

Тектоническая карта Арктики

Главные редакторы

О. В. Петров, М. Пубелье

Санкт-Петербург
ВСЕГЕИ
2019

УДК 551.24(98)(084.3)

Тектоническая карта Арктики / ред. О.В. Петров, М. Пубелье (ВСЕГЕИ/CGMW). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. – 72 с.

ISBN 978-5-93761-561-9

Тектоническая карта Арктики (ТеМАг) масштаба 1 : 5М создана в рамках международного проекта «Атлас геологических карт Циркумполярной Арктики» учеными и специалистами геологических служб, национальных академий наук, университетов и национальных программ по научному обоснованию расширения континентального шельфа (ECS) Норвегии, Канады, России, США, Дании, Швеции, Германии и Франции при поддержке Комиссии по геологической карте Мира при ЮНЕСКО (CGMW). Координатором работ по составлению тектонической карты был Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ).

Карта сопровождается набором дополнительных цифровых карт и схем, отражающих глубинное строение региона (схема районирования потенциальных полей, карта типов земной коры, карты мощности земной коры и осадочного чехла, схема тектонического районирования фундамента, а также глубинный трансарктический геолого-геофизический разрез).

Тектоническая карта Арктики обеспечивает целостность картографического представления геологических структур глубоководных частей Арктического бассейна, шельфов окраинных морей и наземных областей его континентального обрамления и отражает согласованное представление международной научной геологической общественности о тектоническом строении этого региона и его геодинамическом развитии.

Тектоническая карта Арктики в масштабе 1 : 10М находится в приложении.



Тектоническая карта Арктики рекомендована к публикации экспертным советом Комиссии по Геологической карте мира (CGMW)

М. Пубелье, *президент Комиссии по Геологической карте мира (CGMW)*

Ф. Росси, *президент CGMW (до февраля 2018 г.)*

О. В. Петров, *вице-президент CGMW по Северной Евразии*

С. П. Шокальский, *генеральный секретарь Подкомиссии по Северной Евразии*

М. Сент-Онж, *вице-президент CGMW по Северной и Центральной Америке*

А. И. Ханчук, *академик РАН, президент Подкомиссии CGMW по тектоническим картам*

И. И. Поспелов, *генеральный секретарь Подкомиссии CGMW по тектоническим картам*

© CGMW, 2019

© Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, 2019

ISBN 978-5-93761-561-9

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Пояснения к Тектонической карте Арктики (<i>О. В. Петров, С. П. Шокальский, С. Н. Кашубин, А. Ф. Морозов, Н. Н. Соболев, И. И. Поспелов, С. Бокс, Х. Брекке, Р. Эрнст, Я. Фалейде, К. Гедике, К. Гаина, Л. Гернигон, И. Ф. Глузов, А. Гранци, Г. Э. Грикуров, П. Гуарньери, К. Харрисон, В. Д. Каминский, Ю. Б. Казмин, Л. Лабрусс, Н. Лемонье, Ю. Г. Леонов, Н. А. Мальшев, Е. Д. Мильштейн, Т. Мур, Р. Орндорф, Е. О. Петров, К. Пипджон, В. А. Поселов, М. Пубелье, В. Н. Пучков, М. Смелрор, С. Д. Соколов, М. Стефенс, М. Сент-Онж, Т. Ю. Толмачева, М. Л. Верба, В. А. Верниковский</i>)	8
Схема районирования аномальных потенциальных полей Арктики (<i>С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн, Т. П. Литвинова, Е. А. Андросов</i>)	18
Карта мощности земной коры Арктики (<i>С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, А. Ф. Морозов, В. Д. Каминский, В. А. Поселов</i>)	22
Карта типов земной коры Арктики (<i>О. В. Петров, С. Н. Кашубин, Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, Н. И. Павленкова, С. П. Шокальский, Ю. М. Эринчек</i>)	26
Геотрансект через Циркумполярную Арктику (<i>С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн, С. П. Шокальский</i>)	33
Карта мощности осадочного чехла Арктики (<i>О. В. Петров, С. Н. Кашубин, Л. А. Дараган-Суцова, Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, Е. О. Петров, К. Пипджон, В. А. Поселов, И. И. Поспелов, С. П. Шокальский, С. Д. Соколов</i>)	36
Тектоническое районирование фундамента Арктики (<i>О. В. Петров, С. П. Шокальский, С. Н. Кашубин, Г. Э. Грикуров, К. Пипджон, Н. Н. Соболев, И. И. Поспелов, С. Д. Соколов, Е. О. Петров, Т. Ю. Толмачева</i>)	40
Тектоническая модель и геодинамическая эволюция Арктики (<i>О. В. Петров, С. Н. Кашубин, С. П. Шокальский, Е. О. Петров</i>)	61

ВВЕДЕНИЕ

Арктика – это уникальный в геологическом отношении регион, где смыкаются Северо-Американская, Евразийская и Тихоокеанская литосферные плиты и на продолжении Северной Атлантики рождается новый Арктический океан (рис. 1). В арктических регионах открыты крупные рудные месторождения, а шельф располагает огромным потенциалом углеводородного сырья. Интерес к научным исследованиям Арктики, возросший в последнее десятилетие, связан с геополитическими интересами приарктических государств по расширению своих территорий за счет глубоководных шельфов в рамках деятельности Комиссии ООН по морскому праву. Повышенное внимание к региону проявляют не только приарктические государства – Дания, Канада, Россия, США, Норвегия, но и такие ведущие страны мира, как Франция, Германия, Великобритания, Китай, Республика Корея.

С целью обобщения всей геолого-геофизической информации по Арктическому региону, ко-

торый все еще остается одним из малоизученных мест планеты, был организован крупный международный проект «Атлас геологических карт Циркумполярной Арктики масштаба 1 : 5М». Работы над проектом проводятся с 2003 г. геологическими службами Норвегии, Канады, России, США, Дании, Швеции, Германии и Франции под эгидой Комиссии по Геологической карте Мира при ЮНЕСКО (CGMW) с участием ученых и специалистов из национальных академий наук и университетов.

При координации работ со стороны Всероссийского научно-исследовательского геологического института им А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) в рамках этого проекта в 2010–2018 гг. проводилось создание Тектонической карты Арктики (TeMAr).

Работа над легендой Тектонической карты была начата международной рабочей группой авторов с участием представителей CGMW в 2010 г. В апреле 2011 г. на специальном заседании CGMW в Париже легенда к карте была окончательно согласована. Первый рабочий макет Тектонической карты был представлен на Генеральной Ассамблее Европейского союза геологических наук (EGU) в Вене в апреле 2012 г. и на 34-й сессии Международного геологического конгресса в Австралии в августе 2012 г. Рабочие версии TeMAr демонстрировались на 11-й Международной конференции по развитию нефтегазового потенциала Российской Арктики и ее континентального шельфа в сентябре 2013 г. в Санкт-Петербурге, и на рабочей встрече международной рабочей группы TeMAr в феврале 2014 г. в штаб-квартире CGMW в Париже.

В апреле 2015 г. Тектоническая карта, сопровождаемая комплектом дополнительных карт и схем, была представлена на совещании в рамках специальной сессии Генеральной ассамблеи Европейского союза геологических наук в Вене. В мае этого же года канадская часть карты была опубликована геологической службой Канады (Canadian Geoscience Map – CGM 187) как самостоятельная Тектоническая карта Канады





Рис. 1. Контур площади, охваченной проектом «Атлас геологических карт Циркумполярной арктической области масштаба 1 : 5 000 000»



Рис. 2. Рабочая встреча участников проекта в феврале 2017 г. (Париж, CGMW)

(TeMAC). Международная апробация актуализированной версии TeMAg состоялась на следующей сессии Генеральной ассамблеи европейских геонаук в апреле 2016 г. в Вене и в августе на 35-й сессии Международного геологического конгресса в Кейптауне (ЮАР).

В феврале 2017 г. Комиссия по Геологической карте мира приняла решение издать Тектоническую карту Арктики в масштабе 1 : 10M, более удобном для широкого распространения в научных кругах и в образовательных целях (рис. 2, 3). В начале 2019 г. карта была издана.

**International Workshop on the Tectonic Map of the Arctic Map (TeMAr) at scale 1:5M
CGMW Headquarters in Paris
6-7-8 February 2017**

Participants

Ms. Svetlana Botysun (on behalf of Dr. Richard Ernst, Carleton University, Canada); **Dr. Stephen Box** (US Geological Survey); **Dr. Christopher Harrison** (Geological Survey of Canada); **Acad. Aleksandr Khanchuk** (Russian Academy of Sciences); **Dr. Nicolas Lemonnier**; **Dr. Tom Moore** (US Geological Survey); **Dr. Oleg Petrov** (CGMW, VSEGEI); **Dr. Karsten Piepjohn** (BGR); **Dr. Manuel Pubellier** (CGMW, CNRS); **Dr. Igor Pospelov** (CGMW, GIN RAS/VSEGEI); **Dr. Philippe Rossi** (CGMW); **Dr. Marc Saint-Onge** (CGMW, Geological Survey of Canada); **Prof. Sergey Sokolov** (Geological Institute, Russian Academy of Sciences); **Dr. Bruno Vrielynck** (CGMW).

The main aim of the workshop was:

- i) to examine the modifications / complements performed by US, Canadian and German colleagues to the last TeMAr GIS (version June 2016) and
- ii) to integrate in the GIS the modifications discussed and endorsed during the workshop.

During the days following the workshop, CGMW experts and participants will review and complete the modifications and will ensure the homogeneity of the relevant part of the database for Canada and USA.

After this task is completed, the database and a printed copy of the map will be delivered in early March 2017. VSEGEI will, in its turn, verify the completed map before presentation to the EGU in Vienna next April and prior its printing at 1:5M scale.

In addition, CGMW will make tests to produce a reduced map at about 1:10M (as previously done for other maps) for a diffusion mainly aimed at students. Although it shall be necessary to delete some information due to constraints related to layout and format, this data will be made available on a pdf file downloadable in CGMW web site.

A presentation of the map is planned to be held at CGMW booth during the EGU 2017.

Рис. 3. Решение CGMW об издании последней версии Международной тектонической карты Арктики



Рис. 4. НИС «Академик Федоров» («Арктика-2005», «Арктика-2010»), ледоколы «Polarstern» и «Healy» («Healy-2008», «Healy-2009»)

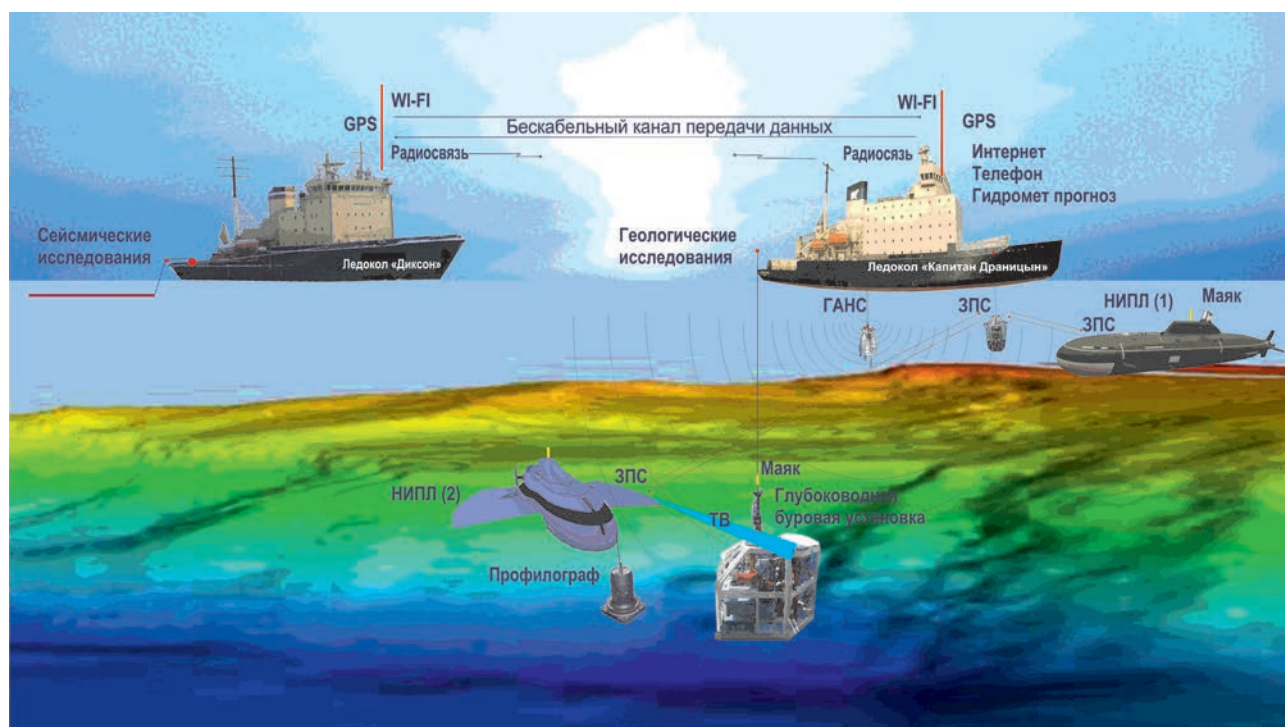


Рис. 5. Геолого-геофизический комплекс экспедиции «Арктика-2012»*

НИПЛ – научно-исследовательская подводная лодка; ЗПС – звукоподводная связь; ГАНС – гидроакустическая навигационная система.

* Морозов А. Ф., Шкатов М. Ю., Корнеев О. Ю., Кашубин С. Н. Комплексная геолого-геофизическая экспедиция «Арктика-2012» по обоснованию континентальной природы поднятия Менделеева в Северном Ледовитом океане // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 3. – С. 22–27.

Она сопровождается пояснительной запиской, в которой отражен научный вклад ее авторов в современные представления о тектонике Арктики (Scientific contributions to the Tectonic map of the Arctic, 2019).

Составление Тектонической карты Арктики заложило фундамент новому современному над-региональному этапу систематизации и обобщения геологических, геофизических и изотопно-геохронологических данных об этой до сих пор слабо изученной области планеты. Создание карты стало возможным благодаря интеграции усилий ученых и специалистов в различных областях геологии и геофизики, представляющих различные школы геологического картографирования. Эта работа является примером успешного международного сотрудничества геологических служб, национальных академий наук и университетов.

Тектоническая карта сопровождается набором дополнительных цифровых карт и схем (в виде единого ГИС-проекта), которые отражают глубинное строение региона (схема районирования потенциальных полей, карта типов земной коры, карты мощности земной коры и осадочного чехла, схема тектонического районирования фундамента, а также глубинный трансарктический геолого-геофизический разрез).

В основу Тектонической карты заложен огромный массив новой геологической и геофизической информации об арктическом регионе, полученной в ходе проведения высокоширотных научных экспедиций последних лет в рамках национальных и международных программ (e.g. ВГКШ, IODP), международных комплексных экспедиций на острова Российской и Канадской Арктики, в результате бурения скважин и сейсморазведки с целью оценки нефтегазоносности арктического шельфа. Необходимо особо выделить значения экспедиций Арктика-2005, 2007, 2010 (ледокол «Академик Фёдоров»), международных экспедиций ARK-XXI-II/3 и «Nealy-2008», «Nealy-2009» (рис. 4).

Важные геологические результаты были получены в 2012 г. экспедицией «Арктика-2012» (ледоколы «Капитан Драницын» и «Диксон»), проводившей геофизические исследования и геологическое опробование эскарпов на поднятии Менделеева-Альфа как традиционными методами, так и (впервые) с использованием научно-исследовательской подводной лодки (НИПЛ) и

глубоководного колонкового бурения неглубоких скважин на морском дне (рис. 5).

При ВСЕГЕИ создан депозитарий, в котором хранится собранный экспедицией «Арктика-2012» донно-каменный материал. Международные геологические и геофизические исследования, в частности геолого-структурные и палеомагнитные, были проведены на Шпицбергене, Новой Земле и Новосибирских островах. В 2014 и 2016 гг. Геологический институт РАН совместно с ЗАО «Геослужба ГИН» и Главным управлением глубоководных исследований Министерства обороны РФ провели геологическое опробование эскарпов поднятий Менделеева и Альфа с помощью манипуляторов НИПЛ из коренных обнажений пород акустического фундамента.

Одним из главных научных достижений новой Тектонической карты Арктики является доказательство континентальной природы области Центрально-Арктических поднятий, представляющих собой естественное геологическое продолжение Евразии. Свидетельством этого являются тесные структурные связи глубоководных частей Центральной Арктики с мелководным континентальным шельфом Северной Евразии в консолидированной коре, верхней мантии и осадочном чехле. Тесные соотношения зоны Центрально-Арктических поднятий со структурами континентального шельфа Северной Евразии подтверждаются также данными по анализу магнитного и гравитационного потенциальных полей. Новая Тектоническая карта Арктики показала, что область Центрально-Арктических поднятий является частью Северо-Американской континентальной плиты, и все современные тектонические процессы в ее пределах относятся к внутриплитным.

В настоящее время можно утверждать, что осложненный мезо-кайнозойскими структурами неопротерозойский (эпигренвильский) кратон занимает всю полярную область, включая острова, шельфы и Центрально-Арктические поднятия Американо-Азиатского бассейна. Это полностью подтверждает предположения академиков Н. С. Шатского, Ю. М. Пушаровского, В. Е. Хайна, Л. П. Зоненшайна, Л. М. Натапова и других советских и российских ученых, которые ещё в середине прошлого столетия выделили здесь платформу Гиперборея, известную в более поздней литературе как Арктида.

О. В. Петров, М. Пубелье

ПОЯСНЕНИЯ К ТЕКТОНИЧЕСКОЙ КАРТЕ АРКТИКИ

О. В. Петров, С. П. Шокальский, С. Н. Кашубин, А. Ф. Морозов, Н. Н. Соболев, И. И. Поспелов, С. Бокс, Х. Брекке, Р. Эрнст, Я. Фалейде, К. Гедике, К. Гаина, Л. Гернигон, И. Ф. Глумов, А. Грантц, Г. Э. Грикуров, П. Гуарньери, К. Харрисон, В. Д. Каминский, Ю. Б. Казмин, Л. Лабрусс, Н. Лемонье, Ю. Г. Леонов, Н. А. Малышев, Е. Д. Мильштейн, Т. Мур, Р. Орндорф, Е. О. Петров, К. Пипджон, В. А. Поселов, М. Пубелье, В. Н. Пучков, М. Смелрор, С. Д. Соколов, М. Стефенс, М. Сент-Онж, Т. Ю. Толмачева, М. Л. Верба, В. А. Верниковский

На Тектонической карте Арктики (TeMAr) в областях с континентальной корой показаны кратоны, сформировавшиеся к началу мезопротерозоя и в значительной мере перекрытые осадочным чехлом с мезо-неопротерозойским или палеозойским основанием; складчатые (орогенические) пояса гренвильского, байкальского, каледонского, герцинского, ранне- и позднемезозойского возраста, нередко переработанные более поздними тектоническими процессами – обнаженные или фрагментарно перекрытые недислоцированными осадочными отложениями неопротерозойско-палеозойских и мезо-кайнозойских осадочных бассейнов, а также крупные магматические провинции и рифты от позднепротерозойского до кайнозойского возраста. Океанические домены, отделенные от континентальных границей континент–океан или переходными зонами, представлены позднемезозойской или кайнозойской океанической корой, возраст которой определен по линейным магнитным аномалиям. Тектоническая карта сопровождается комплектом карт глубинного строения Арктики, которые охарактеризованы в специальных самостоятельных разделах.

