейны, и в геодинамическом отношении представляет собой область многоосного растяжения и погружения, возможно, с присутствием «вращательной» составляющей.

Другим типом палеоплатформенной области, представленным в пределах континентального региона, является Колымско-Омолонская, включающая древние массивы (Колымский, Приколымский, Омуревский, Омолонский), ряд межблоковых складчатых зон и ограниченная со всех сторон мезозойскими или мезозойско-кайнозойскими складчатыми или вулканическими поясами. В отличие от предыдущей области, где массив разделен зонами растяжения, в этом случае они разделяются зонами смятия, возникшими, по-видимому, на месте межблоковых трогов, подобных современным океаническим, существовавшим здесь в перми — ранней-средней юре.

Таким образом, эта палеоплатформенная область в геодинамическом отношении представляет собой область многоосного сжатия, так же, возможно, включающего и сдвигово-вращательную составляющую.

Ключевым элементом класса структурно-тектонических комплексов региона океанообразования является Трансарктическая система рифтогенно-океанических прогибов и впадин, включающая в качестве региональных элементов впадину Подводников-Толля, прогиб Вилькицкого и Северо-Чукотский прогиб. Эта система разделяет области океанического и окраинно-континентального структурообразования и содержит огромные объемы осадочного разреза, который является одним из наиболее мощных в регионе генераторов углеводородного сырья.

Ключевым элементом класса комплексов окраинно-континентальных подвижных платформ и плит в регионе является Восточно-Арктическая окраинно-континентальная подвижная платформа, а в ее составе — четыре плиты, отделенные друг от друга системами (поясами) продольных и поперечных по отношению к шельфовой зоне нарушений: плита

Анжу, Восточно-Арктическая (или Восточно-Сибирская) плита, Чукотско-Бофортская плита и Врангелевско-Чукотская плита. Каждая из плит характеризуется сложным сочетанием субрегиональных и более дробных положительных и отрицательных структурно-тектонических элементов, в том числе более или менее мощным разрезом осадочного чехла, залегающим, по большей части, на древнем докаледонском или каледонском фундаменте. Исключение составляет только Врангелевско-Чукотская плита, осадочный чехол которой залегает на киммерийском основании и имеет, скорее всего, кайнозойский или мел-кайнозойский возраст.

Особенностью структурных элементов, относимых к классу комплексов континентальных и островных систем, является, как правило, незначительная мощность осадочного чехла, перекрывающего фундамент в их пределах. Мощности отложений, имеющих в основном мел-кайнозойский возраст, здесь увеличиваются лишь в обособленных и пространственно разобщенных орогенных впадинах.

Как следует из материалов полевых исследований, в регионе распространены три мегаформационных мегакомплекса, представленные фундаментом, промежуточным мегакомплексом и осадочным чехлом (плитный мегакомплекс).

Промежуточный мегакомплекс в целом представляет собой складчатый чехол останца (блока) выделенной здесь в 1930-е годы Н.С. Шатским Гиперборейской платформы. Породы мегакомплекса занимают стратиграфический диапазон от верхнего протерозоя до верхней юры — нижнего мела и встречаются как в складчатом, так и в недислоцированном платформенном залегании. Мегакомплекс представлен карбонатно-терригенными, темноцветно-глинистыми терригенными и терригенно-карбонатными формациями, скорее всего, морского происхождения.

Плитный мегакомплекс соответствует этапу заложения наблюдаемых в современной структуре седиментационных бассейнов и датируется второй половиной раннего мела — неогеном. Мегакомплекс с несогласием залегает на породах фундамента или промежуточного мегакомплекса. Он состоит из двух ярусов (комплексов), разделенных скользящей в возрастном отношении (диахронной) границей между ними. Нижний, меловой комплекс представлен преимущественно терригенно-угленосной, паралической черносланцевой формациями, верхний — палеогеновыми или неогеновыми преимущественно терригенными формациями, а также базальтовой формацией (о-в Жохова).

Заключение

В результате применения технологии бассейнового моделирования программа Petromod создала структурно-тектонические модели фундамента и осадочного чехла в восточно-арктических акваториях, которые включены в единую модель в связи с тем, что изучаемые осадочные бассейны входят в состав одной континентальной окраины и их границы не всегда совпадают с условными границами акваторий. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный. Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, предаптское несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна.

