

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНО-КАРСКОЙ ОСАДОЧНОЙ ВПАДИНЫ

А.Г. Родников<sup>1</sup>, Л.П. Забаринская<sup>1</sup>, В.Б. Пийп<sup>2</sup>, Н.А. Сергеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Геофизический центр РАН, ул Молодежная 3, г Москва, 119296; e-mail: n.sergeyeva@gcras.ru

<sup>2</sup>Геологический факультет МГУ, ГСП-1, Ленинские горы, г. Москва, 119991,

Поступила в редакцию 3 апреля 2015 г.

В статье рассматривается строение и эволюция пассивных континентальных окраин Северного Ледовитого океана на примере Южно-Карской впадины. Ее развитие связано с эволюцией Западно-Сибирской плиты и образованием Северного Ледовитого океана. До позднего мела Южно-Карская впадина была северной окраиной Западно-Сибирской плиты, образование которой связано с пермско-триасовыми процессами рифтогенеза, сопровождаемого излияниями траппов. В мезозое в связи с раскрытием Северного Ледовитого океана Южно-Карская впадина стала частью пассивной континентальной окраины с продолжавшимся накоплением морских песчано-глинистых пород.

**Ключевые слова:** пассивная континентальная окраина, геодинамическая модель, глубинное строение, сейсмический разрез, Южно-Карская впадина.

Северный Ледовитый океан обрамлен пассивными континентальными окраинами, для которых характерны длительные и интенсивные погружения. В результате этих процессов накопились многокилометровые толщи осадочных пород мощностью свыше 15–20 км, образующих шельф арктических морей Северного Ледовитого океана. Проведенные в пределах Баренцево-Карского региона сейсмологические исследования [29] показали распространение в верхней мантии высокоскоростных аномалий, свидетельствующих о ее высокой плотности, что, возможно, указывает на распространение древней континентальной литосферы под окраинными морями. Вероятно, осадочные бассейны развивались как внутрикратонные впадины, в дальнейшем разрушенные рифтогенными процессами. Формирование их связано с эволюцией Западно-Сибирской плиты, северной частью которой они являются, а также с раскрытием в мезозойскую эру Северного Ледовитого океана. Считается [12], что в домезозойское время на месте Северного Ледовитого океана существовала Арктида как часть Пангеи, что подтверждается распространением в пределах арктического региона высокоскоростных аномалий до глубины 250–300 км [25]. Последующие мезозойско-кайнозойские геодинамические процессы привели к раскрытию Амеразийского и Евразийского бассейнов. Интерпретация геофизических данных с привлечением результатов геологических исследова-

ний свидетельствует, что раскрытие Амеразийского бассейна началось 157 млн лет назад и продолжалось до 140–120 млн лет [18]. Евразийский бассейн образовался в процессе спрединга океанической коры, начавшегося 58 млн лет назад [7, 19]. Срединно-океанический хребет из Атлантического океана «прорвался» в Северный Ледовитый океан в виде рифтовой зоны хр. Гаккеля, продолжением которого на Азиатском материке является Момский грабен, протянувшийся во внутренней части Верхояно-Колымской системы на расстояние свыше 1200 км [5, 6]. Данные GPS [26] свидетельствуют о постепенном раскрытии Северного Ледовитого океана и сокращении площади Тихого океана, по крайней мере, северной его части. Раскрытие в мезозойскую эру Северного Ледовитого океана оказало влияние на глубинное строение осадочных впадин, геодинамическое развитие которых рассмотрено на примере Южно-Карской впадины.

Работа выполнена в рамках международного проекта «InterMARGINS», программа которого предусматривает изучение глубинного строения пассивных и активных континентальных окраин Земли [15]. Ранее авторами были построены геодинамические модели для морей активных континентальных окраин переходной зоны от Евразийского континента к Тихому океану, на основе которых получено представление о глубинном строении недр Земли этого региона, о глубинных процессах, протекающих в мантии и определяющих