Ключевые слова: Тектоническая карта Арктики, Циркумполярная область, магматизм, тектоника

Тектоническая карта Арктики (рис. 6) составлена в полярной стереографической проекции (Polar Stereographic), в мировой системе координат WGS 84. Южная граница карты – 60° с. ш. Теневая рельефная основа карты получена путем совмещения изображения, синтезированного по космическим снимкам Landsat 7 ETM+ (в трех спектральных диапазонах: 7 (2,08–2,35 мкм), 4 (0,76–0,90 мкм и 2 (0,52–0,60 мкм) и цифровой модели рельефа. При создании модели рельефа суши использованы радиолокационные данные SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission – радарная топографическая съемка Шаттлом, с разрешением 900 м = 30"), на акваторию – международная батиметрическая модель IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean, ver 2.23 с разрешением 2 км).

Карта обеспечивает увязку и целостность представления тектоники глубоководных океанических бассейнов, шельфов окраинных морей и континентального обрамления океанов. На ней показаны области с океанической и континентальной корой. В океанических доменах выделяются зоны со стандартной разновозрастной океанической корой и внутриплитные океанические плато и асейсмические хребты с утолщенной корой исландского типа. Для областей с континентальной корой характерны две группы геологических комплексов-индикаторов: (1) комплексов-показателей аккреции континентальной коры и формирования суперконтинентов и (2) комплексов-показателей деструкции земной

коры с внутриплитным магматизмом, крупными магматическими провинциями и базитовыми дайковыми поясами, маркирующими распад палеоконтинентов. В качестве самостоятельной группы картографируемых объектов на карте выделяются осадочные бассейны, которые в Арктике занимают 70 % всей площади Циркум-Арктики. Тектоническая карта сопровождается набором дополнительных цифровых карт (в виде ГИС-проекта), которые отражают глубинное строение региона, тектоническое районирование фундамента и типы земной коры, а также глубинным геотрансектом через всю Арктику.

При составлении Тектонической карты Арктики наряду с другими материалами использовались новейшие геологические и геофизические данные, полученные при выполнении национальных программ ECS приарктических государств по обоснованию внешних границ их континентальных шельфов.

Легенда к Тектонической карте Арктики была подготовлена двумя Подкомиссиями CGMW (по Тектоническим картам и Северной Евразии) с учётом опыта создания легенд к тектоническим картам континентов, океанов и Мира, составленным под эгидой CGMW и UNESCO в 2004–2010 гг.

На первом этапе было проведено рабочее совещание с обсуждением подходов к составлению легенды к Тектонической карте Арктики (Санкт-Петербург, январь 2010 г.). По результатам совещания были подготовлены проект легенды и

Составители карты

Россия: О. В. ПЕТРОВ, С. П. ШОКАЛЬСКИЙ, И. И. ПОСПЕЛОВ,
С. Н. КАШУБИН, А. Ф. МОРОЗОВ, Н. Н. СОБОЛЕВ, Е. О. ПЕТРОВ,
А. В. БАЛУЕВ, С. Д. СОКОЛОВ, Г.Э. ГРИКУРОВ, В. А. ВЕРНИКОВСКИЙ.

Канада: Ричард ЭРНСТ, Кристофер ХАРИСОН, Марк СЕНТ-ОНЖ.

Дания: Пьерпаоло ГУАРНЬЕРИ.

Франция: Лоик ЛАБРУСС, Николас ЛЕМОНЫЕ, Мануэль ПУБЕЛЬЕ.

Германия: Карстен ПИПДЖОН.

Норвегия: Мортен СМЕЛРОР, Харальд БРЕККЕ, Ян ФАЛЕЙДЕ.

Швеция: Михаэль СТЕФЕНС.

США: Стивен БОКС, Артур ГРАНТЦ, Томас МУР, Рэндалл ОРНДОРФ.

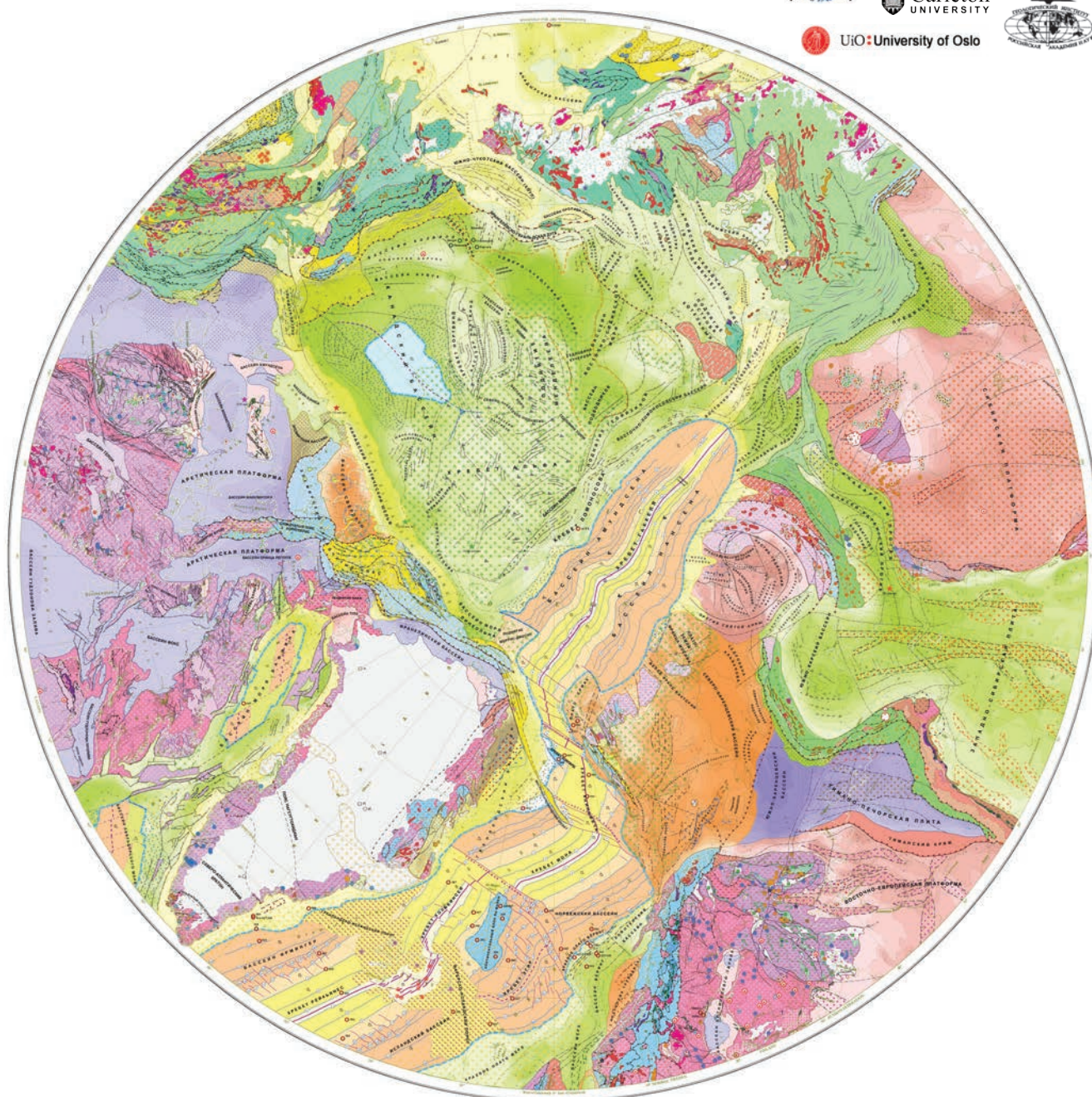


Рис. 6. Тектоническая карта Арктики масштаба 1 : 10 000 000 [Petrov et al., 2019].
Цифровая карта масштаба 1 : 5 000 000 с легендой и дополнительными картами доступна на сайте
ВСЕГЕИ: <http://www.vsegei.com/en/intcooperation/temar-5000>

фрагменты карты. Затем легенда прошла международную апробацию на рабочем совещании по тектонической карте Арктики (Санкт-Петербург, апрель 2010 г.) с участием представителей 20 геологических служб, университетов и других научных организаций Канады, Франции, Германии, Норвегии, Дании, Швеции, Великобритании и руководства CGMW. Обсуждение легенды выявило различия в подходах геологов разных тектонических школ.

На этом совещании был определен состав международной рабочей группы TeMAg. В неё вошли: О. В. Петров (руководитель рабочей группы, вице-президент CGMW по Северной Евразии), С. П. Шокальский (генеральный секретарь Подкомиссии CGMW по Северной Евразии), Ю. Г. Леонов (президент Подкомиссии CGMW по Тектоническим картам), И. И. Поспелов (генеральный секретарь Подкомиссии по Тектоническим картам), Филипп Росси (президент CGMW), Мануэль Пубелье (генеральный секретарь и впоследствии президент CGMW), Бруно Врелинк (CGMW), а также Кристофер Харрисон и Марк Сент-Онж (GSC), Ричард Эрнст (Университет г. Карлтон), Артур Грантц, Томас Мур и Стивен Бокс (USGS), Мортен Смелрор, Лаурент Гернигон и Арне Солли (NGU), Харальд Брекке (Норвежский нефтяной директорат), Ян Фалейде (Университет Осло), Михаэль Стефенс (SGU), Пьерпаоло Гуарньери (GEUS), Карстен Пипдзон, Кристоф Гедике и Бернхард Крамер (BGR), Лоик Лабрусс и Николас Лемонье (Университет г. Сорбонна), Г. Э. Грикуров и В.А. Поселов (ВНИИОкеангеология), С. Д. Соколов (ГИН РАН), В. А. Верниковский (ИГНГ СО РАН), В. Н. Пучков (ИГ УНЦ РАН), М. Л. Верба (Севморгео), Н. А. Малышев (РОСНЕФТЬ), С. Н. Кашубин, Н. Н. Соболев, Е. Д. Мильштейн и П. Рекант (ВСЕГЕИ), С. С. Драчёв (ExxonMobile).

Потребовалось согласование позиций российских, американских и европейских геологов. Для наиболее спорного региона – Американо-Азиатского бассейна – было решено показать на карте распространение меловой крупной магматической провинции – HALIP, перекрывавшей фундамент. В его континентальной природе тогда сомневались многие зарубежные участники проекта.

Легенда к тектонической карте была одобрена и принята на заседании международной рабочей группы (CGMW, Париж, апрель 2011 г.). В июле 2011 г. эксперты CGMW апробировали базу данных к цифровой версии карты, после чего в ноябре 2011 г. обновленная легенда, база данных и цифровой фрагмент карты по российской территории были предоставлены членам международ-

ной рабочей группы как образец для составления зарубежных фрагментов карты.

Первая рабочая версия сводной тектонической карты была обсуждена на рабочем совещании в Австрийской геологической службе (Вена, апрель 2012 г.) и представлены на 34 Международном геологическом конгрессе в Брисбене в августе 2012 г.

После этого макет тектонической карты Арктики неоднократно дорабатывался с учетом новых геолого-геофизических материалов, полученных российскими и международными экспедициями. Наиболее сложными оказались вопросы геологической корреляции структур Северо-Востока России, Аляски и Арктической Канады.

Канадские, датские и шведские геологи в течение нескольких лет передавали для включения в сводную карту обновленные фрагменты карты. Составлением фрагмента тектонической карты по Аляске занимались совместно эксперты из ВСЕГЕИ, CGMW и американской геологической службы (USGS).

С 2014 г. российские составители сводной карты TeMAg работали в тесном контакте с участниками национальных программ по обоснованию расширенного континентального шельфа из Норвегии, Дании, Канады и США. При этом в карте были учтены новые сейсмические данные и результаты изучения донно-каменного материала, полученного в 2008–2016 гг. Особенно большую пользу принесли контакты с Деборой Хатчинсон (США), Дэвидом Мошером, Руфью Джексоном и Гордоном Оаки (Канада), Мортенем Смелрором и Харальдом Брекке (Норвегия). Им и их коллегам составители карты выражают свою глубокую признательность.

В 2017 г. Экспертным советом CGMW были утверждены последние изменения в легенде к карте и определены последние изменения и дополнения, которые должны быть внесены в комплект материалов Тектонической карты Арктики перед его публикацией.

В 2018 г. на заседании в рамках Генеральной ассамблеи CGMW (Париж, февраль 2018 г.) были подведены итоги работы над TeMAg и принято решение об издании карты в масштабе 1:10 000 000.

Содержание легенды к тектонической карте. Условные обозначения разделены на две основные группы по их принадлежности к доменам с континентальной или океанической земной корой.

К областям распространения континентальной коры относятся четыре раздела легенды: (1) кратоны и подвижные (орогенные или склад-

чатые) пояса, (2) крупные магматические провинции и рифтовые системы, (3) осадочный чехол Арктики, представленный эпиконтинентальными осадочными бассейнами, платформенными чехлами и пассивными окраинами континентов, (4) разломы, складчатость и другие структурные элементы.

Кратоны и подвижные пояса характеризуются развитием двух групп породных ассоциаций, различающихся тектоническими режимами (сжатия или растяжения) и им соответствующими тектоническими обстановками.

Первая группа комплексов-индикаторов режима сжатия и утолщения земной коры связана с процессами формирования (аккреции) континентальной земной коры и включает вулканические, плутонические, осадочные и метаморфические комплексы различных эпох и фаз тектогенеза (складчатости, орогенеза, кратонизации), которые отражаются на карте цветом, соответствующим временному интервалу проявления субдукционных и коллизионных процессов, структурных деформаций, метаморфизма, гранитоидного магматизма, образования аккреционных призм, турбидитов, морских и континентальных моласс (рис. 7). Эти процессы не являются изохронными на обширных территориях, и поэтому возрастная шкала содержит конкретные примеры орогенических событий в разных регионах с указанием временных интервалов их проявления (млн лет).

Среди вулканических образований выделяются породные ассоциации энсиматических островных дуг, активных континентальных окраин андийского типа, океанических или задуговых бассейнов. Осадочные ассоциации представлены аккреционными комплексами микститов и молассама. Вулканические и осадочные ассоциации показаны черным крапом. Исключение составляют обширные наложенные вулканические пояса типа Охотско-Чукотского, показанные для наглядности цветным крапом на светло-сером фоне. К этой же группе отнесены метаморфические комплексы с преобладанием одной из фаций (зеленосланцевой, амфиболитовой, гранулитовой), а также архейские серогнейсовые (TTG) комплексы и породы палеопротерозойских гранулит-гнейсовых поясов повышенного давления (все метаморфические образования выделяются красным крапом). Высокобарические голубосланцевые и эклогитовые комплексы выделяются синим крапом.

Из плутонических образований в эту группу включены аккреционные гранитоиды (M- и I-типы), коллизионные гранитоиды (S- и I типы),

а также зональные ультрамафит-мафитовые интрузивы платиноносных поясов уральско-корякского типа.

Цвета для отражения возраста всех породных ассоциаций этой группы, кроме палеопротерозойских и более молодых гранитоидов, а также офиолитов и ультрамафит-мафитовых интрузивов, выбираются в соответствии с цветовой шкалой (рис. 7). Палеопротерозойские и более молодые гранитоиды показаны двумя оттенками красного цвета. Малиновый оттенок принят для субдукционных M-I, ярко-красный – для коллизионных S-I типов гранитов.

Архейские гранитоиды, условно, по составу отнесенные к аккреционным или коллизионным (показано белым цветом), выделены цветами и индексами архея в соответствии со шкалой последовательности тектонических событий (рис. 7).

Палеоокеанические комплексы, представленные офиолитовыми аллохтонами, выделяются фиолетовым цветом и подразделяются на офиолитовый меланж, тектонические блоки с сохранившейся офиолитовой последовательностью комплексов-индикаторов палеоокеанической коры и офиолитовые сутуры. Протяженные узкие тектонические зоны с офиолитовым меланжем показаны знаком офиолитовых сутур с обозначением их возраста (в кружках).

Легенда дает возможность показать структурно-термальную переработку ранее сформированной земной коры и общую последовательность событий в тектонической эволюции аккреционно-коллизионных структур.

Внутриплитные крупные магматические провинции и рифтовые системы. Эта группа комплексов-индикаторов объединяет магматические комплексы, которые определяют режим растяжения и утонения земной коры, внутриплитные/анорогенные тектонические обстановки. С целью контрастного отображения на карте этих комплексов, маркирующих деструкцию ранее сформированной континентальной коры, для отражения их возраста используется отдельная временная шкала (рис. 8), в которой различными цветами выделяются девять этапов проявления внутриплитного магматизма и рифтинга от архея (M1) до кайнозоя (M9).

