

УДК [551.24]:[550.834+550.831]/(268.9+288.53)

## СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ЧАСТИ ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА

© 2023 г. А. Л. Пискарев<sup>1,2,\*</sup>, академик РАН В. Д. Каминский<sup>1</sup>, В. А. Поселов<sup>1</sup>, Д. В. Безумов<sup>1</sup>,  
С. М. Жолондз<sup>1</sup>, А. А. Киреев<sup>1</sup>, Г. И. Ованесян<sup>1</sup>, В. А. Савин<sup>1,2</sup>, О. Е. Смирнов<sup>1</sup>

Поступило 01.03.2023 г.

После доработки 14.04.2023 г.

Принято к публикации 25.04.2023 г.

3D-модель земной коры в зоне сочленения юго-восточной части Евразийского бассейна и шельфа моря Лаптевых построена с использованием новейших сейсмических и гравиметрических данных. В исследуемом регионе мощность консолидированной части земной коры составляет 7–11 км, что может соответствовать как сильно растянутой континентальной, так и океанической коре. Формирование фундамента и осадконакопление в этой области начались, вероятнее всего, в позднеюрское время. Юго-восточная часть Евразийского бассейна тектонически отделена от остального бассейна зоной правого сдвига, смещение по которому происходило на протяжении Палеогена и составило более 100 км.

*Ключевые слова:* море Лаптевых, Евразийский бассейн, геофизическое моделирование, земная кора, тектоника

DOI: 10.31857/S268673972360039X, EDN: WFBSSJ

После завершения первого этапа аэромагнитных съемок и открытия в нем системы линейных магнитных аномалий, характерных для дна океана, Евразийский бассейн рассматривается как классический океанический бассейн [1, 2]. Разработана схема спрединга, согласно которой Евразийский бассейн раскрылся на протяжении кайнозоя [3]. Однако ряд выявленных в последние годы батиметрических, сейсмических, гравитационных и магнитных характеристик дна Евразийского бассейна вступают в противоречие с гипотезой одноэтапного образования бассейна [4, 5], а в юго-восточную его часть по результатам сейсмических исследований протягиваются толщи пород, предположительно, мезозойского возраста [6–8]. Эти данные делают актуальной задачу определения истории образования и характера строения земной коры юго-восточной части Евразийского бассейна.

В 2018–2021 гг. исследуемый регион стал объектом ряда новых сейсмических работ, что сделало возможным произвести новые расчеты и актуализировать ранее построенную 3D-сейсмоплот-

ностную модель строения земной коры региона [9]. На рис. 1 представлена схема изученности региона сейсмическими работами МОВ и МОВ ОГТ, на которой выделены профили, которые стали доступны для актуализации предыдущей модели.

Новые сейсмические данные использованы для подготовки исходной сейсмоплотностной модели строения земной коры региона, последующих расчетов и итерационного подбора модели методом решения прямой задачи гравиразведки в программе Grav3D, а затем для детализации путем инверсии с использованием априорных ограничений в программе Oasis Montaj. По результатам моделирования получены схематические карты и разрезы, характеризующие строение земной коры.

В связи с отсутствием на изучаемой площади картировочного бурения, возраст выделенных осадочных толщ остается дискуссионным, что приводит и к неопределенности в построении тектонической модели развития региона. В большинстве исследований осадочный чехол в регионе подразделяется на три толщи, разграниченные горизонтами RU (23 млн лет), и rCU (65 млн лет). Меньше всего споров о природе и возрасте отражающего горизонта RU в низах верхней толщи. Несогласие, по-видимому, отвечает крупнейшему раннемиоценовому эрозионному перерыву,

<sup>1</sup>ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: apiskarev@gmail.com