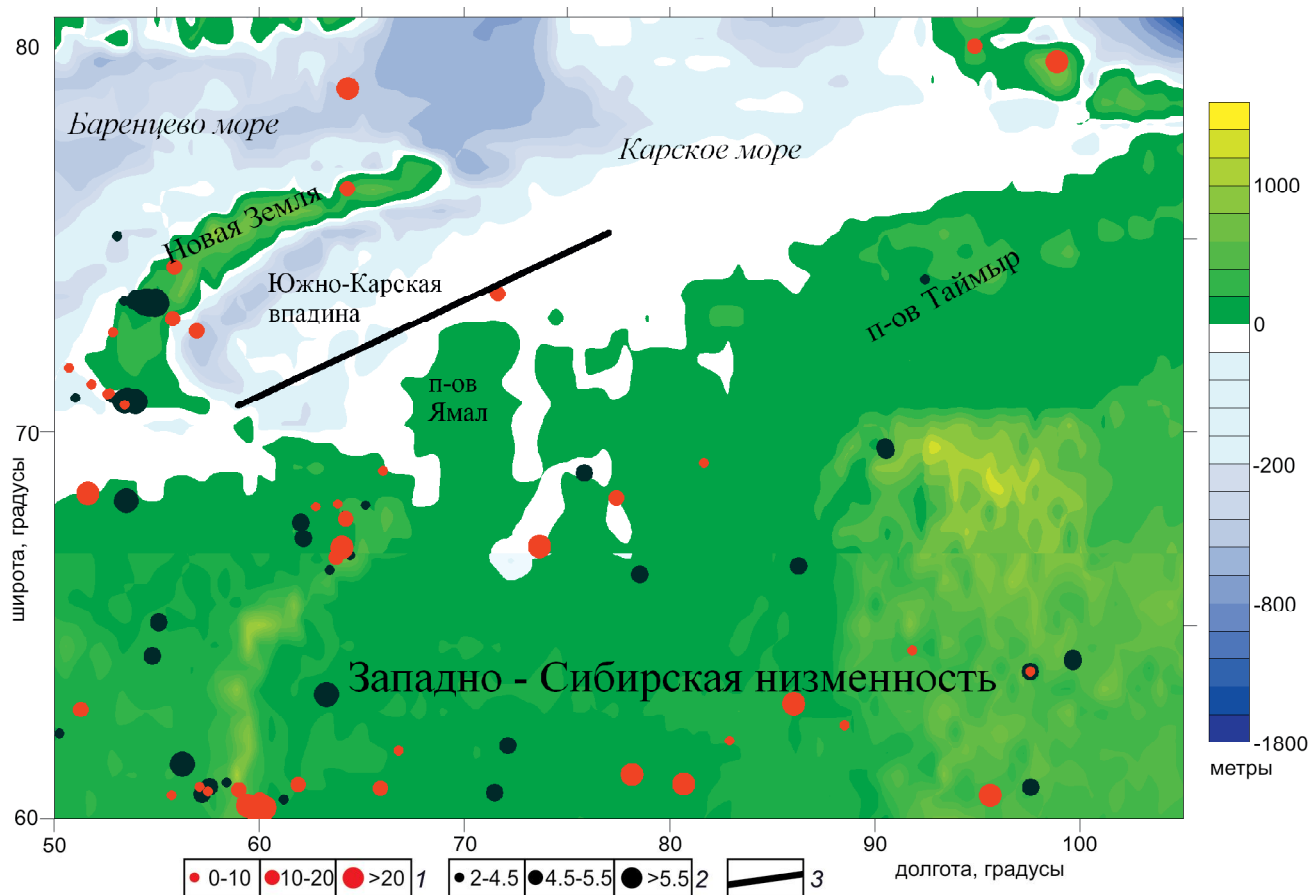


Рис. 1. Топография и батиметрия региона Карского моря [31].

1 – землетрясения [26]; 2 – техногенные сейсмические события (взрывы) [26]; 3 – сейсмический разрез.

формирование структур земной коры. Эти исследования позволили провести корреляцию между строением верхней мантии, геологическими структурами, тектоно-магматической активностью и гидротермальными проявлениями [16]. Исследование пассивных континентальных окраин района Карского моря является следующим этапом изучения недр Земли.

**Тектоника.** Карское море расположено преимущественно на шельфе, средняя глубина 127 м, наибольшая глубина 620 м (рис. 1). В центральной части моря между Новой Землей и п-вом Ямал расположена Южно-Карская впадина. Карское море ограничено двумя глубоководными прогибами. Вдоль западного побережья Северной Земли протягивается прогиб Воронина с глубиной до 420 м, а вдоль восточных берегов Новой Земли простирается Восточно-Новоземельский трог с глубинами 200–400 м.