Для каждого этапа приведены примеры крупных магматических провинций, дайковых поясов и рифтов по Гренландии, Канаде, Аляске, Восточной России и Северной Европе. При этом жирным шрифтом выделены наиболее известные и типичные магматические комплексы. Большая их часть приводится по данным Международной

КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ

Кратоны и подвижные пояса

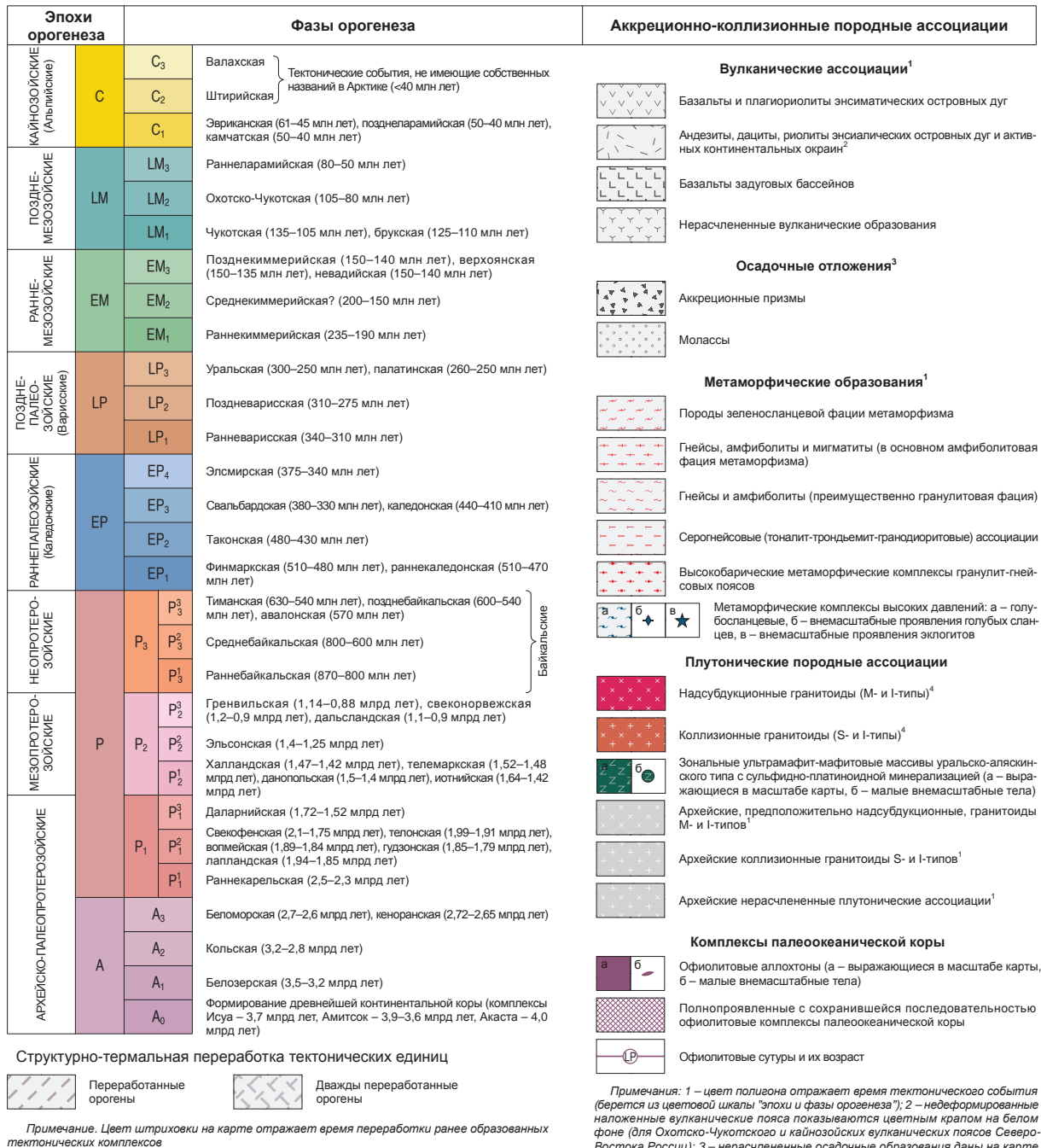


Рис. 7. Легенда для кратонов и подвижных поясов

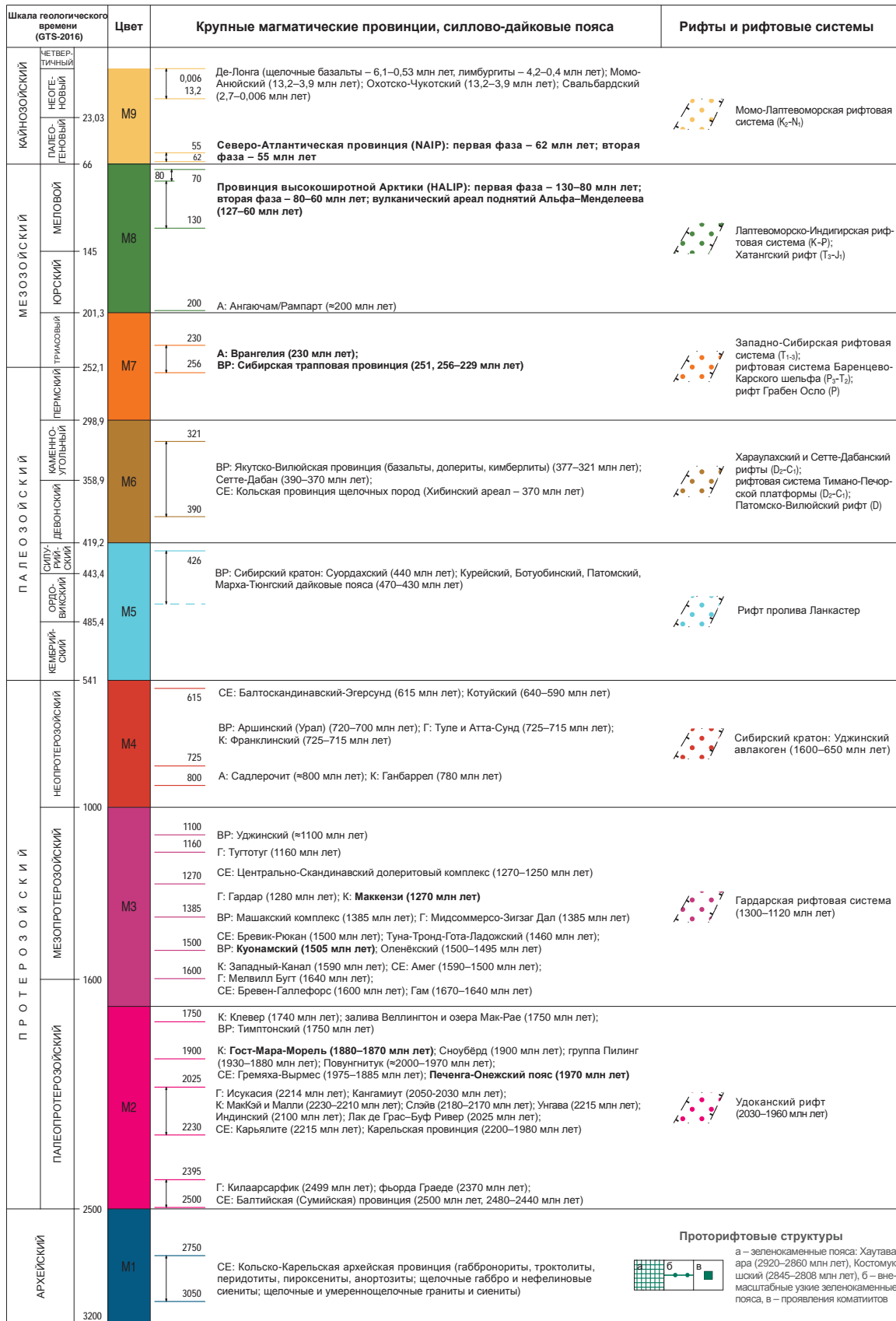
комиссии по крупным магматическим провинциям (LIPs), возглавляемой Ричардом Эрнстом (Ernst, 2014).

Зеленокаменные пояса рассматриваются как архейские проторифтовые структуры (событие M1), в пределах которых точечными знаками показаны проявления коматиитов.

Возрасты более молодых рифтов отражаются с помощью цветного точечного крапа (цветовая шкала M2–M9). внутри черного контура рифта.

Цветными линиями показываются границы вулканических ареалов и полей; цветным крапом (по шкале M2–M9) на светло-сером фоне – поля

КРУПНЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ, СИЛЛОВО-ДАЙКОВЫЕ ПОЯСА И РИФТОВЫЕ СИСТЕМЫ



Коды регионов: А – Аляска; BP – Восток России; Г – Гренландия; К – Канада; SE – Северная Европа

★ Центры мантийных плюмов, контролирующие размещение радиальных дайковых поясов и вулканических полей, показаны цветом в соответствии с возрастными магматическими породами (M1–9 по шкале)

Рис. 8. Легенда для крупных магматических провинций, силлово-дайки поясов и рифтовых систем (Продолжение см. на рис. 9)



Рис. 9. Легенда для крупных магматических провинций, силлово-дайковых поясов и рифтовых систем
(Окончание)

распространения платобазальтов, бимодальных вулканических серий и габбродолеритов (рис. 9). Внутриплитные плутоны показаны разными цветами по составу пород (ультрамафит-мафитовые расслоенные массивы показаны синим цветом, габбро и дайки долеритов – зеленым, рапакиви – розовым, щелочные интрузивы – оранжевым). При этом мелкие (внескальные) интрузивные тела показаны точечными знаками соответствующего цвета. Цветными точечными знаками на карте выделяются кимберлитовые трубки, проявления лампроитов и карбонатитов, эпицентры плюмовой активности.

Осадочный чехол объединяет недеформированные и слабдеформированные осадочные структуры (на континентальной коре) с мощностью осадков более 1 км, включая эпиконтинентальные осадочные бассейны, платформенные чехлы и пассивные арктические окраины континентов (рис. 10). В зависимости от времени начала главного погружения бассейны подразделяются на семь поколений (В1–В7). Каждому из них присуща своя цветовая гамма. Интенсивность цвета при закраске бассейна определяется мощностью осадочного чехла. Наиболее древние бассейны В1 характеризуются началом формирования осадочного чехла со второй половины палеопротерозоя (2050–1600 млн лет); их реликты сохранились в пределах Канадского щита. Самые молодые бассейны В7 начали свое формирование в палеогене–неогене, в обстановке континентального рифтинга или трансенсии вдоль крупных сдвигов, как грабены. Они приурочены к шельфовым окраинам Канадского арктического архипелага, Лаптевоморскому и Восточносибирскому шельфам. Границы бассейнов обозначаются цветными линиями в соответствии с их возрастом. Специальной линией показываются границы погребенных бассейнов. Мощность осадочного чехла отражается изопакхитами. В случае

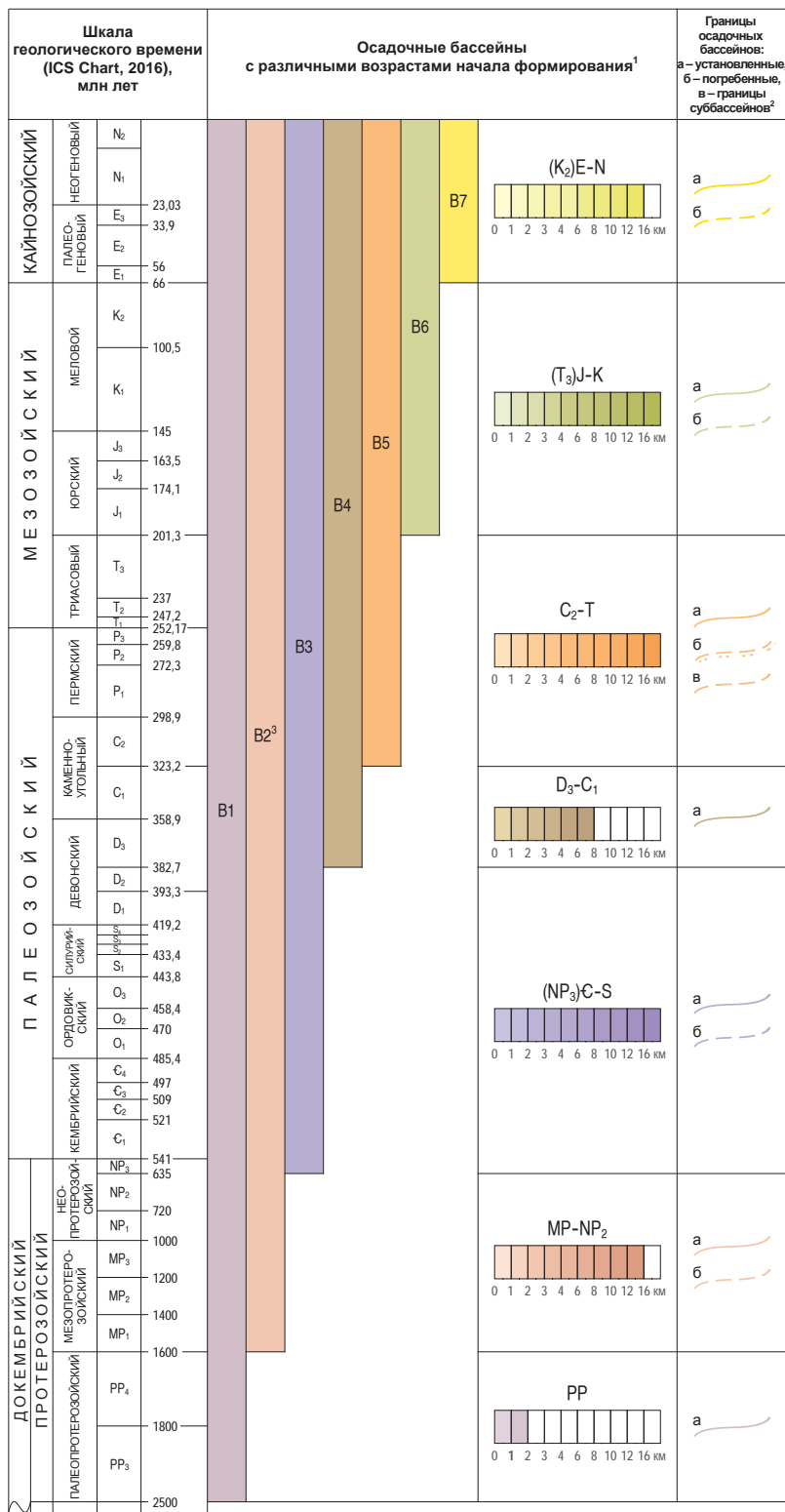
наложения разновозрастных бассейнов показывается суммарная мощность осадков.

Цветной сеточкой отображаются участки осадочных бассейнов, испытавшие «холодную» (структурную) переработку чехла (пологую складчатость). В Арктике наиболее отчетливо она проявилась в среднем палеопротерозое, в поздней юре–раннем мелу, в раннем–позднем мелу и кайнозое, особенно в осадочных бассейнах, прилегающих к складчатым поясам.

В структуре осадочного чехла Циркумполярной Арктики наблюдается периферический пояс глубоких шельфовых и бассейнов (Южно-Баренцевский, Южно- и Северо-Карские, Северо-Чукотский, моря Бофорта, проделы Маккензи, Свердруп, моря Линкольна и др.). Мощность осадочного чехла в них достигает 14–18 км; при этом до половины общей мощности осадочного разреза образуют палеозойско-раннемезозойские отложения, выше которых залегают мощные (до 8–10 км) позднемеозойско-кайнозойские толщи. Такие прогибы образуются в результате последовательного проявления двух или более эпизодов континентального рифтинга и осадконакопления, например, рифтогенного пермо-триасового и предгорного позднемеозойского в Северо-Чукотском бассейне и Прогрессе Ханна.

Прочие структурные элементы в областях с континентальной корой представлены разрывными нарушениями различных кинематических типов: сбросы и листрические сбросы, сдвиги, взбросы и надвиги (рис. 11). Линейными условными знаками показаны структурные фронты деформаций и геологические границы. На карте показаны зоны линейной складчатости, соляная тектоника, современные вулканы, опорные параметрические скважины на шельфе и скважины, вскрывшие подледный фундамент в центральной части Гренландского щита.

(эпиконтинентальные бассейны, платформенные чехлы, пассивные окраины)



Примечания: 1 – цвет показывает время начала главного этапа позружения бассейна; 2 – условная граница между смежными сосуществующими осадочными бассейнами (суббассейнами); 3 – пост-палеопротерозойские бассейны – B2.1, пост-аренгельские бассейны – B2.2

Изопахиты, км

Зоны складчатых деформаций в осадочных чехлах

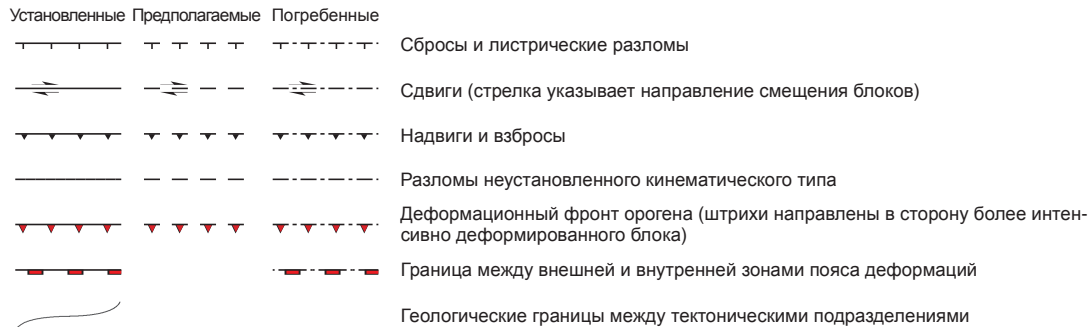
Осадочные чехлы, деформированные:



Рис. 10. Легенда для осадочного чехла

СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Разломы и структурные фронты



Прочие



Рис. 11. Легенда. Прочие структурные элементы

Области с океанической корой имеют цветовую закраску, отражающую возраст новообразованной океанической коры в соответствии со шкалой, рекомендованной CGMW и реализованной на новейших структурных картах Атлантического и Индийского океанов (рис. 12). Легенда ТеМАг содержит цветные обозначения для наиболее распространенной маломощной (5–7 км) океанической коры, сформировавшейся в результате спрединга: в поздней юре(?)–раннем мелу в центральной части Канадского бассейна, в палеоцене в Заливе Баффина и Лабрадорском море, в позднем палеоцене–голоцене в Северной Атлантике и Евразийском океаническом бассейне (O1–O6). Для отображения коры на карте использован Тектоностратиграфический атлас Северо-Восточной Атлантики, изданный геологической службой Дании и Гренландии под ред. Джона Хоппера в 2014 г.

Особым условным знаком показаны структуры Исландско-Фарерского хребта с резко утолщенной мафической корой и внутриплитным платобазальтовым вулканизмом. При этом взаимодействуют очаги спредингового и внутриплитного магматизма. Для новообразованной океанической коры в Исландско-Фарерском поднятии присутствует океаническая кора плейстоцен-голоценового (менее 2,6 млн лет) и среднемиоцено-плиоценового (15–2,6 млн лет) возраста. Кроме того, по унаследованным детритовым цирконам

и геофизическим данным в Исландском плато предполагается присутствие реликтов палеозойской континентальной коры.

В соответствии с легендой, на карте показаны ключевые линейные магнитные аномалии (магнитные хроны 2, 5, 6, 13, 18, 20, 21, 24 и 25), большинство из которых служит маркерами при определении возраста спрединговой океанической коры.

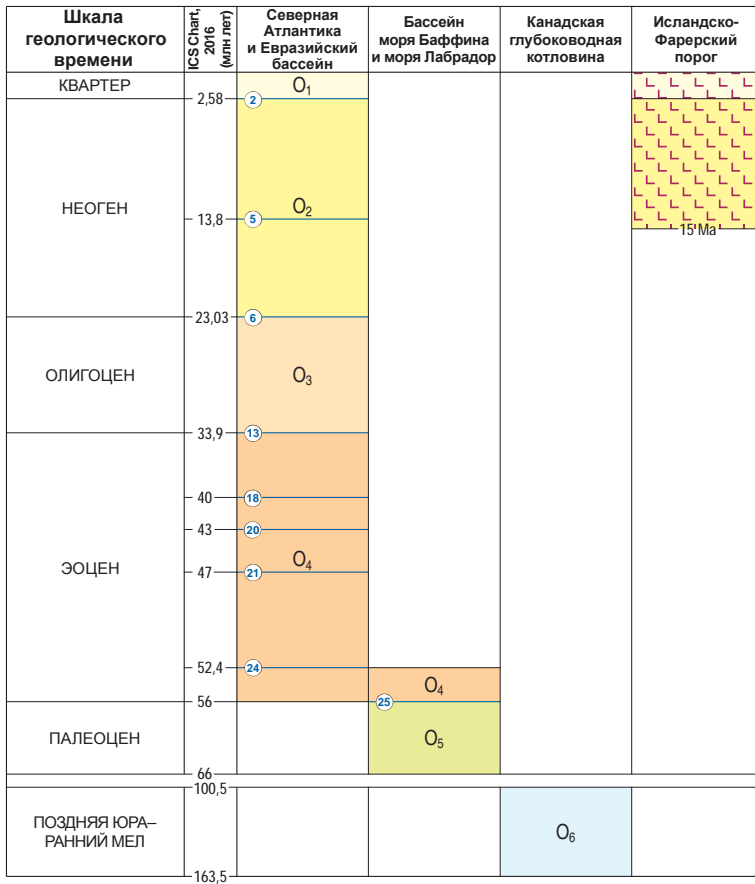
Легенда содержит условные обозначения для переходной зоны континент–океан, в которой предполагается сонахождение экзгумированной мантии, фрагментов предельно растянутой континентальной коры и вулканических пород. Такие зоны предполагаются, по сейсмическим данным, в центральной части Канадской котловины, и в амагматичном сегменте хребта Гаккеля с выходами перидотитов мантии на его гребне.