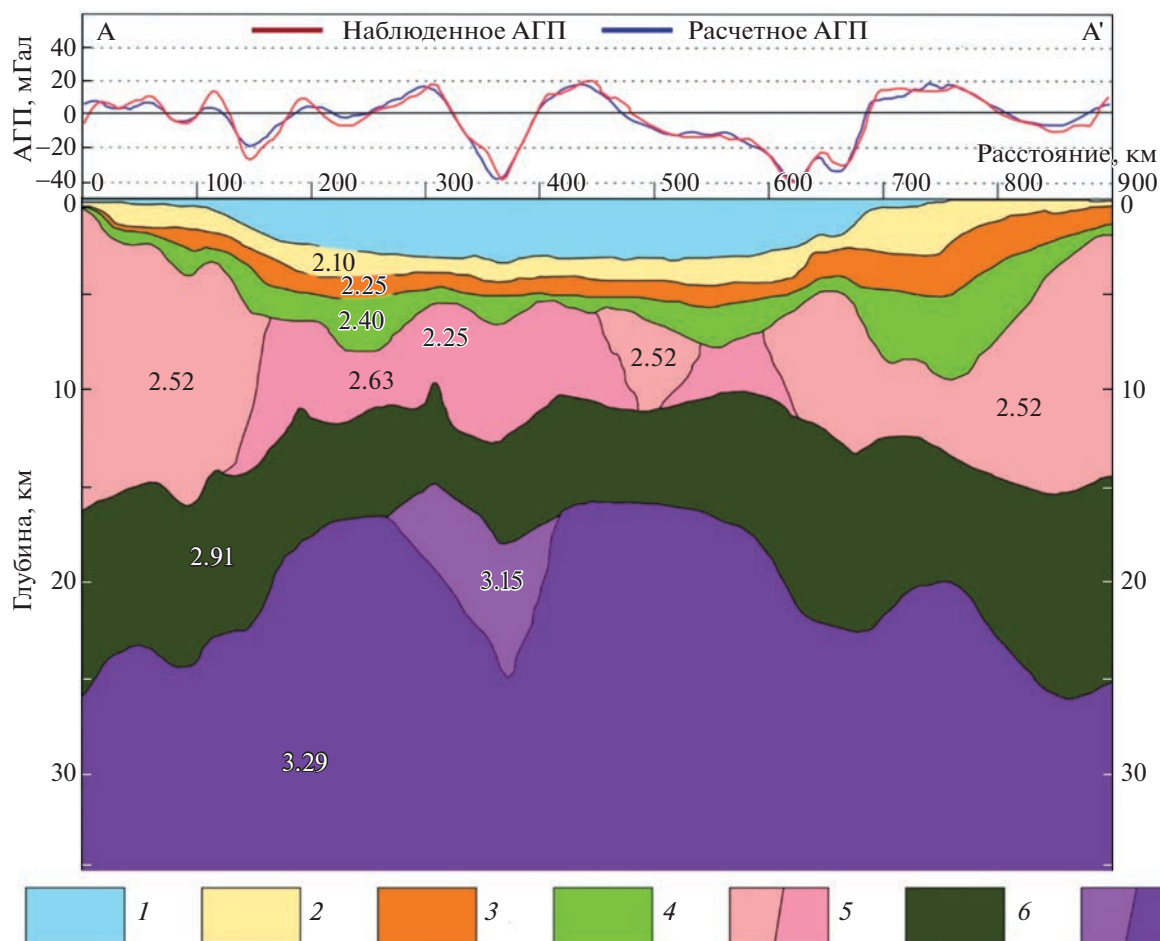


**Рис. 1.** Схема сейсмических материалов МОВ и МОВ ОГТ, использованных при построении 3D-сеймоплотностной модели земной коры. Синим цветом выделены профили, которые использованы при актуализации модели. Пунктирным прямоугольником показана площадь рассчитанной 3D-модели земной коры, А–А' — линия разреза 3D-модели, приведенная на рис. 2.

зафиксированному скважинами на хр. Ломоносова. К этому времени конец олигоцена/ранний миоцен, 23 млн лет назад, относится переориентация арктических плит, сопровождавшаяся постепенным открытием пролива Фрама и повсеместной регрессией уровня моря. Рубеж в 22.5 млн. лет обозначен в работе, детально представляющей историю формирования Норвежско-Гренландского бассейна [10]. С этого времени раскрытие Норвежско-Гренландского бассейна про-

исходит с центром спрединга, переместившимся на хребет Колбенсей.