Южно-Карская впадина выполнена стратифицированными толщами от пермского (?) до четвертичного возраста. В основании впадины, вероятно,

прослеживаются рифтовые системы, протянувшиеся со стороны Западно-Сибирской низменности [3, 14, 20]. Данные по прилегающим регионам Новой Земли, п-ова Таймыр, Западной Сибири, а также материалы морской сейсморазведки свидетельствуют, что в строении фундамента, возможно, участвуют докембрийские и палеозойские породы [20, 21]. Выделенные в Карском море сейсмическими исследованиями триасовые отложения сложены, по аналогии с породами п-ова Ямал, прибрежно-морскими образованиями, трансгрессивно залегающими на палеозойских породах [21]. Вместе с палеозойскими отложениями они образуют рифтовый комплекс пород, широко развитый в пределах арктического региона. Мезозойские отложения, выполняющие впадину, сложены терригенно-морскими породами. Трансгрессии и регрессии моря в мезозойскую эру обусловлены геодинамическими процессами, протекающими в регионе Северного Ледовитого океана. Осадконакопление в юрский период на большей части Карского моря и севере

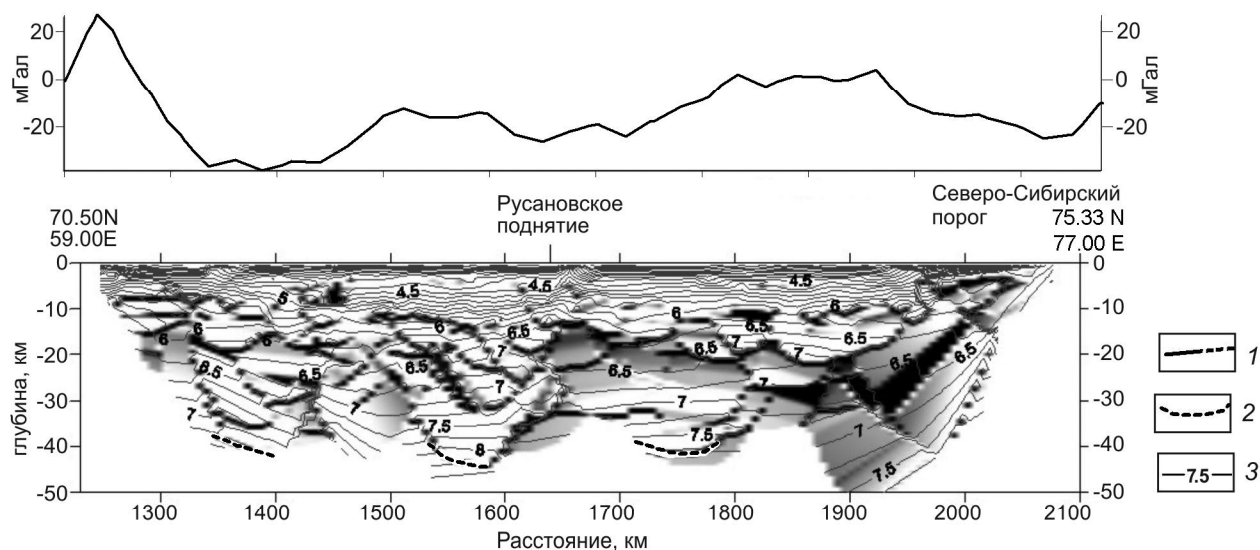
Западно-Сибирской плиты происходило в пределах единого мелководного морского бассейна, с повторяющимися повышениями и понижениями уровня моря. В это время происходило накопление песчано-глинистых пород. Максимальное прогибание впадины, сопровождаемое трансгрессией моря, приходится на конец юрского времени и, вероятно, связано с раскрытием Американо-Сибирского бассейна Северного Ледовитого океана. В позднеюрскую и раннемеловую эпохи происходило образование морских песчано-глинистых пород, представляющих собой чередование песчаников, алевролитов, аргиллитов и глин. В поздне-меловую эпоху, по-видимому, в связи с раскрытием Евразийского бассейна образовался Северо-Сибирский порог, ограничивающий Южно-Карскую впадину от океана. Впадина начала развиваться в пределах формирующейся в то время пассивной континентальной окраины. Происходило накопление глубоководных глинистых пород, в кайнозое сменившихся глинами с прослоями песчано-алевритовых образований. Образование в то время в осадочном чехле рифтогенных структур, возможно, сопровождалось базальтовым магматизмом и резким увеличением глубины моря до 500–600 м [4].