Легендой предусматриваются условные знаки для границы континент–океан, осей спрединга – активных и отмерших; трансформных разломов (активных и отмерших); линейных магнитных аномалий с номерами хронов, характерных для Евразийского океанического бассейна.

На Чукотском плато и хребте Ломоносова выявлены обширные поверхности выравнивания, по-видимому, сформировавшиеся в субэральных условиях при активной эрозионной деятельности морской воды и ледников. На поднятии

ОКЕАНИЧЕСКИЕ ОБЛАСТИ

Океаническая кора



Структурные элементы в областях распространения океанической коры

- Граница континент–океан
- а
- б
- Оси активного спрединга морского дна: а – активные, б – отмершие
- а
- б
- Трансформные разломы: а – активные, б – отмершие
- Линейные магнитные аномалии и их номера
- Сочленение сквозькоровых разломов в пределах утоненной континентальной коры и переходной зоны континент–океан в Канадской котловине
- Подводные горы
- Скважины глубоководного океанического бурения (программы DSDP, ODP, IODP)
- Параметрические скважины морского бурения на шельфе Аляски: Porcorn, Crackerjack, Klondike, Burger, Diamond
- Глубокие скважины, достигшие фундамента во внутриматериковом ледовом покрове Гренландии

- а
- б
- Выходящие на поверхность морского дна серпентинизированные перидотиты верхней мантии в хребте Гаккеля – сегменте с угнетенным магматизмом (а), отдельные участки (б)
- Переходная зона континент–океан (крайне растянутая и утоненная континентальная кора, локально проявленные вулканы, серпентинизированные перидотиты верхней мантии)
- Поверхности выравнивания на хребте Ломоносова и Чукотском плато

Рис. 12. Легенда для океанических доменов

Менделеева-Альфа широко распространены горстовые выступы подводных гор и отчетливо проявлена блоковая структура с горст-грабеновыми системами, по-разному ориентированными в соседних блоках. В центральной части Канадской котловины показана трехлучевая разломная структура глубокого растяжения – континентальной коры, выраженная гребневидными выступами мантии на карте Мохо. Два её «луча» кон-

тролируют размещение обширного поля меловых внутриплитных вулканитов HALIP, а вдоль третьего, предположительно, проявилась зона мелового спрединга. Таким образом, в отличие от Евразийского океанического бассейна, в глубоководном Амеразийском бассейне обнаружены и зафиксированы в легенде и на карте многочисленные признаки активной неотектоники, типичные для континентальной земной коры.

СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ АРКТИКИ

С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн, Т. П. Литвинова, Е. А. Андросов

Схема блоков земной коры составлена на основе совместного анализа аномалий силы тяжести и аномалий магнитного поля. Использовались сводные карты, составленные Норвежской геологической службой в рамках проекта «СAMP-GM». Выделенные блоки оконтуривают разноранговые тектонические структуры кристаллической земной коры.

Ключевые слова: Циркумполярная Арктика, аномалии Буге, аномалии магнитного поля, тектоническое районирование.

Создание схемы блокового строения кристаллической земной коры выполнено на основе комплексного анализа аномалий силы тяжести, аномалий магнитного поля, широкого спектра трансформант, включая кластерный анализ потенциальных полей и карту мощности земной коры.

Базовые карты аномалий силы тяжести и аномального магнитного поля масштаба 1:5 000 000, составленные Норвежской геологической службой в рамках проекта «СAMP-GM» [Gaina et al., 2011], по Российской части были уточнены в соответствии с более поздними версиями соответствующих карт [Litvinova et al., 2012a, б]. Результативные карты представляют собой матрицы с ячейкой 5 × 5 км. В основу районирования положены принципы тектонического районирования, предложенные Ю. А. Косыгиным [Косыгин, 1975]. Согласно этим принципам, районирование рассматривалось как совокупность методов разграничения пространства (в том числе в 3D варианте) в соответствии с выбранной систематикой тел (ранговостью), при соблюдении правил полного без остатка деления этого пространства, без пересечения границ и индивидуальности характеристик выделяемых элементов [Воронин, 2007]. Районирование предусматривало выделение трехранговой системы на уровне кристаллической коры: *аномальная провинция, аномальная область и аномальный район* (в порядке убывания). Выделенные таксоны отражают особенности строения крупных тектонических структур: аномальные провинции – континентов и океанов; аномальные области – платформ, океанические – бассейнов, крупных складчатых областей; аномальные районы – крупных блоков [Petrov, Smelgor 2015a,b; 2016].

Выделение таксонов I порядка (*аномальная провинция*) и II порядка (*аномальная область*) в значительной степени опиралось на оценку характера изменения и средние значения мощности земной коры [Кашубин и др., 2011; Kashubin et al., 2014]. Основным критерием для выделе-

ния *аномальных районов* являлись морфоструктурные особенности полей, включая характер внутренней зональности. Оконтуривание таксонов различных порядков опиралось на тонкие характеристики трансформант потенциальных полей, включая кластерный анализ и выполнялось в интерактивном режиме непосредственно на компьютере с использованием ГИС ESRI ArcMap v.9.3. По морфоструктурным характеристикам потенциальных полей выделено три основных типа аномальных районов. Первые два типа достаточно традиционны – это структуры с центрально-зональной (либо центрально-лучевой) морфоструктурой потенциальных полей и структуры с преимущественно линейными формами аномалий. Третий тип представляет собой закономерное сочетание центрально-зональных и линейно-организованных участков. При этом участки с центрально-зональной структурой потенциальных полей представляют собой «ядро», к которому плавно примыкают участки с ярко выраженной линейной структурой, обычно имеющие «клиновидную» форму. В совокупности эти два типа участков образуют единый конгломерат «каплевидной» формы, рассматриваемый как аномальный район [Кременецкий и др., 2015]. В пределах аномального района субизометричные «ядра» характеризуются повышенной мощностью консолидированной земной коры и часто фиксируют площади распространения фрагментов докембрийского кристаллического фундамента. В то время как участки с выраженной линейной структурой потенциальных полей отличаются относительно пониженной мощностью земной коры и соответствуют областям разрастания фундамента за счет формирования складчатого обрамления.

В результате создана схема районирования потенциальных полей (рис. 13), явившаяся основой для создания схемы типов земной коры [Кашубин и др., 2013] и была использована при составлении карты тектонического районирования фундамента Арктики.

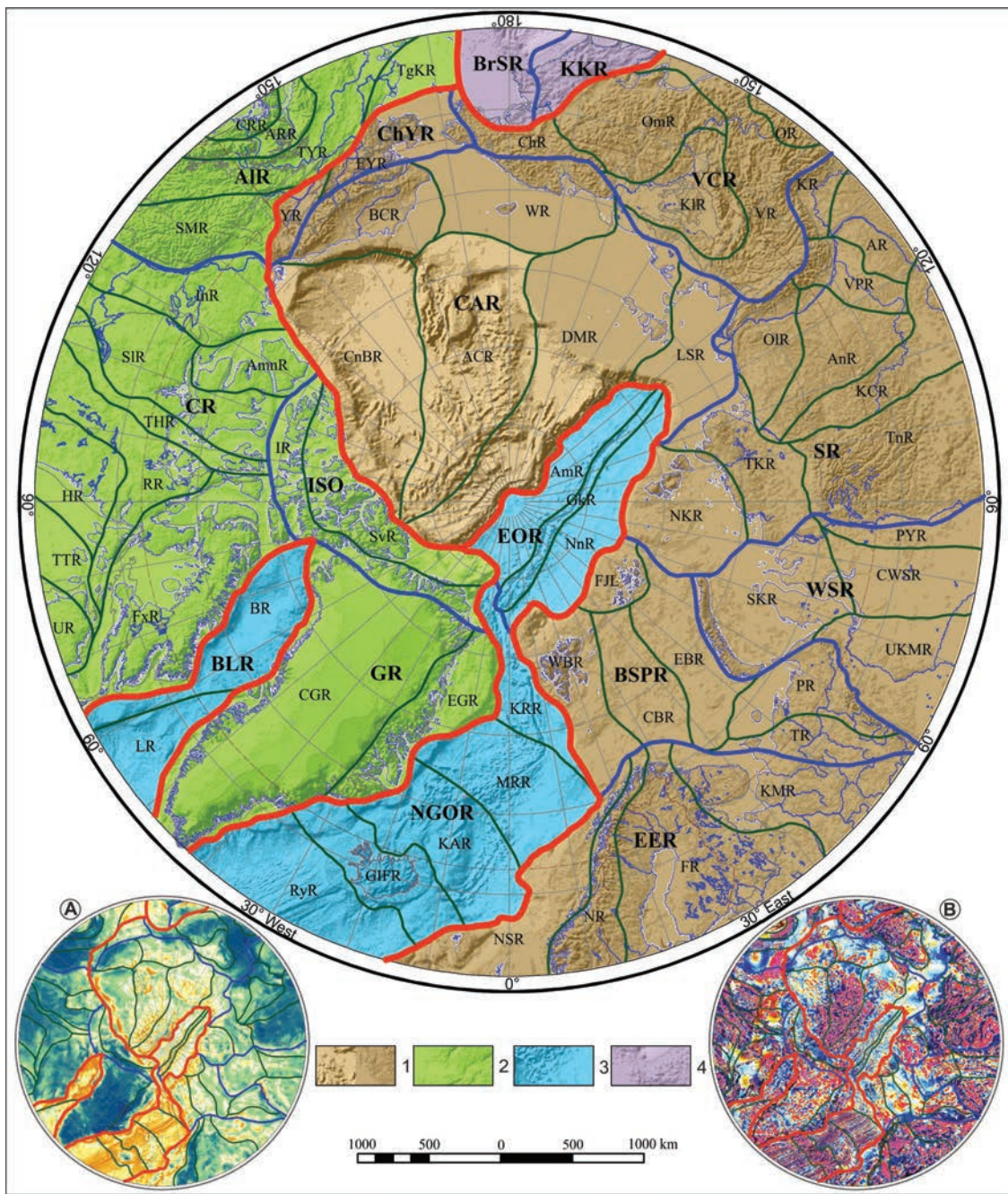


Рис. 13. Схема районирования Циркумполярной Арктики по характеру потенциальных полей

Цветом обозначены провинции: 1 – Евразийская (более светлый тон соответствует участкам, погруженным на батиметрические глубины), 2 – Северо-Американская, 3 – Срединно-океанических хребтов, 4 – Тихоокеанская. Синими линиями обозначены границы областей (полуширинный шрифт); зелеными линиями – границы районов. Буквенные обозначения выделенных таксонов приведены в таблице 1. Внизу: карта аномалий силы тяжести (А) и карта аномального магнитного поля (Б).

ЛИТЕРАТУРА

Воронин А. Ю. Районирование территорий на основе искусственного интеллекта и распознавания образов в задачах природопользования. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. – М., 2007. – 44 с.
 Косыгин Ю.А. Основы тектонического районирования // Принципы тектонического районирования. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. – С. 8–24.
 Кашубин С. Н., Петров О. В., Андросов Е. А., Морозов А. Ф., Каминский В. Д., Поселов В. А. Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики //

Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 46. – С. 5–13.
 Кашубин С. Н., Павленкова Н. И., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Шокальский С. П., Эринчек Ю. М. Типы земной коры Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 5–20.
 Кременецкий А. А., Морозов А. Ф., Пилицын А. Г., Бескин С. М., Полякова Т. Н., Мильштейн Е. Д. Геохимическое картирование Циркумполярной Арктики: научная парадигма, технология, предварительные результаты // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 6. – С. 8–21.

- Gaina, C., Werner, S. C., Saltus, R., Maus, S.*, the Camp-GM GROUP. Circum-Arctic mapping project: new magnetic and gravity anomaly maps of the Arctic. Arctic Petroleum Geology // Geological Society, London. – 2011. – Memoirs. 35. – P. 39–48.
- Kashubin, S. N., Petrov, O. V., Androsov, E. A., Morozov, A. F., Kaminsky, V. D., Poselov, V. A.* Crustal thickness in the circum Arctic. ICAM VI: Proceedings of the International Conference. 2014. – P. 1–17.
- Litvinova, T. M., Kashubin, S. N., Petrov, O. V.* Zoning of the Circumpolar Region after the potential fields character. Geophysical Research Abstracts. EGU2012–4436, EGU General Assembly. 2012. 14.
- Litvinova, T. M., Petrov, O. V., Kashubin, S. N., Erinchek, Y. M., Milshteyn, E. D., Shokalsky, S. P., Glebovsky, V. Yu., Chernykh, A. A.* Arctic tectonic provinces

- from gravity and magnetic data. 34th International Geological Congress (abstracts), 5–10 August 2012. Brisbane, Australia. 1916.
- Petrov, O. V., Smelror, M.* Cooperation of geological surveys of Arctic states to study the Arctic // Arctic Journal. – 2015. – 1 (13). – P. 22–28.
- Petrov, O. V., Smelror, M.* Uniting the Arctic frontiers – International cooperation on Circum-Arctic geological and geophysical maps. Polar Record. 2015. – 51 (5). – P. 530–535. <http://dx.doi.org/10.1017/S0032247414000667>.
- Petrov, O. V., Smelror, M., Morozov, A. F., Shokalsky, S. P., Kashubin, S. N., Artemieva I. M., Sobolev N. N., Petrov E. O., Ernst R. E., Sergeev S. A.* Crustal structure and tectonic model of the Arctic region. Earth-Science Reviews. 2016. – 154. – P. 29–71.

Т а б л и ц а 1

Соответствие буквенных обозначений (индексов) на схеме районирования (рис. 13) выделенным подразделениям

Индекс на схеме	Районирование потенциальных полей (названия таксонов)	Тектоническое районирование (названия структур)
Евразийская провинция		
ВЕо	Восточно-Европейская область	Восточно-Европейская платформа
<i>НРМр</i>	<i>Район Норвежского моря</i>	<i>Норвежская плита</i>
<i>НРр</i>	<i>Норвежский район</i>	<i>Скандинавский складчато-надвиговой пояс</i>
<i>ФСр</i>	<i>Фенноскандинавский район</i>	<i>Фенноскандинавский щит</i>
<i>КМр</i>	<i>Кольско-Мезенский район</i>	<i>Кольско-Беломорский и Мезенский блоки</i>
БПо	Баренцевоморско-Печорская область	Тимано-Печорская и Баренцевоморская плиты
<i>ЗБр</i>	<i>Западно-Баренцевский район</i>	<i>Свальбардская плита</i>
<i>ЦБр</i>	<i>Центрально-Баренцевский район</i>	<i>Область Центрально-Баренцевских поднятий</i>
<i>ВБр</i>	<i>Восточно-Баренцевский район</i>	<i>Восточно-Баренцевский прогиб</i>
<i>ЗФИр</i>	<i>Район Земли Франца-Иосифа</i>	<i>Поднятие Земли Франца-Иосифа</i>
<i>ТМр</i>	<i>Тиманский район</i>	<i>Тиманский кряж (поднятие)</i>
<i>ПЧр</i>	<i>Печорский район</i>	<i>Печорская синеклиза</i>
ЗСо	Западно-Сибирская область	Восточно-Уральский складчатый пояс, Западно-Сибирская плита
<i>ЮКр</i>	<i>Южно-Карский район</i>	<i>Южно-Карский блок</i>
<i>УХр</i>	<i>Уральско-Хантымансийский район</i>	<i>Восточно-Уральский складчатый пояс, Уват-Хантымансийский блок</i>
<i>ЦЗСр</i>	<i>Центрально-Западносибирский район</i>	<i>Центрально-Западносибирская складчатая система (блок)</i>
<i>ПЕр</i>	<i>Приенисейский район</i>	<i>Приенисейская складчатая система (блок)</i>
СБо	Сибирская область	Сибирская платформа
<i>СКр</i>	<i>Северо-Карский район</i>	<i>Северо-Карский блок</i>
<i>ТХр</i>	<i>Таймыро-Хатангский район</i>	<i>Таймырский складчатый пояс, Енисей-Хатангский прогиб</i>
<i>ТНр</i>	<i>Тунгусский район</i>	<i>Тунгусский блок</i>
<i>КЧр</i>	<i>Котуйско-Чонский район</i>	<i>Маганский блок</i>
<i>АНр</i>	<i>Анабарский район</i>	<i>Анабарский блок</i>
<i>ОЛр</i>	<i>Оленёкский район</i>	<i>Оленёкский блок</i>
<i>АЛр</i>	<i>Алданский район</i>	<i>Алданский блок</i>
<i>ХДр</i>	<i>Хандыгский район</i>	<i>Предверхоанский (Хандыгский) прогиб</i>
<i>ВЛр</i>	<i>Вилюйско-Патомский район</i>	<i>Вилюйско-Патомский авлакоген</i>
ВЧо	Верхояно-Чукотская область	Верхояно-Чукотская складчато-надвиговая область
<i>ВРр</i>	<i>Верхоянский район</i>	<i>Верхоянская складчато-надвиговая система</i>
<i>ОХр</i>	<i>Охотский район</i>	<i>Охотский блок</i>
<i>КЛр</i>	<i>Колымский район</i>	<i>Верхояно-Колымская складчато-надвиговая система</i>
<i>ОМр</i>	<i>Омолонский район</i>	<i>Омолонский блок (массив)</i>
<i>ЧКр</i>	<i>Чукотский район</i>	<i>Чукотская складчатая система</i>