Возраст горизонта рCU, разделяющего в регионе среднюю и нижнюю толщи, определяется в 65 млн. лет. На ряде сейсмических разрезов выделяется также несогласие, время формирования которого относится, скорее всего, к эоцену. Датировка этого горизонта в диапазоне около 54.9–48.9 млн лет приурочена ко времени, когда в раннем-среднем эоцене отмечен термальный клима-



**Рис. 2.** Разрез по профилю А–А' 3D-модели земной коры в северной части моря Лаптевых (положение см. рис. 1). 1 – морская вода; 2 – верхняя осадочная толща; 3 – средняя осадочная толща; 4 – нижняя осадочная толща; 5 – метасадочные и кристаллические породы верхней коры; 6 – нижняя кора; 7 – мантия, включая зону разуплотнения под областью активного рифтогенеза.

тический максимум, сопровождавшийся субтропическими условиями формирования осадков с обильным содержанием пресноводных папоротников *Azolla*. К этому же времени (65–55 млн лет) относится перерыв осадконакопления на островах моря Лаптевых [4].

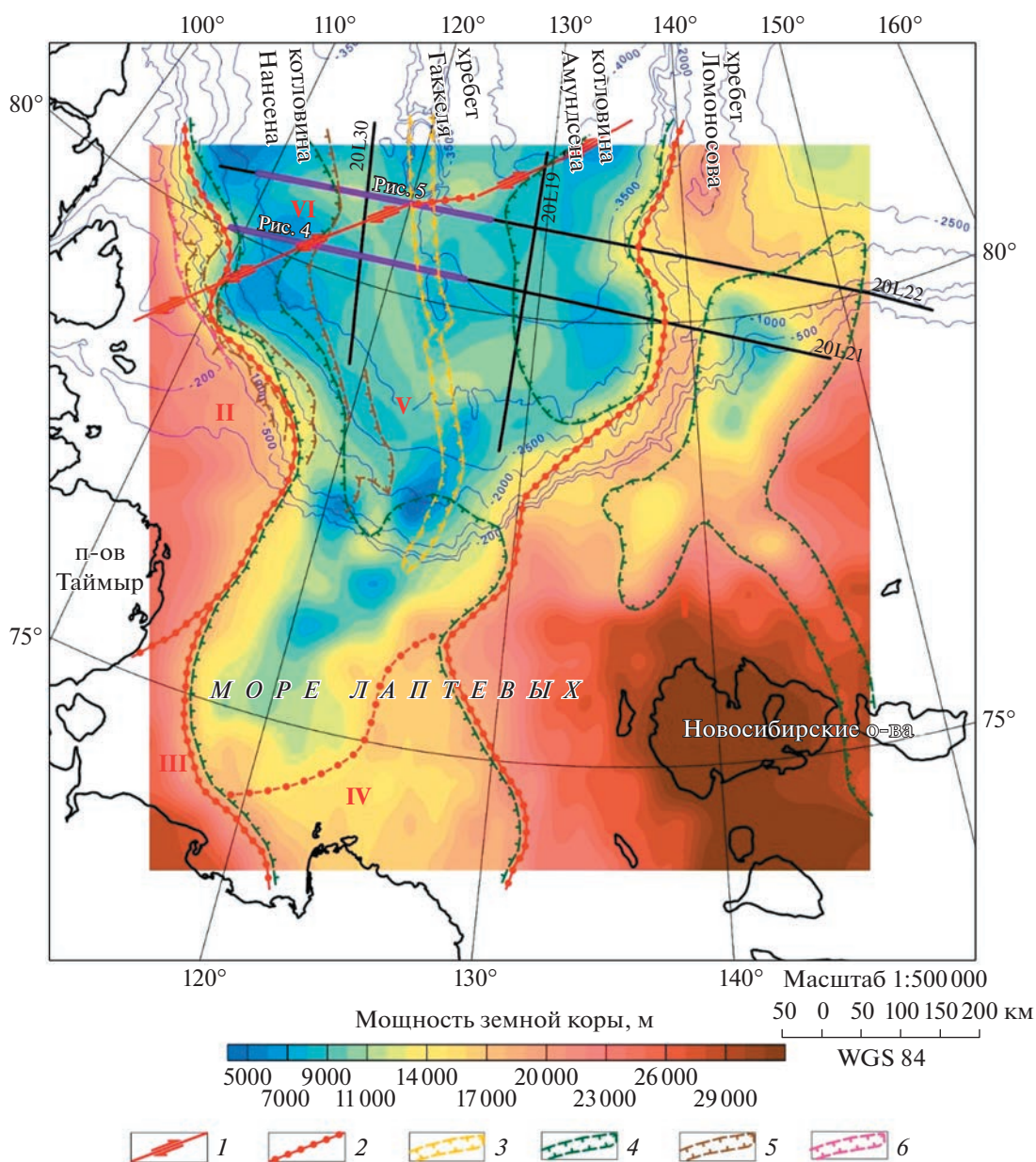
В последнее время наметилось единообразие и в определении времени начала осадконакопления в регионе, отображаемого на разрезах как поверхность консолидированного фундамента (В). Возраст этого горизонта определен как 125 млн лет [7].