Наряду с традиционно выделяемыми структурно-тектоническими элементами для понимания тенденций развития структуры на основе комплекса геолого-геофизических данных и мо-

делирования выделяется такой элемент, как «палеоплатформенная область», или палеоплатформа, в геодинамическом отношении представляющий собой область многоосного сжатия, также, возможно, включающего и сдвигово-вращательную составляющую.

Ключевым элементом класса структурно-тектонических комплексов региона океанообразования является Трансарктическая система рифтогенно-океанических прогибов и впадин, включающая в качестве региональных элементов впадину Подводников-Толля, прогиб Вилькицкого и Северо-Чукотский прогиб. Эта система разделяет области океанического и окраинно-континентального структурообразования и содержит огромные объемы осадочного разреза, который является одним из наиболее мощных в регионе генераторов углеводородного сырья.

В регионе распространены три мегаформационных мегакомплекса, представленных фундаментом, промежуточным мегакомплексом и осадочным чехлом (плитный мегакомплекс).

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов В.А. Море Лаптевых // В кн.: Геологическое строение СССР и размещение полезных ископаемых. Т. 9. Моря Советской Арктики. Л.: Недра, 1984. С. 50—60.
2. Голионко Г.Б., Погребницкий Ю.Е., Сенин Б.В., Шипилов Э.В. Рельеф складчатого фундамента арктических морей СССР и сопредельных территорий. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. 44 с.
3. Зоненшайн Л.П., Натапов Л.М. Тектоническая история Арктики // В кн.: Актуальные проблемы тектоники. М.: Наука, 1987. С. 31—57.
4. Иванов В.Л., Ким Б.И., Косыко М.К. и др. Лаптевский седиментационный бассейн // В кн.: Геология и полезные ископаемые России. Т. 5. Арктические и Дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря. ВСЕГЕИ, 2004. С. 274—319.
5. Иванова Н.М., Секретов С.Б., Шкарубо С.И. Данные о геологическом строении шельфа моря Лаптевых по материалам сейсмических исследований // Океанология. 1989. Т. XXIX. Вып. 5. С. 789—793.
6. Ким Б.И. Геологическое строение моря Лаптевых // В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Геос, 2002. С. 26—37.
7. Ким Б.И., Рейнин И.В. Эволюция Восточно-Арктического шельфа и палеошельфа в плейстоцене: Проблемы кайнозойской палеоэкологии и палеогеографии морей Северного Ледовитого океана // Тез. докл. 3-й Всес. конф. КНЦ АН СССР. Апатиты, 1989. С. 44—45.
8. Косыко М.К., Бондаренко Н.С., Непомилуев В.Ф. Государственная геологическая карта СССР. М-б 1: 200 000 (серия Новосибирские острова). Листы Т-54 — XXXI, XXXII, XXXIII; S-53 — IV, V, VI; S-53 — XI, XII; S-54 — I, II, III; S-54 — VII, VIII, XIX, XIII, XIV, XV. Объясн. Записка. М.: ПГО «Севморгеология», 1985. 162 с.
9. Кумар Н., Грантс Дж., Эммет П.А. Стратиграфические и тектонические границы Американского Чукотского шельфа: разведочные данные новой региональной глубинно-сейсмической съемки // Лондонское Геологическое Общество. Мемуары 35(1). Глава 33. 2011. С. 501—508.
10. Лазуркин Д.В. Перспективы нефтегазоносности морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. Масштаб 1:7 500 000 // Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГИН РАН, 2004.
11. Литвин Е.С. и др. Оценка перспектив нефтегазоносности российского континентального шельфа за пределами 200 миль в рамках подготавливаемой заявки в Комиссию по границам континентального шельфа, оценка неразведанных потенциальных ресурсов УВ в пределах заявки на основе сейсмических исследований МОВ-ОГТ ГСЗ // ГК № 33/23/82-1. Мурманск: МАГЭ, 2015 (ф).
12. Петровская Н.А. Изучение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов в Восточно-Сибирском море // Отчет ОАО «Дальморнефтегеофизика». Ю.-Сахалинск, 2012 (ф).
13. Секретов С.Б. Осадочные комплексы и перспективы нефтегазоносности морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Геос, 2002. С. 54—77.
14. Секретов С.Б. Региональная сейсмостратиграфия осадочного чехла шельфа моря Лаптевых и континентальной окраины Восточно-Сибирского моря // В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Геос, 2002. С. 37—54.