Окончание таблицы 1

Индекс на схеме	Районирование потенциальных полей (названия таксонов)	Тектоническое районирование (названия структур)
ЧЮо	Чукотско-Юконская область	Чукотско-Сьюардская складчато-надвиговая система
<i>ВЮКр</i>	<i>Восточно-Юконский район</i>	<i>Восточно-Чукотско-Сьюардский блок, блок Юкон-Коюкук</i>
<i>ЮКр</i>	<i>Юконский район</i>	<i>Центрально-Аляскинский и Руби блоки</i>
ЦАо	Центрально-Арктическая область	Амеразийский бассейн
<i>ЛМр</i>	<i>Лаптевоморский район</i>	<i>Лаптевоморская плита</i>
<i>ДМр</i>	<i>Район Де-Лонга-Макарова</i>	<i>Поднятие Де-Лонга, хребет Ломоносова, западная часть хребта Альфа, котловины Подводников и Макарова</i>
<i>АЧр</i>	<i>Альфа-Чукотский район</i>	<i>Чукотское плато, поднятие Менделеева-Альфа</i>
<i>КБр</i>	<i>Район Канадского бассейна</i>	<i>Канадская котловина</i>
<i>БКр</i>	<i>Брукс-Колвиллский район</i>	<i>Брукский складчато-надвиговой пояс, бассейн Колвилл</i>
<i>ВРр</i>	<i>Врангельский район</i>	<i>Врангелевско-Геральдская, Анюйско-Чукотская складчато-надвиговые системы</i>
Северо-Американская провинция		
ИСо	Иннуит-Свердрупская область	Иннуитский складчатый пояс, Свердрупский бассейн
<i>СВр</i>	<i>Свердрупский район</i>	<i>Свердрупский бассейн, плато Джесуп</i>
<i>ИНр</i>	<i>Иннуитский район</i>	<i>Иннуитский складчатый пояс</i>
АЛо	Аляскинская область	Аляскинский мегаблок (супертеррейн)
<i>НЛр</i>	<i>Нест-Лаврентьевский район</i>	<i>Нест-Лаврентьевский (Тоггак-Коюкук) блок</i>
<i>ТЮКр</i>	<i>Танана-Юконский район</i>	<i>Юконский блок</i>
<i>АХр</i>	<i>Район Аляскинского хребта</i>	<i>Складчатый пояс Аляскинского хребта</i>
<i>БХр</i>	<i>Район Берегового хребта</i>	<i>Складчатый пояс Берегового хребта</i>
<i>СМр</i>	<i>Район Селвин-Маккензи</i>	<i>Складчатый пояс Селвин-Маккензи</i>
КНо	Канадская область	Северо-Американская платформа
<i>ИНр</i>	<i>Район Интериор</i>	<i>Платформа Интериор</i>
<i>СЛр</i>	<i>Район Слэйв</i>	<i>Блок Слэйв</i>
<i>АМр</i>	<i>Район Амундсен</i>	<i>Блок Амундсен</i>
<i>ТГр</i>	<i>Трансгудзонский район</i>	<i>Трансгудзонский складчатый пояс</i>
<i>Рр</i>	<i>Район Рае</i>	<i>Блок Рае</i>
<i>ХРр</i>	<i>Район Херн</i>	<i>Блок Херн</i>
<i>УНр</i>	<i>Район Унгава</i>	<i>Блок Унгава</i>
<i>ТТр</i>	<i>Район Телтсон-Телон</i>	<i>Складчатый пояс Телтсон-Телон</i>
<i>ФКр</i>	<i>Район Фокс</i>	<i>Блок Фокс</i>
ГРо	Гренландская область	Гренландский щит, Восточно-Гренландский складчатый пояс
ЦГр	Центрально-Гренландский район	Гренландский щит
ВГр	Восточно-Гренландский район	Восточно-Гренландский складчато-надвиговой пояс
Провинция срединно-океанических хребтов		
БЛо	Баффин-Лабрадорская область	Баффин-Лабрадорский океанический бассейн
<i>ЛБр</i>	<i>Лабрадорский район</i>	<i>Лабрадорский бассейн</i>
<i>БФр</i>	<i>Район Баффина</i>	<i>Бассейн Баффин-Бэй</i>
НГОо	Норвежско-Гренландская океаническая область	Норвежско-Гренландский океанический бассейн
<i>РКр</i>	<i>Рейкьянесский район</i>	<i>Исландский бассейн, хребет Рейкьянес, бассейн Ирмингер</i>
<i>ГИФр</i>	<i>Гренландско-Исландско-Фарерский район</i>	<i>Гренландско-Исландский и Исландско-Фарерский хребты, Исландское плато</i>
<i>КАр</i>	<i>Колбенсей-Аегирский район</i>	<i>Гренландский и Норвежский бассейны, хребты Колбейнсей, Эгир</i>
<i>ХМр</i>	<i>Район хребта Мона</i>	<i>Хребет Мона</i>
<i>ХКр</i>	<i>Район хребта Книповича</i>	<i>Хребет Книповича</i>
ЕОо	Евразийская океаническая область	Евразийский океанический бассейн
<i>ННр</i>	<i>Район Нансена</i>	<i>Бассейн Нансена</i>
<i>ХГр</i>	<i>Район Гаккеля</i>	<i>Хребет Гаккеля</i>
<i>АМр</i>	<i>Район Амундсена</i>	<i>Бассейн Амундсена</i>
Тихоокеанская провинция		
БМо	Берингоморская область	Берингоморский блок
ККо	Корякско-Камчатская область	Корякско-Камчатская складчатая область

КАРТА МОЩНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ АРКТИКИ

С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, А. Ф. Морозов,
В. Д. Каминский, В. А. Поселов

Карта мощности земной коры составлена по материалам глубинных сейсмических исследований и аномалиям поля силы тяжести в Циркумполярной Арктике. Для построения карты использовано более 300 профилей общей протяженностью около 140 000 км и корреляционные уравнения, связывающие глубину залегания границы Мохо с аномалиями Буге и рельефом. Построенная по этим данным цифровая модель карты мощности земной коры Циркумполярной Арктики представлена гридом 10 × 10 км.

Ключевые слова: граница Мохоровичича, мощность земной коры, глубинные сейсмические зондирования, аномалии Буге.

Информация о мощности земной коры играет важную роль при изучении глубинного строения Земли. При сейсмологических и глобальных геофизических построениях знание мощности коры необходимо для расчета соответствующих поправок, а при геологической интерпретации мощность земной коры важно знать как для структурных, так и для геодинамических построений. При изучении областей перехода от континентов к океанам изменение мощности коры часто является определяющим критерием для выделения континентального и океанического типов земной коры.

Определение мощности земной коры осуществляется прежде всего сейсмическими методами. Общеизвестным способом являются определения по методике глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ), когда подошва земной коры отождествляется с границей Мохоровичича (М), определяемой по данным преломленных и закрытых отраженных волн [Mooney, 2007]. Иногда подошва земной коры выделяется на сейсмических разрезах, полученных методом отраженных волн (МОВ-ОГТ) [Сулейманов и др., 2007] и по методике обменных волн удаленных землетрясений (МОВЗ) [Золотов и др., 1998]. При отсутствии сейсмических данных оценки мощности земной коры получают с использованием корреляционных соотношений между глубиной залегания поверхности М, топографией и аномалиями Буге [Деменицкая, 1967; Кунин и др., 1987].

Карта мощности земной коры (рис. 14) была создана в рамках международного проекта «Атлас карт геологического содержания Циркумполярной Арктики» [Petrov et al., 2016]. При ее построении были учтены более 300 глубинных сейсмических профилей общей протяженностью свыше 140 000 км, расположенных севернее 60° с. ш. Примерно 75 % данных это наблюдения ГСЗ, остальные – МОВ-ОГТ и МОВЗ.

Карта мощности земной коры строилась в несколько этапов [Кашубин и др., 2011; Kashubin et al., 2014]. Сначала значения глубины до границы М, снятые с сейсмических разрезов с шагом 25 км, были вынесены на карту фактического материала. Всего по сейсмическим данным было вынесено около 5500 значений. Для заполнения значениями глубин до границы М межпрофильного пространства и обширных территорий, где сейсмические данные полностью отсутствуют, использовались цифровые макеты карты аномального поля силы тяжести [Gaina et al., 2009] и карты рельефа дневной поверхности и глубин дна океана (IBCAO ver 2.23). По осредненным в радиусе 100 км значениям аномалий Буге и отметок рельефа по формулам, приведенным в книге [Кашубин и др., 2011], рассчитывались глубины Z_m отдельно для континентальной и морской частей территории по сети 10×10 км. Полученные цифровые массивы были сведены в один, по границе береговой линии, с последующей увязкой изолиний в области их сочленения. На основе скорректированных данных проведен расчет нового цифрового массива, который был объединён с ранее существующими цифровыми картами глубин залегания границы М [Ritzmann et al., 2006; Grad et al., 2007; Эринчек и др., 2007]. Итоговая карта представлена в виде цифровой модели Z_m с размером ячейки 10 × 10 км для всей территории исследований. Оценка погрешности интерполяции при пересчете значений глубин Z_m в равномерный шаг оценивалась путем сравнения интерполированных и исходных значений по точкам, где значения глубин выносились по сейсмическим данным. Среднеквадратическое отклонение между интерполированными и исходными значениями составило ±1,7 км, а сечение между изолиниями на результирующей карте было принято равным 5 км. После вычитания значений глубин океана и введения поправок на высоту наблюдения на суше карта значений глубин до

границы М была преобразована в карту мощности земной коры Циркумполярной Арктики, приведенную на рис. 14.

Построенная новая цифровая модель карты мощности земной коры Циркумполярной Арктики отличается от имевшейся на эту территорию глобальной модели CRUST2.0 [Laske et al., 2000] существенно большей детальностью.

Во-первых, для ее составления привлечено существенно больше новых сейсмических материалов, и, во-вторых, при построении карты не использовалось глобальное осреднение данных. Как видно из приведенного рисунка, мощность земной коры в Циркумполярной Арктике меняется весьма значительно – от 5–10 км в пределах Норвежско-Гренландского и Евразийского

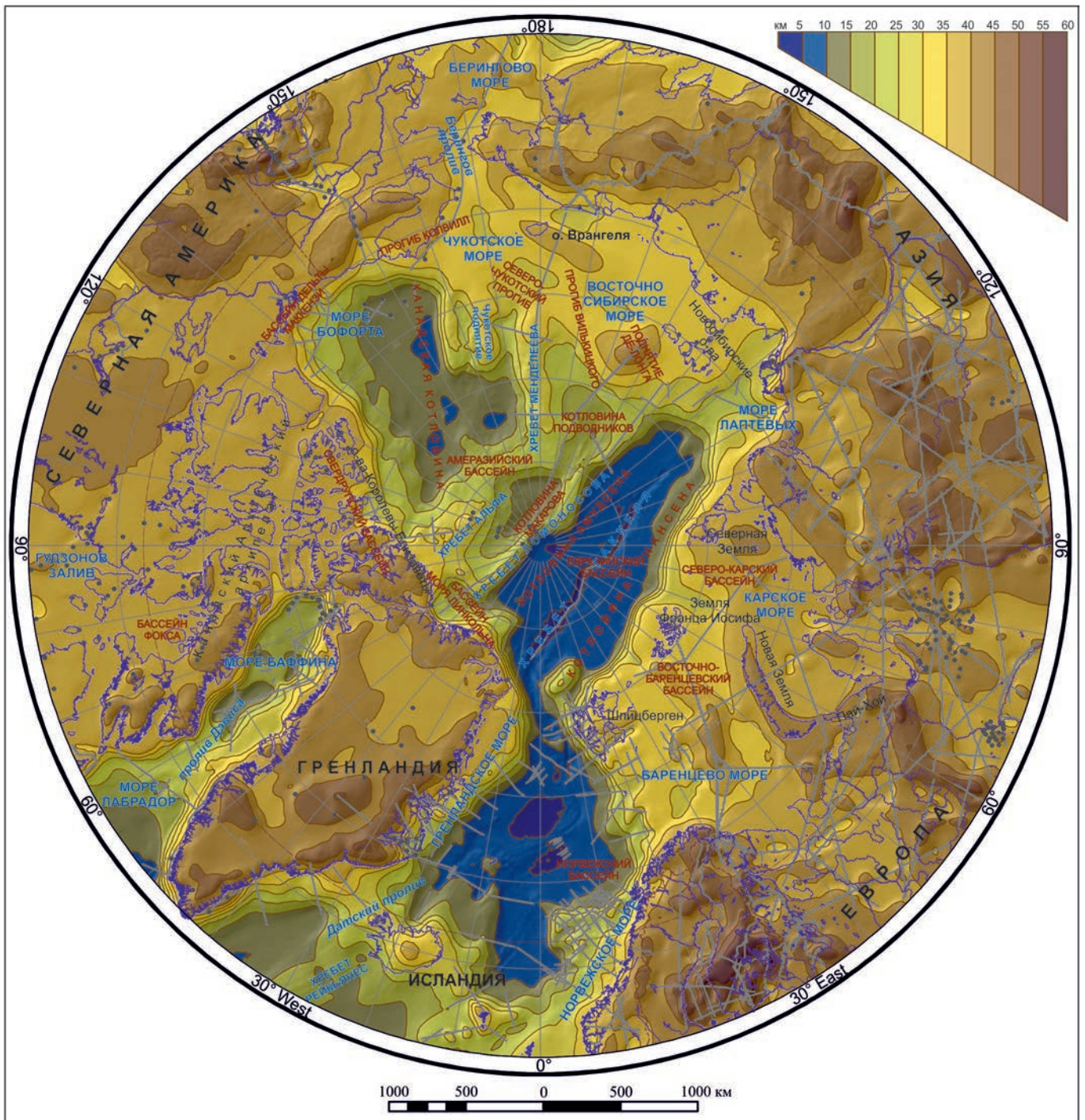


Рис. 14. Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики [Кашубин и др., 2011; Kashubin et al., 2014]

Серыми линиями показаны основные профили глубинных сейсмических исследований, серыми точками – сейсмические станции, материалы которых использовались при построении карты.

океанических бассейнов до 55–60 км в Скандинавии и на Урале. Достаточно уверенно на карте мощности земной коры выделяются области океанической и континентальной коры, при этом размеры и конфигурация отдельных латеральных вариаций мощности вполне сопоставимы с размерами региональных геологических структур. Таким образом, новая карта, по нашему мнению, не только пригодна для введения поправок при сейсмологических и планетарных геофизических построениях, но и может быть использована для геотектонических построений в Арктическом бассейне.

На карте отчетливо выделяется область Центрально-Арктических поднятий, включающая хребет Ломоносова, систему поднятий Менделеева-Альфа и разделяющие их котловины Подводников-Макарова, Чукотский свод и хребет Нортвинд. Для построения карты в этой части использовались материалы российских и зарубежных глубинных сейсмических исследований («Трансарктика-1989–1992», «Арктика-2000», «Арктика-2005», «Арктика-2007», «Арктика-2012», «LORITA-2006», «ARTA-2008») [Lebedeva-Ivanova et al., 2006; 2011; Jackson et al., 2010; Funck et al., 2011; Поселов и др., 2011; Кашубин и др., 2016]. Карта мощности земной коры области Центрально-Арктических поднятий фактически демонстрирует «трансконтинентальный мост» между Евразией и Северной Америкой.

Сейсмические данные указывают на то, что область Центрально-Арктических поднятий характеризуется наименьшей степенью деструктивных преобразований континентальной коры. Наблюдается лишь ее утонение, связанное с рифтогенными преобразованиями, при сохранении для такой коры вертикальной расслоенности. Так, на хребте Ломоносова мощность земной коры составляет 17–19 км при равном соотношении верхней и нижней коры. В котловине Подводников-Макарова мощность коры изменяется в широких пределах: от 19–21 км в южной части котловины Подводников до 7–8 км в северной части котловины Макарова. На поднятии Менделеева общая мощность коры составляет 31–34 км при мощности верхней коры в диапазоне 4–7 км. Имеющиеся геолого-геофизические материалы [Кабаньков и др., 2004; Grantz et al., 2011] указывают на то, что хребет Нортвинд и Чукотский свод представляют собой относительно неглубоко погруженный аваншельфовый выступ континентальной коры.

Таким образом, область Центрально-Арктических поднятий и Евразийская и Северо-Американская континентальные окраины представляют

собой единый ансамбль континентальных геологических структур с общей историей геологического развития. Разделение этого ансамбля на шельфовую и глубоководную части произошло в результате неотектонического погружения центральной части Арктического бассейна. На настоящий уровень изученности Арктического бассейна существенных фактологических данных о структурной изолированности области Центрально-Арктических поднятий от сопредельных континентальных окраин не известно.

ЛИТЕРАТУРА

- Дементицкая Р. М. Кора и мантия Земли. – М.: Недра, 1967. – 280 с.
- Золотов Е. Е., Костюченко С. Л., Ракитов В. А. Томографические разрезы литосферы Восточно-Европейской платформы // Сейсмологическая модель литосферы Северной Европы: Баренцевский регион / Ред. Ф. П. Митрофанов, Н. В. Шаров. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. Ч. 1. С. 71–79.
- Кабаньков В. Я., Андреева И. А., Иванов В. И., Петрова В. И. О геотектонической природе системы Центрально-Арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении // Геотектоника. – 2004. – № 6. – С. 33–48.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Андросов Е. А., Морозов А. Ф., Каминский В. Д., Поселов В. А. Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 46. – С. 5–13.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Артемьева И. М., Морозов А. Ф., Вяткина Д. В., Гольщикова Ю. С., Кашубина Т. В., Мильштейн Е. Д., Рыбалка А. В., Эринчек Ю. М., Сакулина Т. С., Крупнова Н. А. Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ «Арктика-2012» // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 16–35.
- Кунин Н. Я., Гончарова Н. В., Семенова Г. И. и др. Карта рельефа поверхности мантии Евразии [карта]. – М.: ИФЗ АН СССР, Мингео РСФСР, 1987.
- Поселов В. А., Аветисов Г. П., Каминский В. Д. и др. Российские арктические геотраверсы. – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология» им. И. С. Грамберга, 2011. – 172 с.
- Сулейманов А. К., Заможняя Н. Г., Андрищенко Ю. Н., Литилин А. В. Глубинные сейсмические исследования отраженными волнами // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным: Сб. науч. тр. / Отв. ред. А. С. Сальников. – Новосибирск: Наука, 2007. – С. 22–26.
- Эринчек Ю. М., Мильштейн Е. Д., Егоркин А. В., Верба В. В. Строение раздела Мохо территории России и прилегающих акваторий. Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования // Мат-лы Международного научно-практического семинара. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – С. 241–244.
- Artemieva, I. M., Thybo, H. EUNASEIS: A seismic model for Moho and crustal structure in Europe, Greenland, and the North Atlantic region // Tectonophysics. – 2013. – 609. – P. 97–153. doi:10.1016/j.tecto.2013.08.004.
- Funck, T., Jackson, H. R., Shimeld, J. The crustal structure of the Alpha Ridge at the transition to the Cana-

- dian Polar Margin: Results from a seismic refraction experiment // *J. Geophys. Res.* – 2011. – 116. B12101. doi:10.1029/2011JB008411.
- Gaina, C. and CAMP-GM working group.* Gravity anomaly map of the Arctic [map]. Geological Survey of Norway, 2009.
- Grad M., Tiira T. and working group.* The Moho depth of the European plate. 2007. <http://www.seismo.helsinki.fi/mohomap>, <http://www.igf.fuw.edu.pl/mohomap2007>.
- Grantz, A., Hart, P. E., Childers, V. A.* Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean / A. M. Spencer, A. F. Embry, D. L. Gautier, A. V. Stoupakova, K. Sørensen (eds.) // *Arctic Petroleum Geology*. Geol. Soc. – London. – 2015. – Mem. 35. P. 771–799.
- Jackson H. R., Dahl-Jensen T., the LORITA working group.* Sedimentary and crustal structure from the Ellesmere Island and Greenland continental shelves onto the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean // *Geophys. J. Int.*, 2010. – 182. – P. 11–35.
- Kashubin S. N., Petrov O. V., Androsov E. A., Morozov A. F., Kaminsky V. D., Poselov V. A.*, Crustal thickness in the Circum Arctic. ICAM VI: Proceedings of the International Conference on Arctic Margins, 2014. – P. 1–17.
- Laske G., Masters G., Reif C.*, 2000. CRUST 2.0: A new global crustal model at 2×2 degrees. <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/rem.html>.
- Lebedeva-Ivanova N. N., Zamansky Y.Ya., Langinen A. E., Sorokin M.Yu.*, Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82°N: evidence of continental crust // *Geophys. J. Int.* – 2006. – 165. – P. 527–544.
- Lebedeva-Ivanova, N. N., Gee, D. G., Sergeev, M. B.* Crustal structure of the East Siberian continental margin, Podvodnikov and Makarov basins, based on refraction seismic data (TransArctic 1989–1991) / A. M. Spencer, A. F. Embry, , D. L. Gautier, A. V. Stoupakova, K. Sørensen (eds.) // *Arctic Petroleum Geology*. Geol. Soc. – London, Mem. 2011. – 35. – P. 395–411.
- Mooney, W. D.* Crust and Lithospheric Structure – Global Crustal Structure. Treatise on Geophysics, vol. 1: Seismology and Structure of the Earth / Eds. B. Romanowicz, A. Dziewonski). Elsevier, 2007. – P. 361–417.
- Petrov, O., Morozov, A., Shokalsky, S., Kashubin, S., Artemeva, I. M., Sobolev, N., Petrov, E., Ernst, R. E., Sergeev, S., Smelror, M.* Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // *Earth-Science Reviews*. – 2016. – 154. – P. 29–71.
- Ritzmann O., Maercklin N., Faleide J. I., Bungum H., Mooney W. D., Detweiler S. T.* A 3D geophysical model of the crust in the Barents sea region: model construction and basement characterization. 28th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies. – 2006. – P. 229–237.