**Сейсмичность.** Регистрация сейсмических событий в Арктике затруднена из-за малого количества арктических сейсмических станций. Существующая с середины XX столетия мировая сеть станций позволяет регистрировать события с магнитудами от 4.5–5 при точности локализации  $\delta L = 25\text{--}50$  км [1]. Анализ данных о землетрясениях, произошедших в районе

Карского моря [26], показывает, что район практически асейсмичен. В каталогах приводятся данные о нескольких землетрясениях с глубинами от 10 до 25 км и магнитудами до 5, происшедших на островах архипелага Северная Земля, на континентальном обрамлении моря и на Новой Земле, где в основном сейсмические события имеют техногенное происхождение.

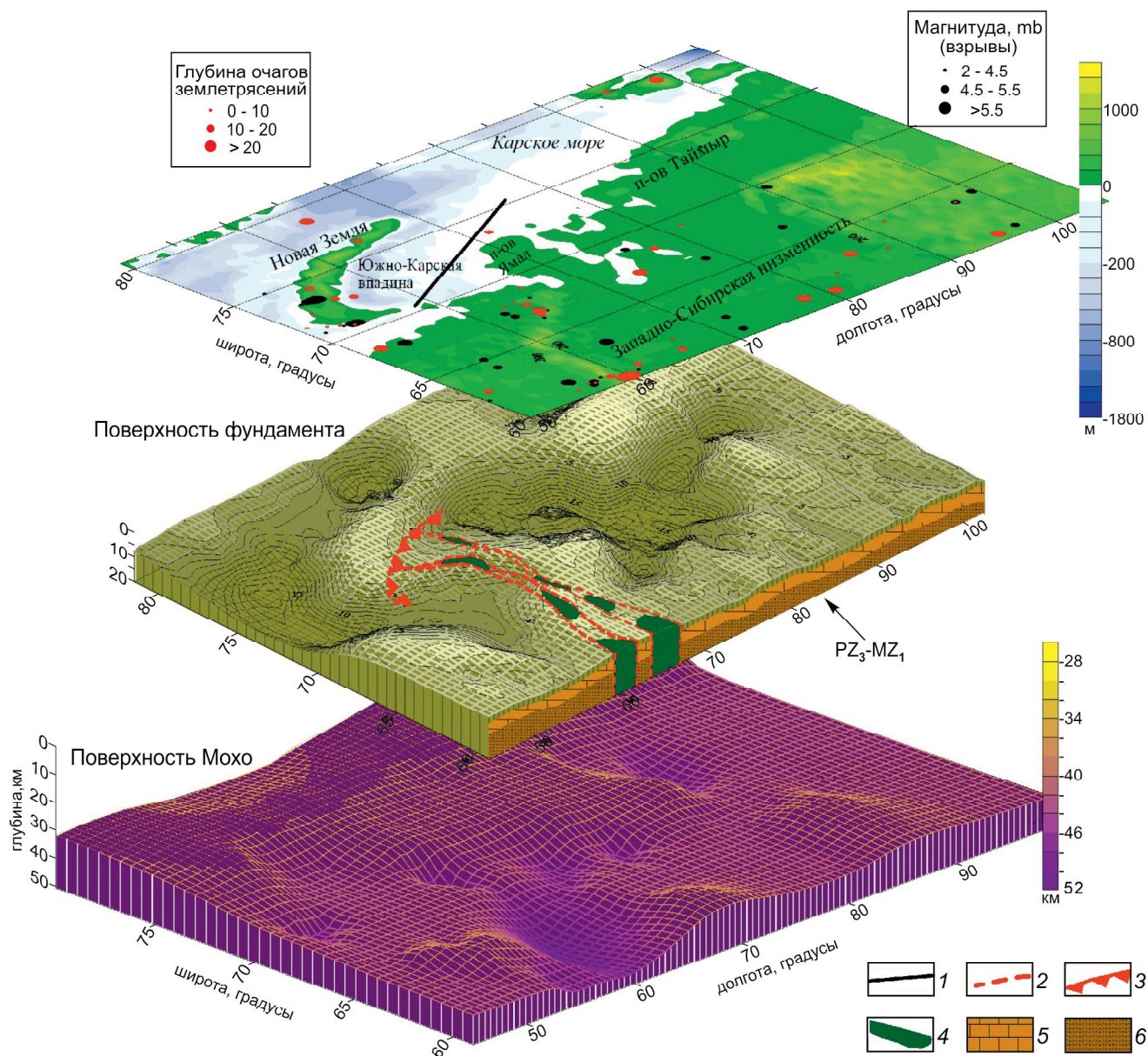
**Тепловой поток.** Геотермическое поле региона Южно-Карской впадины характеризуется повышенной плотностью теплового потока (более  $70$  мВт/м<sup>2</sup>) особенно в областях с мощными осадочными толщами [10, 23]. На остальной части акватории Карского моря отмечаются пониженные значения (около  $50$  мВт/м<sup>2</sup>). Разработанные трехмерные модели геотермического поля на основе совместной интерпретации структурных параметров литосферы и геотермических измерений в арктических шельфовых морях [22] дали возможность выделить в пассивных континентальных окраинах осадочные впадины с повышенными значениями геотемпературного поля типа «термических куполов». В западной части Южно-Карской впадины выделен такой «термический купол» с температурой до  $400$  °С на глубине около 15 км, с которым, возможно, связаны месторождения углеводородов.