В процессе работы над моделью проверена объективность определения средней плотности выделенных трех осадочных толщ. Проверка осуществлялась на основе известных соотношений между скоростью и плотностью обломочных осадочных толщ [11, 12]. Верхняя толща, располагающаяся в рассматриваемом регионе на глубинах от 0 до 3.3 км, характеризуется средними скоростями сейсмических волн около 2.5 км/с, что соответствует породам с плотностью около 2.10 г/см<sup>3</sup>.

Средняя толща располагается в диапазоне глубин от 1.4 до 6 км. Она характеризуется средними скоростями около 3.35 км/с, что соответствует породам с плотностью около 2.25 г/см<sup>3</sup>. Наконец, нижняя толща, располагающаяся в регионе на глубинах от 1.6 до 10.5 км, характеризуется средней скоростью сейсмических волн около 4.1 км/с, что соответствует плотности 2.40 г/см<sup>3</sup>.

Разрез земной коры вдоль профиля А–А' (положение показано на рис. 1), извлеченного из расчетной 3D-модели, показан на рис. 2.

Консолидированный фундамент по окраинам рассматриваемой области Евразийского бассейна представлен, предположительно, складчатыми мезозойскими толщами со средней плотностью 2.52 г/см<sup>3</sup>. В глубоководной части Евразийского бассейна под осадочными толщами предполагается существование кристаллического фундамента с плотностью 2.63 г/см<sup>3</sup>. Плотность нижней коры составляет, согласно расчетам, 2.91 г/см<sup>3</sup>, а