КАРТА ТИПОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ АРКТИКИ

О. В. Петров, С. Н. Кашубин, Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, Н. И. Павленкова,
С. П. Шокальский, Ю. М. Эринчек

По данным глубинных сейсмических исследований на континентах и в океанах составлена корреляционная схема типов земной коры, различающихся скоростными, плотностными параметрами, строением и общей толщиной земной коры. Построенная по данным сейсмических профилей в Арктике схематическая карта распространения типов земной коры демонстрирует положение океанической и континентальной земной коры в структурах Циркумполярной Арктики.

Ключевые слова: глубинные сейсмические исследования, океаническая, континентальная и переходная земная кора.

Согласно современным представлениям, основанным прежде всего на геофизических данных, земная кора континентов и океанов отличается по своим свойствам, включая плотность, мощность, возраст и химический состав. Континентальная кора характеризуется средней мощностью около 40 км, плотностью 2,84 г/см³ и имеет средний возраст 1500 млн лет, тогда как средняя мощность океанической коры составляет 5–7 км, плотность – около 3 г/см³ и возраст моложе более 200 млн лет. Принято считать, что океаническая кора состоит в основном из толеитовых базальтов, образующихся при быстром охлаждении магмы, тогда как континентальная кора, имеющая долгую историю развития, характеризуется более разнообразным составом [Блюман, 2011].

Глубинные сейсмические исследования, проведенные в различных регионах мира на континентах и в океанах дают возможность выделить основные особенности скоростных моделей земной коры и их изменчивость в зависимости от тектонической ситуации и истории развития региона. Изучению типовых особенностей скоростных моделей земной коры, их связи с тектоническим строением и историей развития различных геоструктур посвящено много работ [Mueller 1977; Meissner 1986; Белоусов, Павленкова 1989; Mooney 2007; McNutt & Caress, 2007; Кашубин и др. 2013; 2018 и др.]. Ряд исследователей предпринимали попытки выделять основные плиты земной коры на основе мощностей и скоростей сейсмических волн в кристаллической коре. Согласно этим параметрам, характерными особенностями континентальной коры являются: большая мощность (обычно более 25–30 км) и наличие в кристаллической части коры верхнего слоя со скоростью Р-волны 5,8–6,4 км/с. Этот слой часто называют «гранитогнейсовым». Океаническая кора тонкая (обычно менее 8–10 км), в ней отсутствует «гранитогнейсовый» слой,













а кристаллическая часть почти целиком представлена образованиями со скоростями Р-волн более 6,5 км/с.

Сейсмические исследования, охватывающие активные и пассивные континентальные окраины и океанические поднятия, показали, что в дополнение к типичной континентальной и океанической коре в этих регионах распространена кора с промежуточными параметрами. Мощность коры колеблется от 10 до 30 км и «гранитогнейсовый» слой в ней значительно уменьшен или отсутствует. Отнесение этой коры к океаническому или континентальному типу часто неоднозначно, поэтому некоторые исследователи предположили выделять отдельный тип – переходную или промежуточную земную кору [Белоусов, Павленкова 1989], однако большинство исследователей предлагают использовать в тектонических построениях два основных генетических типа земной коры – континентальный и океанический.

Различия в составе океанической и континентальной коры очевидны и при сопоставлении их скоростных моделей, построенных по данным многоволновых сейсмических исследований. Оказалось, что океаническая и континентальная кора весьма существенно отличаются по значениям отношения продольных и поперечных волн V_p/V_s [Hyndman, 1979]. В консолидированной коре континентальной части отношение V_p/V_s редко превышает 1,75, в то время как во втором и третьем океанических слоях V_p/V_s составляет 1,85–1,90. При этом в осадочном слое и в океанической и в континентальной части V_p/V_s меняется в широких пределах, в целом превышая значения 1,9–2,0. Эти данные подтверждены в настоящее время многочисленными исследованиями ГСЗ в океанах, выполненными с донными станциями, обеспечивающими регистрацию поперечных и обменных волн [Brevik et al., 2005; Ljones et al., 2004; Поперечные..., 2019 и др.]. Учитывая связь между суммарным содержанием

Таблица 2

Обобщенные модели строения и скоростные параметры океанической и континентальной земной коры
[Кашубин и др., 2013; Поперечные..., 2019]

Океаническая кора			Vp, км/с	Континентальная кора		
Основные слои		Vp/Vs		Vp/Vs	Основные слои	
Вода		–	1,45–1,50	–		Вода
Осадки		2,1–2,5	2,0–4,5	2,1–2,5		Осадки
2-й слой океанической коры		1,8–2,2	4,2–6,0	1,7–2,1		Базальты, переслаивающиеся с осадками или складчато-метаморфический слой
–	–	–	5,8–6,4	1,69–1,73		Верхняя кора
–	–	–	6,3–6,7	1,73–1,75		Средняя кора
3-й слой океанической коры		1,81–1,87	6,6–7,2	1,75–1,77		Нижняя кора
Коромантийный слой		1,78–1,84	7,2–7,6	1,78–1,84		Коромантийный слой

кремнезема в кристаллических горных породах и отношении Vp/Vs [Алейников и др., 1991], эти различия представляются вполне закономерными и свидетельствуют о разной основности океанической и континентальной земной коры. Таким образом, обобщенные данные о строении и скоростных параметрах океанической и континентальной земной коры можно представить следующим образом (табл. 2).

Как можно видеть из приведенной таблицы, в отличие от континентальной коры в океанической отсутствует верхняя (кислая) кора, что наиболее надежно фиксируется по отношению Vp/Vs. Из-за существенного перекрытия значений скорости продольных волн во втором океаническом слое и в верхней части консолидированной континентальной коры отличить океаническую кору от континентальной по абсолютным значениям скоростей Р-волн существенно сложнее, однако скорости во втором океаническом слое редко достигают значений больше 6,0 км/с, поэтому такая задача в какой-то мере может решаться и при отсутствии информации об отношении Vp/Vs.

Следуя соответствующим параметрам для океанической и континентальной земной коры (табл. 2), можно выделить следующие типы земной коры в Циркумполярной Арктике (рис. 15, табл. 3) [Кашубин и др. 2013; Petrov et al., 2016].

Океаническая кора (тип 1, рис. 15) включает в себя нормальную океаническую кору спрединговых бассейнов (мощностью менее 10 км) и утолщенную кору океанических плато и горячих точек (мощностью до 15–30 км, тип 2). Такая земная кора распространена в Циркумполярной Арктике в Норвежско-Гренландском, Евразий-

ском и Баффин-Лабрадорском океанических бассейнах [Bohnhoff & Makris, 2004; Ljones et al., 2004; Funck et al., 2007]. Земная кора включает два океанических слоя, покрытых маломощными осадками [Ljones et al., 2004 и др.]. В Баффин-Лабрадорском океаническом бассейне кора увеличивается до 15–17 км в основном из-за появления коромантийного слоя в нижней коре [Thybo & Artemieva, 2013], где скорости Р-волн достигают 7,4–7,6 км/с [Funck et al., 2007]. Толстая (более 20 км) кора океанических плато и горячих точек представлена на Гренландско-Исландско-Фарерском пороге [Bohnhoff & Makris, 2004; Ljones et al., 2004; Артемьева и Thybo, 2013]. Основное увеличение мощности приходится на третий океанический слой, толщина которого достигает более 15 км.

Переходная кора. Природа утоненной коры глубоких впадин (тип 3, рис. 15) является предметом дискуссий. Например, мощность кристаллической коры в Канадском бассейне не превышает 10–15 км, а скорости Vp = 6,8–7,2 км/с являются типичными для третьего океанического слоя [Mair et al., 1981; Baggeroer et al., 1982; Stephenson et al., 1994]. На основании этих данных традиционно считается что Канадский бассейн образовался на океанической коре [Mooney, 2007; Grantz et al., 2011].

Однако сравнение скоростных моделей земной коры Канадского бассейна, Южно-Баренцевской и Прикаспийской впадин [Faleide et al., 2008; Вольвовские, 1988; Павленкова и др., 2016] показывает, что разрезы коры очень похожи, тогда как природа кристаллической коры (океанической или континентальной) рассматривается исследователями по-разному. Одна точка зрения

состоит в том, что эти депрессии имеют океаническую кору, так называемые «океанические окна» на шельфе и континентах [Grantz et al., 2011]. Альтернативная интерпретация [Вольвовские, 1988; Павленкова и др., 2016] предполагает, что мощные осадочные толщи в этих впадинах покрывают утоненную континентальную кору, которой не хватает верхнего «гранитогнейсового» слоя. Для того, чтобы не принимать какую-либо из этих альтернативных точек зрения, мы отнесли земную кору Канадского бассейна на Тектонической карте к переходной коре. Следует отметить, что скоростных моделей V_p недостаточно, чтобы понять природу кристаллической коры в глубоких рифтовых бассейнах. Дальнейшие исследования с использованием S-волн и глубокое бурение позволят собрать аргументы в пользу той или иной интерпретации.

Морская континентальная кора. В отличие от океанической коры, континентальная кора в Циркумполярной Арктике изучена на основе большого количества профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) [Дружинин и др., 2000; Егоркин и др., 1988; 1991; 2002; Исанина и др., 1995; Поселов и др., 2011; Сакулина и др., 2003; 2011; Artemieva and Thybo, 2013; Cherepanova et al., 2013; Roslov et al., 2009; Sakoulina et al., 2000] и др.

Эти исследования привели к выявлению тонкой коры подводных рифтов и бассейнов как отдельного типа континентальной коры (тип 4, рис. 15). Пример такой земной коры – котловины Подводников и Макарова. Согласно интерпретации материалов ГСЗ, полученные в экспедициях «Трансарктика-1998–1992» [Lebedeva-Ivanova et al., 2011], записи P_g-волн демонстрируют значения $V_p = 6,1–6,3$ км/с в верхней части консолидированной коры, что типично для континентальной коры. Поэтому, несмотря на малую мощность, характерную для океанической коры (12–15 км), она в этих котловинах интерпретируется как утоненная континентальная кора.

Континентальная земная кора характерна для подводных хребтов и поднятий Центрально-Арктической области – хребта Ломоносова и системы поднятий Альфа-Менделеева (тип 5, рис. 15). Это убедительно демонстрируется российскими и зарубежными сейсмическими исследованиями по профилям «Арктика-2000», «Арктика-2005», «Арктика-2007», «Арктика-2012», ATRA, LORITA [Lebedeva-Ivanova et al., 2006; Jackson et al., 2010; Поселов и др., 2011; Funck et al., 2011; Кашубин и др., 2016]. В соответствии с этими исследованиями, мощность земной коры на подводных хребтах и поднятиях сильно варьирует

от 15–17 км до 30–35 км. Кристаллическая часть коры представлена утоненной верхней и мощной нижней корой. Под поднятием Альфа выделяется коромантийный комплекс.

Континентальная природа земной коры хребта Ломоносова давно признается большинством исследователей Арктики, а в отношении коры поднятия Альфа-Менделеева дискуссия продолжалась вплоть до недавнего времени. В частности, канадские исследователи [Funck et al., 2011] считали, что кору поднятия Альфа следует классифицировать как утолщенную кору океанического плато (кора «горячих точек»). Российские же данные убедительно показали, что с шельфа Восточно-Сибирского моря на поднятие Менделеева прослеживаются основные осадочные комплексы и несогласия в них, промежуточный комплекс и кристаллические комплексы земной коры и, следовательно, поднятие Менделеева надо рассматривать как погруженную окраину Евразийского континента [Lebedeva-Ivanova et al., 2006; Поселов и др., 2011; Кашубин и др., 2018; Kashubin et al., 2018]. И хотя вопрос о характере сочленения систем поднятия Альфа-Менделеева остается открытым, на сегодняшнем уровне знаний, с учетом подобия скоростных моделей, земная кора хребта Ломоносова, поднятия Альфа-Менделеева и Чукотского плато включены на карте типов коры в область утоненной континентальной коры (тип 5, рис. 15).

Земная кора шельфовых морей (тип 6, рис. 15) занимает почти все мелководные районы Северного Ледовитого океана. Эта несколько утоненная, по сравнению с континентальными платформами, земная кора характеризуется выдержанной мощностью (около 35 км), но весьма изменчивым соотношением мощностей отдельных слоев. Мощность осадочного чехла варьирует от нескольких метров возле островов до 15 км и более на востоке Баренцева и Чукотского морей. Структура кристаллической коры на шельфе, как правило, трехслойная [Сакулина и др., 2003; Breivik et al., 2005] однако в ряде районов Баренцева моря и северной части Восточно-Сибирского моря [Roslov et al., 2009; Сакулина и др., 2011; Поселов и др., 2011] фиксируется двухслойная кора.

Нормальная континентальная кора платформ и складчатых областей (типы 7 и 8, рис. 15) занимают большую часть Циркумполярной Арктики, охватывая почти всю сушу. Мощность, внутренняя структура и состав коры значительно варьируют, что отражает ее сложную тектоническую эволюцию. Подробную информацию о структуре коры и тектонической эволюции Европейского

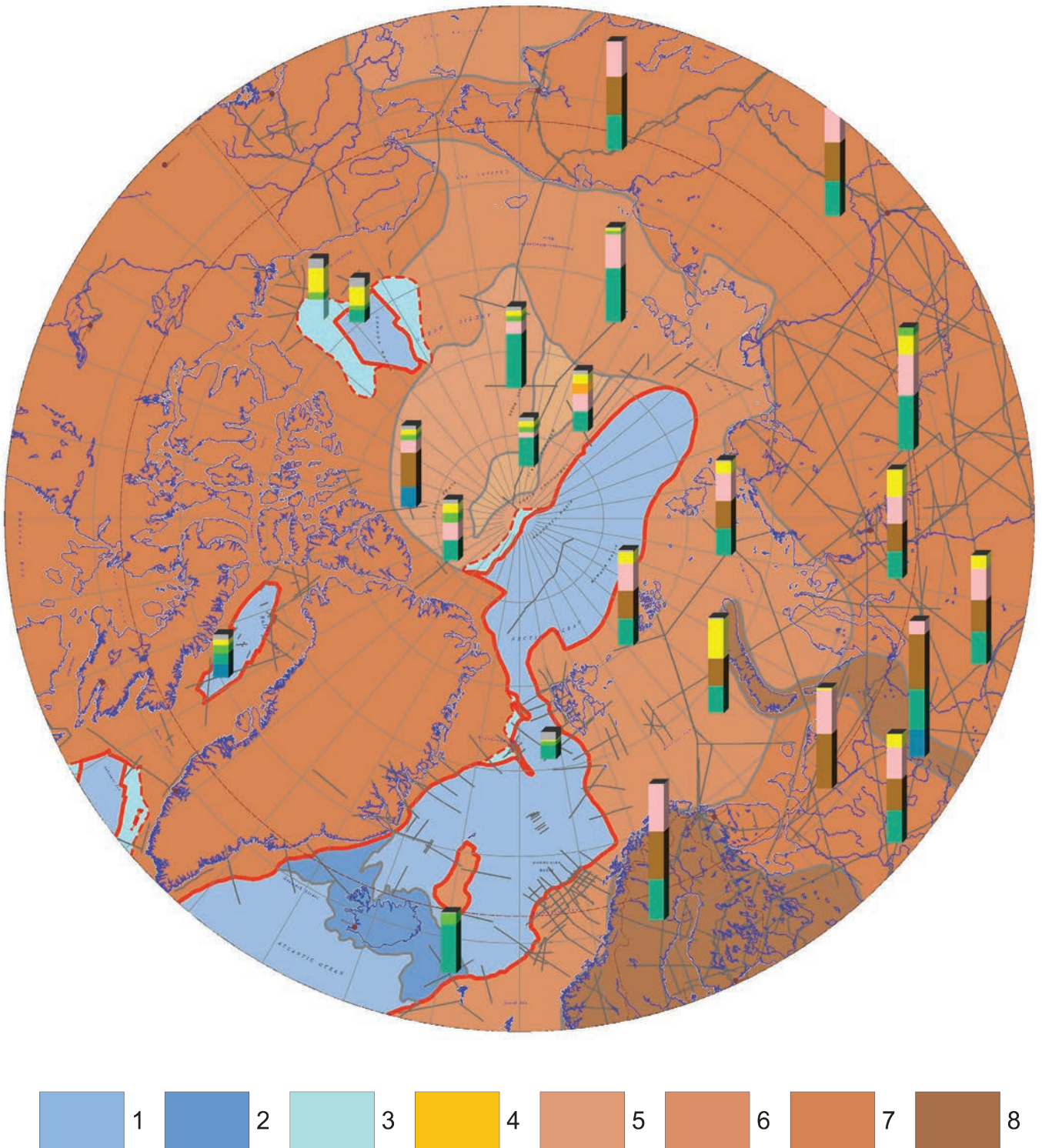
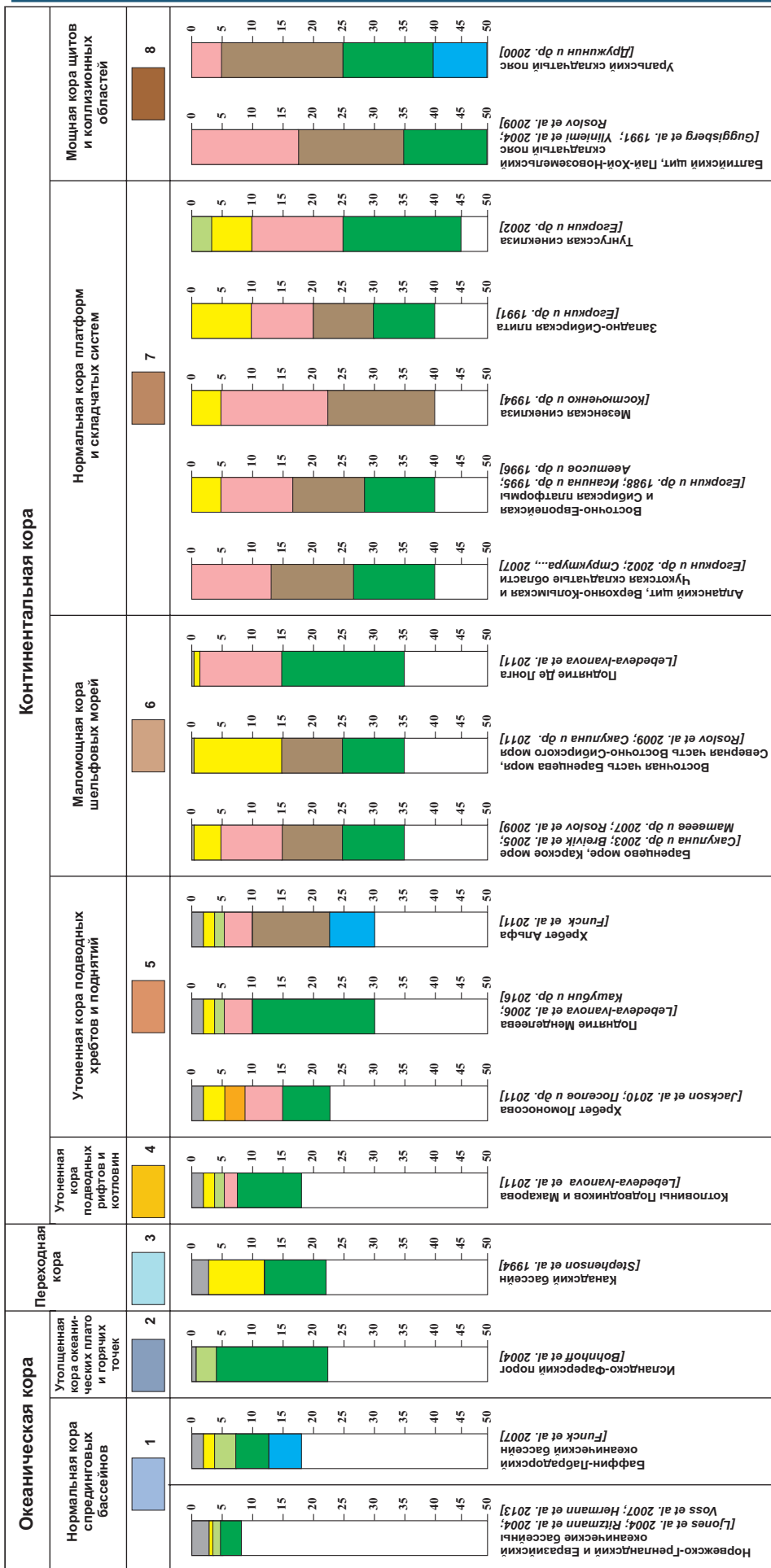