**Глубинное строение.** На рис. 2 представлен разрез земной коры Карского моря, который начинается у южного окончания Новой Земли, пересекает структуры Южно-Карской впадины и заканчивается в районе Северо-Сибирского порога. Сейсмический разрез постро-



**Рис. 2.** Сейсмический разрез земной коры Южно-Карской впадины.

1 – главные разделы в коре; 2 – поверхность Мохо; 3 – изолинии сейсмических скоростей. Вверху график аномального гравитационного поля [30].



**Рис. 3.** Геодинамическая модель глубинного строения Южно-Карской впадины.

Вверху батиметрическая карта [31] с эпицентрами землетрясений [26] и расположением сейсмического профиля. Ниже поверхность фундамента [9] с рифтовой структурой, прорвавшейся в позднепермское–раннемезозойское время из Западно-Сибирской низменности в Южно-Карскую впадину, частично заполненной лавами основного состава. От Новой Земли впадина ограничена глубинным разломом. Внизу – поверхность Мохо [8], структура которой, вероятно, определяется температурным режимом, с максимальной температурой 700–750 °С и, возможно, влиянием астеносферы, расположенной на глубине примерно 50 км. 1 – сейсмический профиль; 2 – рифтовая структура; 3 – глубинный разлом; 4 – толеитовая магма; 5 – терригенные породы; 6 – вулканогенные породы.

ен по данным многочисленных сейсмических исследований по методике, разработанной в МГУ [11, 17].

Южно-Карская впадина характеризуется мощным осадочным слоем, достигающим 15–18 км. Осадочный слой южной части района разбит многочисленными разломами различного простирания на блоки протяженностью 50–100 км. По геофизическим

данным в этом районе наблюдаются линейные знакопеременные магнитные аномалии, также связываемые многими исследователями с возможным наличием рифтовых систем [20, 24]. В районе Русановского поднятия осадочная толща сокращается до 8 км. В некоторых местах осадки разделяются на два подслоя: верхний, со скоростями до 5.7 км/с, и нижний, значи-

тельной мощности, со скоростями от 5.5 до 6.2 км/с и низким градиентом скорости. Консолидированная кора Южно-Карской впадины в целом имеет двуслойное строение, как и Северо-Баренцевская впадина [10]. Мощность консолидированной коры составляет около 30 км. В восточной части профиля со стороны Северо-Сибирского порога нижняя кора, разбитая разломами, толщиной 10–15 км погружается под более мощную кору впадины до глубины 35–40 км. В районе Русановского поднятия в коре выделена сложная структура, которая имеет черты, характерные для спрединговых центров [2, 11]. В нижней части коры на глубинах около 30 км выделяется поднятие мантии с аномально низкой сейсмической скоростью, где скорость понижена на 0.2 км/с относительно вмещающих пород. Крупные зоны аномально низких скоростей в мантии установлены под всей Южно-Карской впадиной. Граница Мохо прослежена на нескольких участках профиля на глубинах около 39–42 км. По геотермическим данным в верхней мантии, в пределах твердой литосферы температура может градиентно возрасти от 700–750 °С до 1200 °С на глубине 42–45 км. Возможно, что кровля термической астеносферы, приуроченная к изотерме 1250 °С, с учетом *PT*-условий для данной глубины, расположена на глубине свыше 50 км [22].