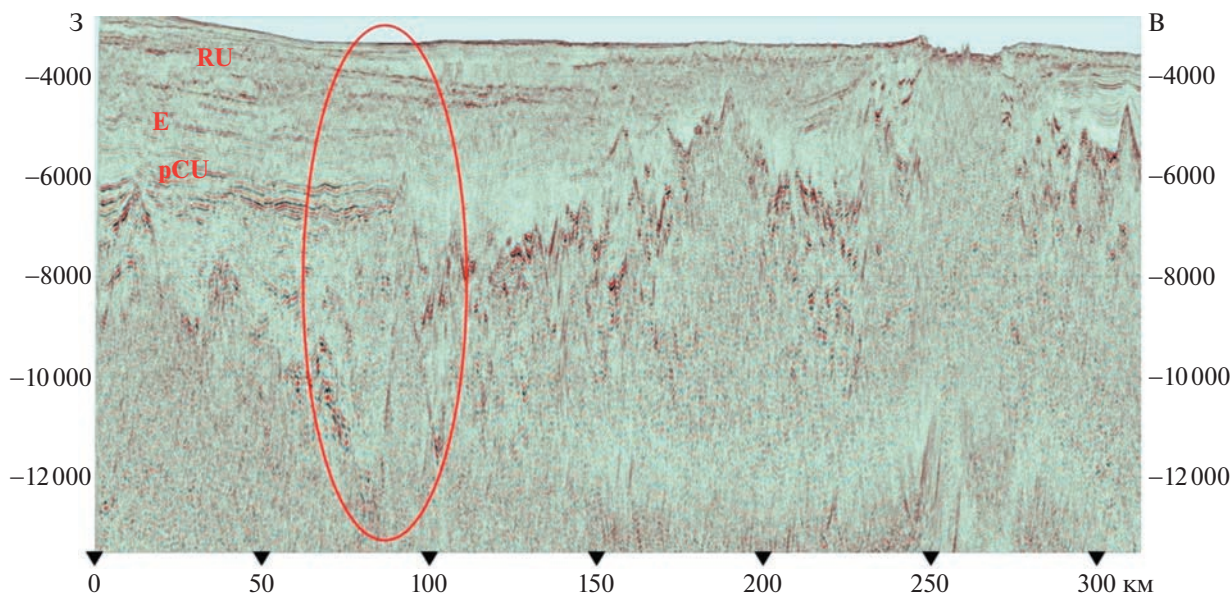
**Рис. 3.** Схема районирования земной коры в зоне сочленения юго-восточного блока Евразийского бассейна и шельфа моря Лаптевых. Мощность консолидированной части земной коры приведена по данным 3D-сейсмоплотностного моделирования. 1 – Сдвиговая зона на границе разнотипных блоков земной коры; 2 – Границы разнотипных блоков земной коры; 3 – Сейсмоактивная зона современного рифтогенеза; 4 – Границы ареалов юрско-мелового осадконакопления; 5 – Границы ареалов палеогенового осадконакопления в котловине Нансена; 6 – Граница ареала неогенового осадконакопления в котловине Нансена. I – Чукотской складчатой области на докембрийском фундаменте; II – Таймырско-Североземельская позднепротерозойская складчатая область; III – область мезозойских дислокаций докембрийского фундамента; IV – Верхоянская складчатая область; V – растянутая континентальная кора и ареалы мезозойской океанической земной коры; VI – океаническая земная кора.

мантии –  $3.29 \text{ г/см}^3$ , за исключением клиновидной зоны разуплотнения в современной сейсмоактивной зоне рифтогенеза с подобранной плотностью  $3.15 \text{ г/см}^3$ .

Для районирования области чрезвычайно важными оказались данные о мощности консолидированной части земной коры в зоне сочленения

юго-восточной части Евразийского бассейна и Лаптевского шельфа (рис. 3). Карта мощности консолидированной части земной коры положена в основу приводимой ниже тектонической схемы.

Выделение блоков I (часть Новосибирско-Чукотской складчатой области на докембрийском фундаменте), II (Таймырско-Североземельской



**Рис. 4.** Фрагмент профиля 20L21. Пересечение контакта (зоны сдвига) блоков земной коры разного типа в котловине Нансена. Положение разреза см. рис. 3.

позднепротерозойской складчатой области) и III (области мезозойских дислокаций докембрийского фундамента, окраины Сибирской платформы) соответствует принятой большинством геологов классификации. Сложнее обстоит с классификацией структур земной коры в центральной части моря Лаптевых. Относительно южной части этой области (IV) можно сказать, что по мощности кристаллической части земной коры, более 15 км, эта область соответствует умеренно растянутой континентальной коре [13]. Что касается северного региона (V), где мощность консолидированной земной коры составляет 7–11 км, то она может включать как ареалы подвергнутой сильному растяжению континентальной коры, так и перекрытую мощным осадочным чехлом кристаллическую океаническую кору мезозойского возраста.

Особый интерес представляет находящаяся на самом севере изучаемого региона область VI. Граница этой области довольно уверенно выделяется на основе анализа аномалий магнитного и гравитационного поля [4]. Но только в результате сейсмических работ 2020 г. были получены доказательства сдвигового характера границы, отделяющей область океанической коры VI от остальной изучаемой площади. По-видимому, эта зона деформации разделяет совершенно разнородные, сформировавшиеся в различные эпохи блоки земной коры.

На рис. 4. представлен фрагмент сейсмического профиля 20L21 (положение см. рис. 3). Пересечение контакта (зоны сдвига) блоков земной ко-

ры разного типа в котловине Нансена отмечено на разрезе красным овалом.