Рис. 15. Схематическая карта типов земной коры Циркумполярной Арктики

1–2 – океаническая земная кора: 1 – нормальная кора спрединговых бассейнов, 2 – утолщенная кора океанических плато и горячих точек, 3 – редуцированная (переходная до океанической) кора глубоких впадин, 4–8 – континентальная земная кора: 4 – утоненная кора подводных рифтов и котловин, 5 – утоненная кора подводных хребтов и поднятий, 6 – маломощная кора шельфовых морей, 7 – нормальная кора платформ и складчатых систем, 8 – мощная кора щитов и коллизионных областей. Серыми линиями показаны профили МПВ, ГСЗ; типовые колонки земной коры по сейсмическим данным те же, что и в табл. 3.

Таблица 3

Типовые колонки земной коры структур Циркумполярной Арктики, составленные на основе сейсмических профилей в соответствии с обобщенными скоростными параметрами, приведенными в табл. 2



континента, Гренландии, Исландии, Североатлантического региона, Западно-Сибирского бассейна и Сибирской платформы можно найти в опубликованных обзорах [Artemieva and Thybo, 2013; Cherepanova et al., 2013].

Таким образом, различные типы земной коры Циркумполярной Арктики формируют глобальную структуру, одним из центров которой является область Центрально-Арктических поднятий, включающая в себя хребет Ломоносова, систему поднятий Альфа-Менделеева и разделяющие их котловины Подводников и Макарова, сложенные корой континентального типа.

ЛИТЕРАТУРА

- Аветисов Т. П., Голубков В. С. Глубинное строение центральной части Норильского района по данным ГСЗ – МОВЗ // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. Вып. I. Часть 2. – С. 186–197.
- Алейников А. Л., Немзоров Н. И., Кашубин С. Н. Способ определения типа горных пород по сейсмическим данным. – Авт. свид. N 1642416 A1 кл. G 01 V1/30, 1991.
- Белоусов В. В., Павленкова Н. И. Типы земной коры Европы и Северной Атлантики // Геотектоника. – 1989. – № 3. – С. 3–14.
- Блюман Б. А. Земная кора океанов. По материалам международных программ глубоководного бурения в мировом океане. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. – 344 с.
- Вольвовский Б. С., Вольвовский И. С. Структуры континентов с «безграничным» типом земной коры. Геодинамические исследования № 12 // Проблемы глубинной геологии территории СССР. – М., 1988. – С. 169–187.
- Дружинин В. С., Каретин Ю. С., Кашубин С. Н. Глубинное геокартирование Уральского региона по данным ГСЗ // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 10. – С. 152–161.
- Егоркин А. В. Строение земной коры по сейсмическим геотравесам // Глубинное строение территории СССР / Ред. В. В. Белоусов, Н. И. Павленкова. – М.: Наука, 1991. – С. 118–135.
- Егоркин А. В., Акиншина Л. В., Артёменко Л. С. и др. Строение кристаллической коры Сибири по линии Ханты-Мансийск–Лена // Разведка и охрана недр. – 2002. – № 2. – С. 33–35.
- Егоркин А. В., Зюганов С. К., Павленкова Н. А., Чернышев Н. М. Результаты исследований структуры литосферы на профилях в Сибири // Геология и геофизика. – 1988. – № 5. – С. 120–128.
- Исанина Э. Б., Шаров Н. В. и др. Атлас региональных сейсмических профилей Европейского Севера России. – СПб.: Росгеофизика, 1995.
- Кашубин С. Н., Павленкова Н. И., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Шокальский С. П., Эринчек Ю. М. Типы земной коры Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 5–20.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Артёмьева И. М., Морозов А. Ф., Вяткина Д. В., Гольшева Ю. С., Кашубина Т. В., Мильштейн Е. Д., Рыбалка А. В., Эринчек Ю. М., Сакулина Т. С., Крупнова Н. А. Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ «Арктика-2012» // Региональная геология и металлогения, 2016. – № 65. – С. 16–35.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Андросов Е. А., Винокуров И. Ю., Шокальский С. П. Типы земной коры Центральной и Северо-Восточной Азии, дальневосточной и арктической областей перехода континент–океан // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 73. – С. 6–18.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Винокуров И. Ю., Андросов Е. А., Гольшева Ю. С., Ефимова Н. Н., Яварова Т. М., Морозов А. Ф. Структура земной коры зоны сочленения поднятия Менделеева с Евразийским континентом (по геофизическим данным) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 5–18.
- Костюченко С. Л., Егоркин А. В. Внутрикоровые элементы севера Восточно-Европейской платформы // Разведка и охрана недр. – 1994. – № 10. – С. 12–15.
- Матвеев Ю. И., Верба М. Л., Литилин А. В., Рослов Ю. В. Глубинные сейсмические исследования в Баренцево-Карском регионе. – Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилеирования // Мат-лы Международного научно-практического семинара. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. С. 90–93.
- Павленкова Н. И., Кашубин С. Н., Павленкова Г. А. Земная кора глубоких платформенных впадин Северной Евразии и природа их формирования // Физика Земли. – 2016. – № 5. – С. 150–164.
- Поперечные и обменные волны при глубинных сейсмических исследованиях на акваториях / Под ред. С. Н. Кашубина, О. В. Петрова. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. – 155 с. – (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 360).
- Поселов В. А., Верба В. В., Жолондз С. М. Типизация земной коры Центрально-Арктических поднятий Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 2007. – № 4. – С. 48–59.
- Поселов В. А., Аветисов Г. П., Каминский В. Д. и др. Российские арктические геотравесы. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2011. – 172 с.
- Сакулина Т. С., Рослов Ю. В., Иванова Н. М. Глубинные сейсмические исследования в Баренцевом и Карском морях // Физика Земли. – 2003. – № 6. – С. 5–20.
- Сакулина Т. С., Верба М. Л., Кашубина Т. В., Крупнова Н. А., Табырца С. Н., Иванов Г. И. Комплексные геолого-геофизические исследования на опорном профиле 5-АР в Восточно-Сибирском море // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 10. – С. 17–23.
- Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным / Под ред. А. С. Сальникова. – Новосибирск: Наука, 2007. – 173 с.
- Филатова Н. И., Хаин В. Е. Структуры центральной Арктики и их связь с мезозойским арктическим плюмом // Геотектоника. – 2009. – № 6. – С. 24–51.
- Artemieva, I. M., Thybo, H. EUNAseis: A seismic model for Moho and crustal structure in Europe, Greenland, and the North Atlantic region // Tectonophysics. – 2013. – 609. – P. 97–153. doi: 10.1016/j.tecto.2013.08.004.
- Artyushkov, E. V. Continental crust in the Lomonosov Ridge, Mendeleev Ridge, and the Makarov basin. The formation of deep-water basins in the Neogene // Russian geology and geophysics. – 2010. – 51 (11). – P. 1179–1191. doi:10.1016/j.rgg.2010.10.003.
- Baggeroer, A. B., Falconer R. Array Refraction Profiles and Crustal Models of the Canada Basin // J. Geophys. Res. – 1982. – 87. – P. 5461–5476.
- Bohnhoff, M., Makris, J. Crustal structure of the south-eastern Iceland-Faeroe Ridge (IFR) from wide aperture seismic data // J. Geodynamics. – 2004. – 37. – P. 233–252.

- Breivik, A. J., Mjelde, R., Grogan, P., Shimamura, H., Murai, Y., Nishimura, Y. Caledonide development off shore-onshore Svalbard based on ocean bottom seismometer, conventional seismic and potential field data // *Tectonophysics*. – 2005. – 401. – P. 79–117.
- Brumley, K. Tectonic geomorphology of the Chukchi Borderland: constraint for tectonic reconstruction models. This is for the Degree of Master of Science. University of Alaska, Fairbanks, 2009. – P. 116.
- Cherepanova, Yu., Artemieva, I. M., Thybo, H., Chemia, Z. Crustal structure of the Siberian Craton and the West Siberian Basin: an appraisal of existing seismic data // *Tectonophysics*. – 2013. – 609. – P. 154–183.
- Drachev, S. S., Malyshev, N. A., Nikishin, A. M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview / B. A. Vining, S. C. Pickering (eds.) // *Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers*. Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conf. Geol. Soc., London, 2010. – 7. – P. 591–619.
- Faleide, J. I., Filippos, T., Asbjorn, J. B., Mjelde, R., Ritzmann, O., Engen, O., Wilson, J., Eldholm, O. Structure and evolution of the continental margin off Norway and the Barents Sea // *Episodes*. – 2008. – 31. – P. 82–91.
- Funck T., Jackson, H. R., Shimeld, J. The crustal structure of the Alpha Ridge at the transition to the Canadian Polar Margin: Results from a seismic refraction experiment // *J. Geophys. Res.* – 2011. – 116. B12101, doi:10.1029/2011JB008411.
- Funck, T., Jackson, H. R., Loudon, K. E., Klingelhofer, F. Seismic study of the transform-rifted margin in Davis Strait between Baffin Island (Canada) and Greenland: What happens when a plume meets a transform // *J. Geophys. Res.* – 2007. – 112. B04402.
- Grantz, A., Hart, P. E., Childers, V. A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean // A. M. Spencer, A. F. Embry, D. L. Gautier, A. V. Stoupakova, K. Sørensen (eds.) // *Arctic Petroleum Geology*. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35. – P. 771–799.
- Guggisberg B., Kaminski W., Prodehl C. Crustal structure of the Fennoscandian Shield: A travelttime interpretation of the long-range FENNOLOGA seismic refraction profile // *Tectonophysics*. – 1991. – 195. – P. 105–137.
- Hermann T., Jokat W. Crustal structures of the Boreas Basin and the Knipovich Ridge, North Atlantic // *Geophys. J. Int.* (2013) doi: 10.1093/gji/ggt048, 1-16.
- Hyndman, R. D. Poisson's ratio in the oceanic crust – a review // *Tectonophysics*. – 1979. – 59. – P. 321–333.
- Ivanova, N. M., Sakoulina, T. S., Roslov, Yu. V. Deep seismic investigation across the Barents-Kara region and Novozemelskiy Fold Belt (Arctic Shelf) // *Tectonophysics*. – 2006. – 420. – P. 123–140.
- Jackson, H. R., Dahl-Jensen, T., the LORITA working group. Sedimentary and crustal structure from the Ellesmere Island and Greenland continental shelves onto the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean // *Geophys. J. Int.* – 2010. – 182. – P. 11–35.
- Kashubin S. N., Petrov O. V., Artemieva I. M., Morozov A. F., Vyatkina D. V., Golysheva Yu. S., Kashubina T. V., Milshstein E. D., Rybalka A. V., Erinchek Yu. M., Sakulina T. S., Krupnova N. A., Shulgin A. A., Crustal structure of the Mendeleev Rise and the Chukchi Plateau (Arctic Ocean) along the Russian wide-angle and multichannel seismic reflection experiment «Arctic-2012» // *Journal of Geodynamics*. – 2018. – 119. – P. 107–122.
- Lebedeva-Ivanova, N. N., Gee, D. G., Sergeev, M. B. Crustal structure of the East Siberian continental margin, Podvodnikov and Makarov basins, based on refraction seismic data (TransArctic 1989–1991 / A. M. Spencer, A. Embry, D. Gautier, A. Stoupakova and K. Sørensen (eds.) // *Arctic Petroleum Geology*. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35 (26). – P. 395–411.
- Lebedeva-Ivanova, N. N., Zamansky, Yu. Ya., Langnen, A. E., Sorokin, M. Yu., Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82°N evidence of continental crust // *Geophys. J. Int.* 2006. – 165. – P. 527–544.
- Ljones, F., Kuwano, A., Mjelde, R., Breivik, A., Shimamura, H., Murai, Y., Nishimura, Y., Crustal transect from the North Atlantic Knipovich Ridge to the Svalbard Margin west of Hornsund // *Tectonophysics*. – 2004. – 378. – P. 17–41.
- Mair, J. A., Lyons, J. A., Crustal structure and velocity anisotropy beneath the Beaufort sea // *Can. J. Earth Sci.* – 1981. – 18. – P. 724–741.
- McNutt, M., Caress, D. W. Crust and lithospheric structure – Hot spots and hot-spot swells / B. Romanowicz and A. Dziewonski (eds.) // *Treatise on Geophysics*. Elsevier. – 2007. – 1. – P. 445–478.
- Meissner, R. The continental crust, a geophysical approach. International Geophys. Series. Academic Press, INC, Orlando. – 1986. – 34. – P. 426.
- Mooney, W. D. Crust and lithospheric structure – Global crustal structure / B. Romanowicz, A. Dziewonski (eds.) // *Treatise on Geophysics*. Elsevier. – 2007. – 1. – P. 361–417.
- Mueller, St. A new model of the continental crust // *Am. Geophys. Un. Mon.* – 1977. – 20. – P. 289–317.
- Mukasa, S., Andronikov, A., Mayer, L., Brumley, K. Geochemistry and geochronology of the first intraplate lavas recovered from the Arctic Ocean // *Portland GSA Annual Meeting (18–21 October 2009)*. – 2009. – 138. – P. 11.
- Petrov, O., Smelror, M., Morozov, A., Shokalsky, S., Kashubin, S., Artemieva, I. M., Sobolev, N., Petrov, E., Ernst, R. E., Sergeev, S. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // *Earth-Science Reviews*. Elsevier. – 2016. – 154. – P. 29–71.
- Ritzmann O., Jokat W., Czuba W., Guterch A., Mjelde R., Nishimura Y., A deep seismic transect from Hovgard Ridge to northwestern Svalbard across the continental-ocean transition: A sheared margin study // *Geophys. J. Int.* – 2004. – 157. – P. 683–702.
- Roslov, Yu. V., Sakoulina, T. S., Pavlenkova, N. I. Deep seismic investigations in the Barents and Kara Seas // *Tectonophysics*. – 2009. – 472. – P. 301–308.
- Sakoulina, T. S., Telegin, A. N., Tikhonova, I. M., Verba, M. L., Matveev, Y. I., Vinnick, A. A., Kopylova, A. V., Dvornikov, L. G. The results of deep seismic investigations on Geotraverse in the Barents Sea from Kola peninsula to Franz-Joseph Land // *Tectonophysics*. – 2000. – 329 (1–4). – P. 319–331.
- Stephenson, R. A., Cofl in, K. C., Lane, L. S., Dietrich, J. R. Crustal structure and tectonics of the southeastern Beaufort Sea continental margin // *Tectonics*. – 1994. – 13. – P. 389–400.
- Thybo, H., Artemieva, I. M. Moho and magmatic underplating in continental lithosphere // *Tectonophysics*. – 2013. – 609. – P. 605–619.
- Voss M., Jokat W. Continent–ocean transition and voluminous magmatic underplating derived from P-wave velocity modelling of the East Greenland continental margin // *Geophys. J. Int.* – 2007. – 170. – P. 580–604.
- Yliniemi J., Kozlovskaya E., Hjelt S.-E., Komminaho K., Ushakov A., SVEKALAPKO Seismic Tomography Working Group. Structure of the crust and uppermost mantle beneath southern Finland revealed by analysis of local events registered by the SVEKALAPKO seismic array // *Tectonophysics*. – 2004. – 394. – P. 41–67.

ГЕОТРАНСЕКТ ЧЕРЕЗ ЦИРКУМПОЛЯРНУЮ АРКТИКУ

С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн, С. П. Шокальский

Сводный геотрансект составлен из фрагментов сейсмических профилей ГСЗ и дополнен плотностным моделированием. Геотрансект демонстрирует строение земной коры и верхней мантии по линии протяженностью 7600 км, пересекающей континентальную кору Восточно-Европейской платформы, шельфовых морей Баренцево-Карского региона, океаническую кору Евразийского бассейна, редуцированную кору области Центрально-Арктических поднятий, шельфовых морей пассивной Евразийской окраины и земную кору Чукотско-Колымской складчатой области.

Ключевые слова: Циркумполярная Арктика, скоростные и плотностные модели, океаническая и континентальная земная кора.