**Геодинамическая модель.** На рис. 3 представлена геодинамическая модель глубинного строения Южно-Карской впадины, построенная по данным многочисленных сейсмических и геологических исследований [8, 9, 11, 14, 26, 28, 31].

Модель включает следующие поверхности: батиметрию, поверхность фундамента, поверхность Мохо. Эта 3D-структурная модель отражает глубинное строение и соотношение поверхностных и глубинных структур впадины. Впадина открывается к Западно-Сибирской низменности в районе п-ова Ямал. Ее структура отчетливо выражена в гравитационном поле. На батиметрической карте показана слабо выраженная в рельефе мелководная Южно-Карская впадина, постепенно переходящая в Западно-Сибирскую низменность.

Очаги землетрясений расположены вдоль континентального обрамления впадины, на Новой Земле и Северной Земле. На карте фундамента показана прорвавшаяся из Западной Сибири рифтовая система пермско-триасового возраста, частично заполненная основной магмой. Образование рифтовой системы и определило глубинную структуру Южно-Карской впадины. На карте Мохо поверхность верхней мантии неровная, расположена на глубинах 35–45 км, пониженные сейсмические скорости, вероятно, свидетельствуют о воздействии магматических расплавов и глубинных флюидов на земную кору. Формирование Южно-Карской впадины было связано с проявлением

в пермско-триасовую эпоху основного магматизма, отчетливо выраженного в Западно-Сибирской низменности и в Восточной Сибири, которые известны своими трапповыми формациями. Несколько этапов магматизма выделены на окаймляющих Южно-Карскую впадину континентальных окраинах Западной Сибири, Новой Земли, Северной Земли [24]. Вероятно, что начальный этап развития впадины, как и в Западной Сибири, связан с плюмовым магматизмом, приведшим к развитию в основании впадины рифтовых структур, заполненных магматическими породами трапповой формации [24].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие Южно-Карской впадины связано с эволюцией Западно-Сибирской плиты и образованием Северного Ледовитого океана. До позднего мела Южно-Карская впадина была северной окраиной Западно-Сибирской плиты, образование которой обусловлено пермско-триасовыми процессами рифтогенеза, сопровождаемого излияниями траппов. Вероятно, что плюмовый магматизм обусловил формирование впадины как отдельной структуры. В позднем мезозое в связи с раскрытием Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана Южно-Карская впадина стала частью пассивной континентальной окраины с продолжавшимся накоплением морских песчано-глинистых пород. Образование в то время в осадочном чехле рифтогенных структур, возможно, сопровождалось базальтовым магматизмом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисов Г.П. Сейсмичность Арктической материковой окраины России // Геология и полезные ископаемые России. В 6-и томах. Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря / Ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.
2. Аглонов С.И., Устрицкий В.И. Осадочные океанические бассейны // Докл. РАН. 1991. Т. 316, № 2. С. 425–428.
3. Богданов Н.А. Тектоника Арктического океана // Геотектоника. 2004. № 3. С. 13–30.
4. Верба В.В., Верба М.Л. Структуры растяжения земной коры в Арктическом регионе // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб.: ВНИИ-Океанология, 2002. С. 93–108.
5. Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, 1977. 248 с.
6. Грачев А.Ф. Арктический бассейн и срединно-океанический хребет Гаккеля // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Ред. А.Ф. Грачев. М.: Пробел, 2000. С. 229–245.
7. Карасик А.М. Магнитные аномалии хребта Гаккеля и происхождение Евразийского суббассейна Арктического океана // Геофизические методы разведки в Арктике. 1968. № 5. С. 8–19.
8. Карта рельефа поверхности мантии Евразии. 1:15 000 000 / Гл. ред. В.В. Белоусов. М.: АН СССР, 1988.