В левой части разреза показано наиболее вероятное положение горизонтов RU, E (ранний эоцен) и pCU. В точке пересечения предполагаемой разломной зоны происходит полная смена характера сейсмического разреза, что может быть объяснено наличием сдвига с большой амплитудой перемещения. Как видно на рис. 3, контуры мезозойского бассейна смещены по зоне правого сдвига на 90 и 130 км, а контуры палеогенового бассейна – на 60 и 70 км. Прекращение в палеогене движений в этой зоне подтверждает гипотезу о геодинамической причине такой перестройки [14].

Неогеновые осадочные толщи перекрывают сдвиговую зону без существенных нарушений. Следовательно, можно предположить, что сдвиговая зона перестала “работать” в олигоценное время.

На профиле 20L22 пересечение контакта (зоны сдвига) блоков земной коры разного типа в котловине Нансена расположено вблизи рифтовой зоны на продолжении хребта Гаккеля (рис. 5).

Мощность осадочного чехла в зоне контакта двух блоков на профиле 20L22 невелика, поэтому сопоставление разрезов по обе стороны от контакта не столь значимо, как на предыдущем профиле. Тем не менее наличие глубоко проникающей дизъюнктивной зоны в точке предполагаемого контакта неоспоримо.

Таким образом, анализ построенной 3D-модели земной коры в зоне сочленения южного блока Евразийского бассейна и шельфа моря Лаптевых

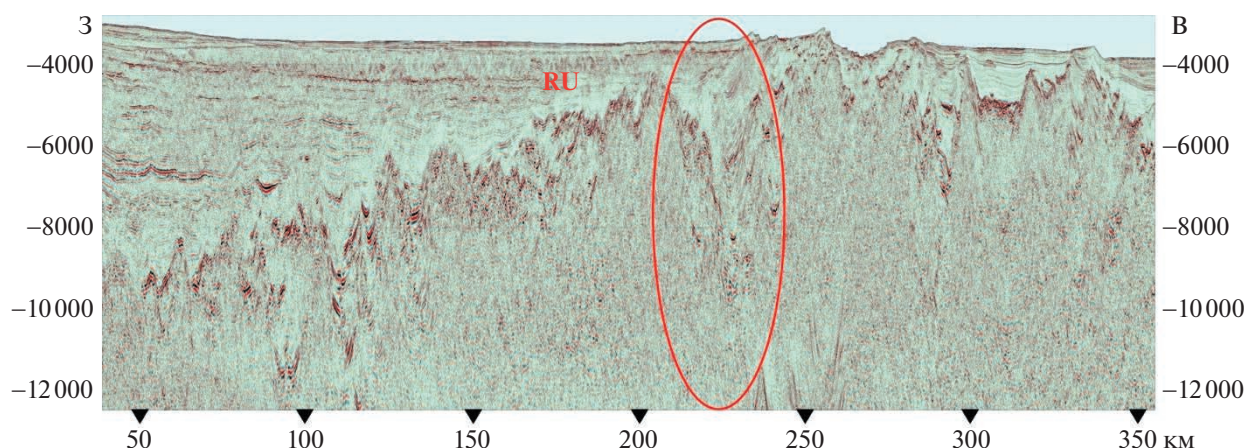


Рис. 5. Фрагмент профиля 20L22. Пересечение контакта (зоны сдвига) блоков земной коры разного типа в котловине Нансена, вблизи рифтовой зоны на продолжении хребта Гаккеля. Положение разреза см. рис. 3.