15. *Сомме Т.О., Доре А.Г., Лундин Е.Р., Торудбаккен Б.О.* Триасовая палеогеография Арктики: последствия для направления отложений и заполнения бассейнов // Бюллетень AAPG. 2018. Т. 102. № 12. С. 2481—2517..
16. Тектоническая карта морей Карского, Лаптевых и Севера Сибири // М 1:2 500 000 (под. ред. Н.А. Богданова и В.Е. Хаина). М.: Инст. литосферы, 1998.
17. *Хорошилова М.А., Фанке Д., Кириллова Т.А., Мули Б., Никитин А.М. и др.* Датировка и корреляция опорных сейсмических горизонтов в Лаптевоморском бассейне // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2014. Т. 4. № 5. С. 3—11.
18. *Шкарубо С.И., Заварзина Г.А., Зуйкова О.Н.* Результаты современного этапа изучения лаптевоморского шельфа: от гипотез к новым фактам и проблемам // Разведка и охрана недр. 2014. № 4 С. 23—30.
19. *Яшин Д.С., Ким Б.И.* Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // Геология нефти и газа. 2007. № 4. С. 25—29.

REFERENCES

1. Vinogradov V.A. *Laptev Sea* // In the book: The geological structure of the USSR and the location of minerals. T. 9. Sea of the Soviet Arctic. Leningrad, Nedra, 1984, pp. 50—60. (In Russian).
2. Golionko G.B., Pogrebickij Yu.E., Senin B.V., Shipilov Ye.V. *The relief of the folded foundation of the Arctic seas of the USSR and adjacent territories*. Kola research center Academy of Sciences of the USSR — Apatity, 1989, 44 p. (In Russian).
3. Zonenshajn L.P., Natapov L.M. *Tectonic history of the Arctic*. Moscow, Nauka, 1987, pp. 31—57. (In Russian).
4. Ivanov V.L., Kim B.I., Kos'ko M.K. et al. *Laptev sedimentation basin* // In the book: Geology and minerals of Russia. T. 5. The Arctic and Far Eastern Seas. Book. 1. Arctic seas. VSEGEI, 2004, pp. 274—319. (In Russian).
5. Ivanova N.M., Sekretov S.B., Shkarubo S.I. Data on the geological structure of the shelf of the Laptev Sea based on seismic data. *Oceanology*, 1989. T. XXIX. Vol. 5, pp. 789—793. (In Russian).
6. Kim B.I. *Geological structure of the Laptev Sea* // In the book: Geology and Minerals of the Russian Shelves. Moscow, Geos, 2002, pp. 26—37. (In Russian).
7. Kim B.I., Rejnin I.V. The evolution of the East Arctic shelf and the paleoshelf in the Pleistocene: Problems of the Cenozoic paleoecology and paleogeography of the seas of the Arctic Ocean. *Theses of the report of the 3rd all-Union conference — KSC of the Academy of Sciences of the USSR — Apatity*, 1989, pp. 44—45. (In Russian).
8. Kos'ko M.K., Bondarenko N.S., Nepomiluev V.F. *State geological map of the USSR*. M-b 1: 200 000 (series Novosibirsk Islands). Sheets T-54 — XXXI XXXII XX-XIII; S-53 — IV, V, VI; S-53 — XI, XII; S-54 — I, II, III; S-54 — VII, VIII, XIX, XIII, XIV, XV. Explained Note. Moscow, PGO "Sevmorgeologiya", 1985, 162 p. (In Russian).
9. Kumar N., Granath J., Emmet P.A. Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: Exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey. *Geological Society London Memoirs*, 2011, vol. 35, no. 1, chapter 33, pp. 501—508.
10. Lazurkin D.V. *Prospects for the oil and gas potential of the Laptev, East Siberian, Chukchi Seas* // Scale 1: 7 500 000. Atlas: Geology and minerals of the Russian shelf. Moscow, GIN RAS, 2004. (In Russian).
11. Litvin E.S. et al. *Evaluation of the oil and gas prospects of the Russian continental shelf beyond 200 miles in the framework of a prepared application to the Commission on the boundaries of the continental shelf, assessment of unexplored potential hydrocarbon resources within the application based on seismic studies of the MOV-OGT GSZ* // GK no. 33/23 / 82-1. MAGE, Murmansk, 2015, f. (In Russian).
12. Petrovskaja N.A. *The study of the geological structure and assessment of the prospects of oil and gas sedimentary basins in the East Siberian Sea*. Report of OJSC Dal'morneftegeofizika Y.-Sakhalinsk, 2012 (f). (In Russian).
13. Sekretov S.B. *Sedimentary complexes and oil and gas prospects of the Laptev and East Siberian Seas* // In the book: Geology and Minerals of Russian Shelves. Moscow, Geos, 2002, pp. 54—77. (In Russian).
14. Sekretov S.B. *Regional seismic stratigraphy of the sedimentary cover of the Laptev Sea shelf and the continental margin of the East Siberian Sea* // In the book: Geology and Minerals of Russian Shelves. Moscow, Geos, 2002, pp. 37—54. (In Russian).
15. Somme T.O., Dore A.G., Lundin E.R., Torudbakken B.O. Triassic paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill. *AAPG Bulletin*. 2018, vol. 102, no. 12, pp. 2481—2517.
16. *Tectonic map of the seas of Kara, Laptev and the North of Siberia*. Moscow, Inst. Lithosphere, 1998. (In Russian).
17. Horoshilova M.A., Fanke D., Kirillova T.A., Muli B., Nikishin A.M., et al. Dating and correlation of reference seismic horizons in the Laptev Sea basin. *Moscow University Herald. Series 4, Geology*, 2014, vol. 4, no. 5, pp. 3—11. (In Russian).
18. Shkarubo S.I., Zavarzina G.A., Zujkova O.N. The results of the modern stage of the study of the Laptev Sea shelf: from hypotheses to new facts and problems. *Exploration and protection of mineral resources*, 2014, no. 4, pp. 23—30. (In Russian).
19. Jashin D.S., Kim B.I. Geochemical signs of oil and gas potential of the East Arctic shelf of Russia. *Geology of oil and gas*, 2007, no. 4, pp. 25—29. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Керимов В.Ю. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Kerimov V.Yu. — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Лавренова Е.А. — внесла вклад в работу при построении и моделирования структурно-тектонической модели и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Щербина Ю.В. — присоединилась к подготовке текста статьи, выполнила перевод на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Мамедов Р.А. — присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Lavrenova E.A. — contributed to the construction and modeling of the structural-tectonic model and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Shcherbina Yu.V. — joined the preparation of the text of the article, translated it into English and agreed to take responsibility for all aspects of the work. R. A. Mamedov — joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Керимов Вагиф Юнусович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: kerimovvy@mgri.ru
тел.: +7 (495) 461-37-77, доб. 21-12
SPIN: 9696-1364
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