9. Карта рельефа поверхности фундамента Евразии. 1:15 000 000 / Гл. ред. В.В. Белоусов. М.: АН СССР, 1988.
10. Куницын А.В. Глубинное строение шельфа Баренцево-Карского региона по данным сейсмических геотраверсов.: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2008. 26 с.
11. Куницын А.В., Пийп В.Б. Строение коры Баренцево-Карского региона по данным детальных исследований методом глубинного сейсмического зондирования // Вестн. МГУ. Геология. 2008. № 3. С. 55–63.
12. Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В. и др. Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника. 2013. № 1. С. 3–35.
13. Никишин В.А. Внутриплитные и окраинноплитные деформации осадочных бассейнов Карского моря: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2013. 21 с.
14. Поселов В.А., Жолондз С.М., Трухалев А.И. и др. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / Тр. ВНИИОкеангеология. СПб., 2012. Т. 223. Вып. 8. С. 8–14.
15. Родников А.Г. Международный проект «InterMARGINS» // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 5. С. 107–109.
16. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А. и др. Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин. М.: Науч. мир, 2014. 172 с.
17. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б. и др. Геодинамика осадочных бассейнов пассивных континентальных окраин Арктики // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты: Материалы XLVII Тектонического совещ. Т. 2 / Отв. ред. К.Е. Дегтярев, Н.Б. Кузнецов. М.: ГЕОС, 2015. С. 112–117.
18. Соколов С.Ю. Тектонические элементы Арктики по данным мелкомасштабных геофизических полей // Геотектоника. 2009. № 1. С. 23–38.
19. Соколов С.Д., Лобковский Л.И., Тучкова М.И. и др. Тектоническая природа и геосторический аспект происхождения Центрально-Арктических поднятий // Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой: Материалы XLV Тектонического совещ. / Отв. ред. Н.Б. Кузнецов. М.: ГЕОС, 2013. С. 214–218.
20. Тимонин Н.И. Строение литосферы и нефтегазоносность Баренцево-Карского региона // Литосфера. 2009. № 2. С. 4–55.
21. Ульянов Г.В. Геолого-геохимические предпосылки газонефтеносности юрских отложений Южно-Карской впадины: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2011. 132 с.
22. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Леонов Ю.Г. и др. Геотермия Арктического бассейна: Проблемы и решения // Геология полярных областей Земли: Материалы XLII Тектонического совещ. Т. 2. М.: ГЕОС, 2009. С. 275–279.
23. Цыбуля Л.А., Левашкевич В.Г. Тепловое поле Баренцево-морского региона. Петрозаводск: КНЦ РАН, 1992. 110 с.
24. Шипилов Э.В., Карякин Ю.В. Юрско-меловой базальтоидный магматизм Баренцево-Карской континентальной окраины: геологические и геофизические свидетельства и геодинамические обстановки проявления // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы XLI Тектонического совещ. Т. 2. М.: ГЕОС, 2008. С. 475–481.
25. Яковлев А.В., Бушенкова Н.А., Кулаков И.Ю. и др. Структура верхней мантии арктического региона по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2012. № 10. С. 1261–1272.
26. Bulletin of the International Seismological Centre. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/>
27. Global Positioning System (GPS) Time Series. Jet Propulsion Lab. California Institute of Technology. <http://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>
28. Klitzke P. Scheck-Wenderoth M., Faleide J.I. et al. A lithosphere-scale 3D-structural model of the Barents Sea and Kara Sea region. GPZ German Research Centre for Geosciences, 2015. <http://www.gfz-potsdam.de/en/section/basin-analysis/projects/a-lithosphere-scale-3d-structural-model-of-the-barents-sea-and-kara-sea-region/>
29. Ritzmann O., Faleide J.I. The crust and mantle lithosphere in the Barents Sea/Kara Sea region // Tectonophysics. 2009. V. 470. Iss. 1–2. P. 89–104.
30. Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. N B5. P. 10039–10054.
31. Smith W.H.F., Sandwell D.T. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings // Science. 1997. V. 277. P. 1957–1962.

*Рекомендована к печати П.Г. Кулиничем*

***A.G. Rodnikov, L.P. Zabarinskaya, V.B. Piip, N.A. Sergeeva***

### **Deep structure of the South Kara sedimentary basin**

The paper deals with the deep structure and evolution of passive continental margins of the Arctic Ocean on the example of the South Kara sedimentary basin. Its development is linked to the evolution of the West Siberian Plain and the formation of the Arctic Ocean. Until the Late Cretaceous, the South Kara sedimentary basin was the northern edge of the West Siberian Plain, the formation of which is associated with the Permian-Triassic rifting processes followed by the traps eruptions. In the Mesozoic, in connection with the opening of the Arctic Ocean the South Kara sedimentary basin became part of a passive continental margin where the accumulation of the marine sandy and clayey sediments continued.

**Key words:** passive continental margin, geodynamic model, deep structure, seismic profile, South Kara sedimentary basin.