свидетельствует о коренном отличии геологического строения прилаптевоморской части Евразийского бассейна от остальной его области. В регионе, включающем северо-западную часть моря Лаптевых и юго-восточную часть Евразийского бассейна, формирование фундамента и осадконакопление начались, вероятнее всего, в позднеюрское время, а сам фундамент является либо частью позднеюрского океана (не до конца закрывшегося Южно-Анжуйского бассейна), либо областью растянутой в позднеюрское время континентальной коры окраины материка. Юго-восточная часть Евразийского бассейна отделена от остального бассейна зоной правого сдвига, смещение по которому к концу Палеогена составляло более 100 км.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасик А.М. Основные особенности истории развития и структуры дна Арктического бассейна по аэромагнитным данным // Морская геология, седиментология, осадочная петрография и геология океана. Л.: Недра. 1980. С. 178–193.
2. Taylor P.T., Kovacs L.C., Vogt P.R., Johnson G.L. Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic Basin // Journal of Geophysical Research. 1981. V. 86. P. 6323–6333.
3. Glebovsky V.Y., Kaminsky V.D., Minakov A.N., Merkur'ev S.A., Childers V.A., Brozena J.M. Formation of the Eurasia Basin in the Arctic Ocean as inferred from geohistorical analysis of the anomalous magnetic field // Geotectonics. 2006. V. 4. P. 21–42.
4. Арктический бассейн (геология и морфология). Ред. В.Д. Каминский. СПб: ВНИИОкеангеология, 2017. 291 с.
5. Geologic structures of the Arctic Basin. Ed. Alexey Piskarev, Victor Poselov, Valery Kaminsky. Springer, 2019. 375 p.
6. Zakharov V.A., Kim B.I., Rogov M.A. Probable Distribution of Upper Jurassic and Lower Cretaceous Deposits on the Laptev Sea Shelf and Their Petroleum Resource Potential // Stratigraphy and Geological Correlation. 2013. V. 21. № 5. P. 496–514.
7. Кириллова-Покровская Т.А. Разработка актуализированной геологической модели моря Лаптевых и сопредельных глубоководных зон для уточненной оценки его углеводородного потенциала // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 30–38.
8. Дараган-Суцкова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцков Ю.И., Леонтьев Д.И., Савельев И.Н. История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения. 2020. Т. 84. С. 25–44.
9. Пискарев А.Л., Аветисов Г.П., Киреев А.А., Казанин Г.С., Поселов В.А., Савин В.А., Смирнов О.Е., Элькина Д.В. Строение зоны перехода шельф моря Лаптевых—Евразийский бассейн, Северный Ледовитый океан // Геотектоника. 2018. № 6. С. 3–24.
10. Gernigon L., Franke D., Geoffroy L., Schiffer C., Foulger G.R., Stoker M. Crustal fragmentation, magmatism, and the diachronous opening of the Norwegian-Greenland Sea // Earth-Science Reviews. 2019. 193.
11. Barton P.J. The relationship between seismic velocity and density in the continental crust — a useful constraint? // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1986. V. 87. Iss.1. P. 195–208.
12. Gardner G.H.F., Gardner L.W., Gregory A.R. Formation velocity and density — the diagnostic basics for stratigraphic traps // Geophysics. 1974. V. 39. P. 770–780.
13. Пискарев А.Л. Петрофизические модели земной коры Северного Ледовитого океана. Ред. Ю.Е. Погребницкий. Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, Т. 203, СПб, 2004, 134 с.
14. Лобковский Л.И., Кононов М.В., Шупилов Э.В. Геодинамические причины возникновения и прекращения кайнозойских сдвиговых деформаций в Хантага-Ломоносовской разломной зоне (Арктика) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 82–87.

## STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST OF THE LAPTEV SEA CONTINENTAL MARGIN AND THE ADJACENT PART OF THE EURASIAN BASIN

**A. L. Piskarev<sup>a,b,#</sup>, Academician of the RAS V. D. Kaminsky<sup>a</sup>, V. A. Poselov<sup>a</sup>, D. V. Bezumov<sup>a</sup>, S. M. Zholondz<sup>a</sup>, A. A. Kireev<sup>a</sup>, G. I. Ovanesian<sup>a</sup>, V. A. Savin<sup>a,b</sup>, and O. E. Smirnov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*All-Russian Institute of Oceanology, Saint-Petersburg, Russian Federation*

<sup>b</sup>*St-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: apiskarev@gmail.com*

A 3D model of the Earth's crust for the Laptev Sea continental margin and the adjacent part of the Eurasian Basin was built using the latest seismic and gravity data. The thickness of the Earth's crust in the research area equals 7–11 km, which corresponds to a highly extended continental or oceanic crust. Basement formation and sedimentation in this area most likely began in the Late Jurassic. The south-eastern part of the Eurasian Basin is separated from the rest of the basin by a dextral shear zone, the displacement along which during the Paleogene was more than 100 km.

**Keywords:** Laptev Sea, Eurasian Basin, geophysical modeling, Earth's crust, tectonics