Vagif Yu. Kerimov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., academician of the RAS, Vice-rector for scientific work, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: kerimovvy@mgri.ru
tel.: +7 (495) 461-37-77, add. 21-12
SPIN: 9696-1364
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

Лавренова Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО АСАП «Сервис», отдел нефтегазовой геологии и бассейнового моделирования
39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия
Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru
SPIN: 1859-8634
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Elena A. Lavrenova — Cand. Sci. (Geol.-Min.), General Director of ASAP “Service” LLC, Department of oil and gas Geology and basin modeling
39, Krasnogvardeiskaya str., Gelendzhik 353460, Russia
Gubkin University (National University of Oil and Gas)
65, Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru
SPIN: 1859-8634
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Щербина Юлия Витальевна* — ведущий специалист управления фундаментальных и прикладных научных исследований ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: scherbinauv@mgri.ru
тел.: +7 (915) 024-93-03
SPIN: 3225-9373
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

Yulia V. Shcherbina* — leading specialist in the Department of fundamental and applied scientific research, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: scherbinauv@mgri.ru
tel.: +7 (915) 024-93-03
SPIN: 3225-9373
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

Мамедов Рустам Ахмедович — аспирант кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: mamedovra@mgri.ru
тел.: +7 (977) 600-93-90
SPIN: 1694-6435
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

Rustam A. Mamedov — postgraduate student of the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: mamedovra@mgri.ru
tel.: +7 (977) 600-93-90.
SPIN: 1694-6435
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author