Геотрансект протяженностью 7600 км через Циркумполярную Арктику построен по линии, соединяющей сейсмические геотраверсы ГСЗ: 1-ЕВ-1-АР-«Трансарктика-1989-1992»-«Арктика-2000»-«Арктика-2005»-5-АР-2-ДВ (5400 км) от Петрозаводска на западе до Магадана на востоке [Берзин и др., 1998; Кашубин и др., 2018; Сакулина и др., 2011, 2016; Структу-

ра..., 2007; Lebedeva-Ivanova et al., 2006, 2011] (рис. 16, 17). В него входят скоростные и плотностные модели и геолого-геофизические разрезы. В геотрансекте показаны: подошва осадочно-го чехла (В), подошва верхней коры, кровля верхней коры, подошва земной коры-поверхность М (Мохоровичича). При определении границ указаны параметры скорости (V_p): осадочный чехол –

Положение геотрансекта

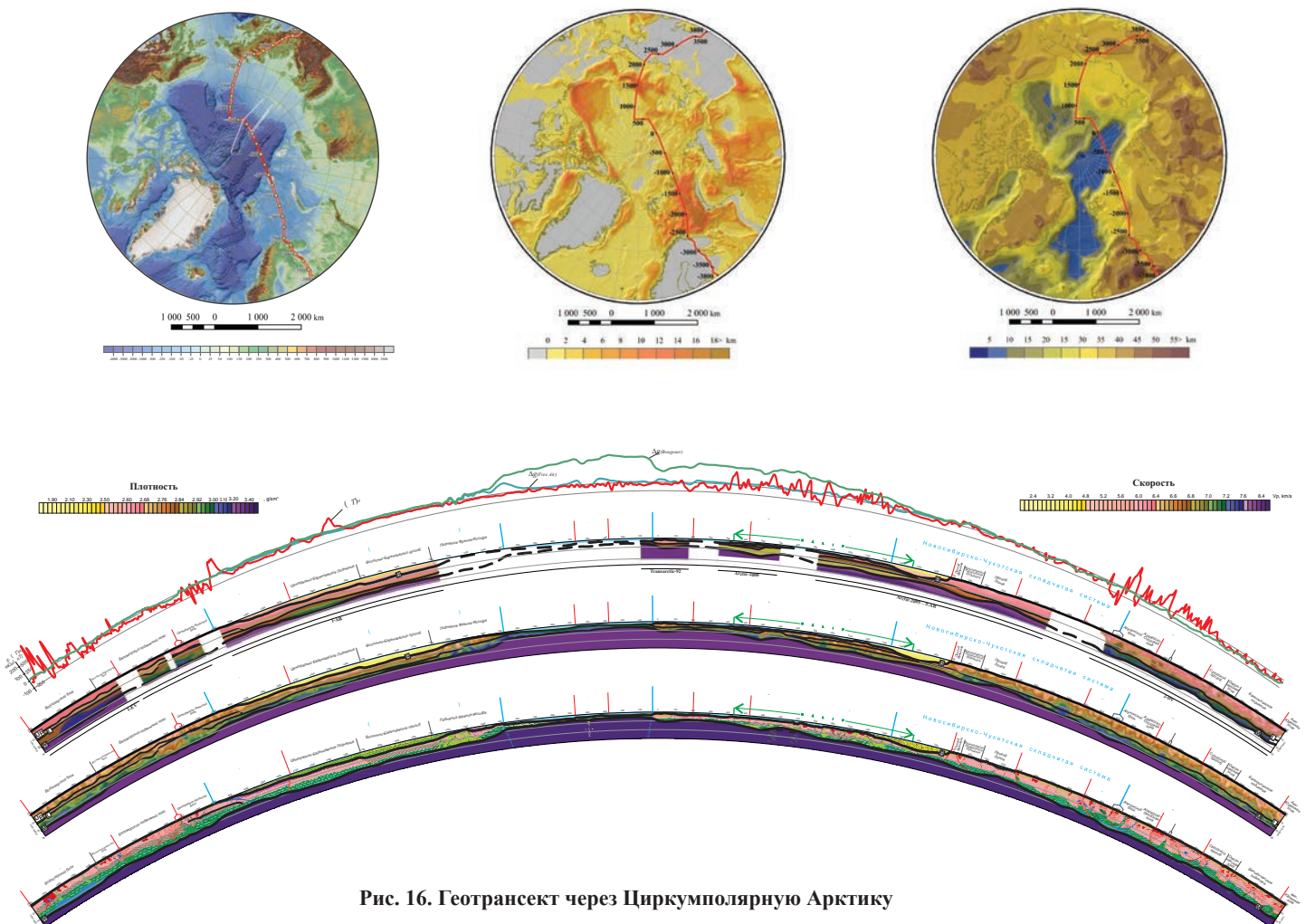


Рис. 16. Геотрансект через Циркумполярную Арктику

2,0–4,5 км/с; верхняя кора – 5,8–6,4 км/с; средняя кора – 6,3–6,7 км/с; нижняя кора – 6,6–7,2 км/с; верхняя мантия – 7,8–8,4 км/с. Геолого-геофизический разрез пересекает Евразийский океанический бассейн с эоценовой, олигоценно-раннемиоценовой и позднемиоценовой – четвертичной океанической корой (мощностью менее 10 км), Балтийский щит и складчатые районы северо-восточной России.

Пассивные континентальные окраины Евразийского океанического бассейна – Баренцево-Карский, Лаптевский рифт и погруженный Американо-Арктический бассейн с хр. Ломоносова и поднятие Менделеева-Альфа отличаются маломощной корой. Это поднятие рассматривается как блок трехслойной раннедокембрийской коры мощностью до 30 км с осадочным чехлом позднего докембрия и палеозоя под позднемезозойскими и кайнозойскими отложениями и базальтами HALIP. Указаны пределы и глубинная структура Аноийско-Чукотского и Верхоянско-Колымского регионов в диапазоне разрезов. Карельский гранитно-диабазовый регион имеет мощную (до 45 км) трехслойную кору и корово-мантийные линзы большой плотности и скорости как свидетельство андерплейтинга и мафического–ультрамафического магматизма.

Поднятие Менделеева-Альфа характеризуется параметрами скорости и плотности, позволяющими представить его как тектонический блок с трехслойной корой мощностью 30 км. Мощность коры максимальна для области Центрально-Арктических поднятий. В подошве нижней коры наблюдаются местные участки высокой скорости и высокой плотности, подобные корово-мантийному комплексу. Это позволяет предположить наличие мафических магматических очагов под обширным базальтовым ареалом HALIP, интерпретируемых по характерному магнитному полю.

Базальты на хребте Альфа к северу от геотрансекта датируются меловым периодом (82 млн лет). Супракрустальный комплекс позднедокембрийских и палеозойских отложений, как предполагается, находится в пределах акустического фундамента поднятия Менделеева. Северо-Чукотский бассейн располагается в пределах Аноийско-Чукотской складчатой области.

Обломки гнейсогранитов, поднятые со дна моря поршневым пробоотборником (отбор геологических проб со склона отрога Геофизиков), также показали более молодой возраст (1139 ± 15 ; 688 ± 5 ; $448,7 \pm 4$; $407,5 \pm 5,1$ млн лет), чем пробы гранитов на поднятии Менделеева.

Сходство структуры коры поднятия Менделеева-Альфа и Карельской гранит-зеленокаменной области позволяет предположить присутствие

раннедокембрийских тектонических блоков в фундаменте поднятия. Это допущение подтверждается изотопными датировками образцов пород морского дна, взятых в ходе экспедиций «Арктика-2000» и «Арктика-2005». Обломки гранитогнейсов, вынутые и поднятые коробчатыми или поршневыми пробоотборниками на хребте Менделеева, показали возраст 2,7; 2,6; 2,3; и 1,9 млрд лет; фрагменты габбродолерита демонстрируют 790 ± 20 млн лет и 2650 млн лет (из зерен чужеродного циркона). Палеозойские песчаники и кварциты (430–300 млн лет) с хребта Менделеева также содержат архейские (3,1 млрд лет) обломочные цирконы, указывающие на участие раннедокембрийских источников.

Лаптевоморская часть хребта Ломоносова, пересекаемая геотрансектом, отличается двухслойной структурой и более тонкой (около 25 км) земной корой. Скорость и плотность нижней коры заметно меньше, чем у поднятия Менделеева. Основные параметры консолидированной коры хребта Ломоносова сходны с маломощной корой орогенных поясов в Северо-Восточной России.

ЛИТЕРАТУРА

- Берзин Р. Г., Заможня Н. Г., Кулаков С. И. и др. Сейсмогеологическая модель земной коры по северному участку профиля I-EB // Сейсмологическая модель литосферы Северной Европы / Ред. Ф. П. Митрофанов, Н. В. Шаров. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. Ч. 1. С. 93–109.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Винокуров И. Ю., Андросов Е. А., Гольщикова Ю. С., Ефимова Н. Н., Яварова Т. М., Морозов А. Ф. Структура земной коры зоны сочленения поднятия Менделеева с Евразийским континентом (по геофизическим данным) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 5–18.
- Сакулина Т. С., Верба М. Л., Кашубина Т. В., Крупнова Н. А., Табырца С. Н., Иванов Г. И. Комплексные геолого-геофизические исследования на опорном профиле 5-AP в Восточно-Сибирском море // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 10. – С. 17–23.
- Сакулина Т. С., Кашубин С. Н., Павленкова Г. А. Глубинные сейсмические зондирования по профилю 1-AP в Баренцевом море: методика и результаты // Физика Земли. – 2016. – № 4. – С. 107–124.
- Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным: Сб. науч. тр. / Отв. ред. А. С. Сальников. – Новосибирск: Наука, 2007. – 173 с.
- Lebedeva-Ivanova N. N., Gee D. G., Sergeyev M. B., Chapter 26 Crustal structure of the East Siberian continental margin, Podvodnikov and Makarov basins, based on re-fraction seismic data (TransArctic 1989–1991) / Spencer, Embry, Gautier, Stoupakova and Sørensen (eds) // Arctic Petroleum Geology. Geological Society of London. – 2011. – N. 35. – P. 395–411.
- Lebedeva-Ivanova, N. N., Zamansky, Yu. Ya., Langnen, A. E., Sorokin, M. Yu., Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82°N evidence of continental crust // Geophys. J. Int. – 2006. – 165. – P. 527–544.

КАРТА МОЩНОСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА АРКТИКИ

О. В. Петров, С. Н. Кашубин, Л. А. Дараган-Суцова, Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, Е. О. Петров, К. Пипджон, В. А. Поселов, И. И. Поспелов, С. П. Шокальский, С. Д. Соколов

Сводная карта мощности осадочного чехла Циркумполярной Арктики составлена по данным сейсмических исследований методом отраженных волн и обобщения всех доступных карт мощностей осадков севернее 60° с. ш. Сечение изопакит на сводной карте соответствует 1,0 км, грид 5×5 км.

Ключевые слова: Циркумполярная Арктика, сейсморазведка МОВ, мощность осадков

Под осадочным чехлом обычно подразумевают последовательность осадочных, недислоцированных (слабодислоцированных) и нематаморфизованных пород, характеризующихся пологим падением, которые образуют верхнюю часть земной коры. Как правило, на материках осадочный чехол залегает на консолидированной коре, а в океанах – на втором океаническом слое. Однако в некоторых осадочных бассейнах между осадочным чехлом и кристаллическим фундаментом находятся промежуточные комплексы, представленные в различной степени метаморфизованными и дислоцированными осадками. Иногда эти породы включаются в осадочный слой [Gramberg et al., 2001], но чаще считаются образованиями так называемого промежуточного структурного яруса [Поселов и др., 2011; 2012]. В геологической картографии мощность осадков, залегающих на фундаменте различного возраста, обозначается изопакитами.

Как правило, осадочный чехол уверенно определяется на сейсмических разрезах по характеру сейсмической записи и значениям скоростей упругих волн, поэтому сейсмические методы играют важнейшую роль в изучении осадочного чехла. Во временных сейсмических разрезах МОВ-ОГТ подошва осадочного чехла обычно фиксируется по резкой смене протяженных и субгоризонтально ориентированных осей синфазности, прерывистым разнонаправленным полем отражающих границ или полным прекращением структурированной сейсмической записи. Этот горизонт, обозначаемый в профилях МОВ-ОГТ как акустический фундамент, обычно совпадает со скоростной границей, определяемой при наблюдениях по методу ГСЗ, и соответствующей резкому повышению значений скорости продольных волн: от менее 3,5–4,0 до 5,0 км/с и выше. Как правило, подошва осадочного чехла (по сейсмическим данным) определяется этими параметрами.

Карта мощности осадочного чехла Приполярной Арктики (рис. 18) составлена в рамках Международного проекта по составлению Атласа геологических карт Циркумполярной Аркти-

ки, выполняемого при поддержке Комиссии по геологической карте мира [Petrov et al., 2016]. Карта составлена на основе всех имеющихся карт недавнего времени, отражающих структуру осадочного чехла и сейсмических разрезов [Gramberg et al., 2001; Smelror et al., 2009; Grantz et al., 2011ab; Drachev et al., 2010; Divins, 2008; Laske and Masters, 2010; Поселов и др., 2012; Artemieva и Thybo, 2013 и др.]. Все имеющиеся данные о мощности осадочного чехла, собранные из различных источников, были преобразованы в единую систему координат и представлены единым гридом с размером ячейки 5×5 км. На участках перекрытий исходных карт предпочтение отдавалось более детальным исследованиям. Площади, по которым нет сейсмических данных, заполнялись с помощью интерполяции, используя глобальную модель CRUST1.0, построенную на матрице с ячейкой $1 \times 1^\circ$ [Laske and Masters, 2010].

В представленном виде карта может служить фактологической основой для распределения мощности осадков в Арктическом регионе при анализе геологической структуры и тектонической эволюции Арктики. Структура осадочного чехла отражает расположение рифтовых систем в материковых окраинах и орогенных поясах, а также позволяет устанавливать границы осадочных бассейнов.

Осадочный чехол Арктики, включающий общую мощность недеформированных последовательностей пород, залегающих на тектоническом фундаменте, обнаруживает пояс глубоководных и окраинных шельфовых бассейнов (Восточно-Баренцевский бассейн – Северо-Карская впадина, бассейн Вилькицкого – Северо-Чукотский бассейн; прогиб Колвилл; море Бофорта – дельта р. Макензи; бассейн Свердруп и бассейн моря Линкольна и т. п.). В этих бассейнах осадочный чехол достигает 18–20 км.

Система субмеридиональных глубоководных бассейнов (Евразийский бассейн – море Лаптевых, котловина Макарова – котловина Подводников – бассейн Де-Лонга и др.) с осадочным чехлом 6–10 км, очевидно, является более молодой

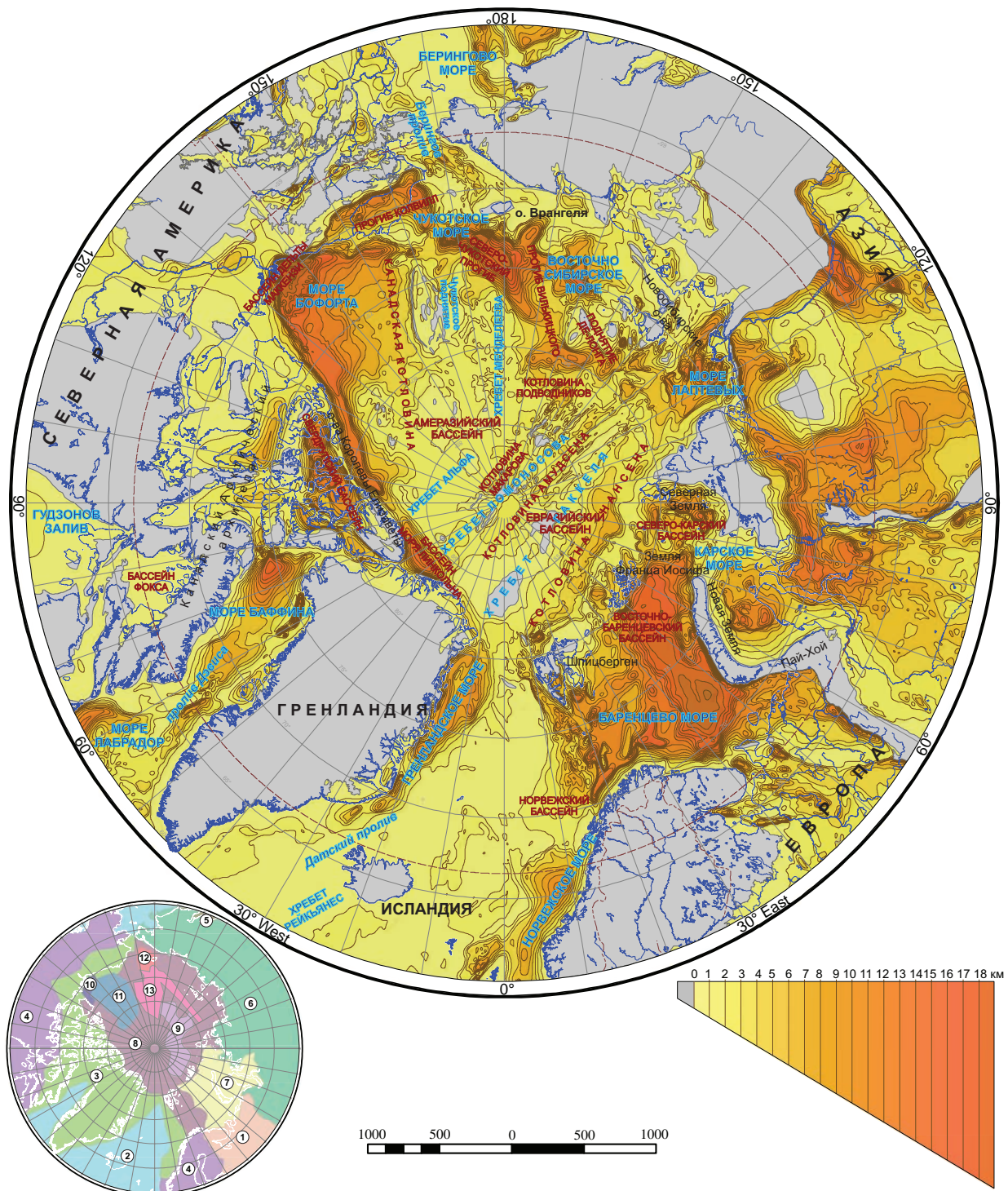


Рис. 18. Карта мощности осадочного чехла Циркумполярной Арктики [Petrov et al., 2016]

Схема авторских материалов: 1 – Ю. М. Эринчек и др., 2002 (фондовые материалы). Карта рельефа разновозрастного фундамента Восточно-Европейской платформы и Тимано-Печорской провинции; 2 – Divins D. L., 2003. NGDC Total Sediment Thickness of the World's Oceans and Marginal Seas; 3 – Grantz A. et al., 2010. Map showing the sedimentary successions of the Arctic Region that may be prospective for hydrocarbons; 4 – Laske G. and Masters G. A., 2010. Global Digital map of Sediment Thickness; 5 – Т. С. Сакулина и др., 2011. Осадочные бассейны Охотоморского региона; 6 – С. П. Шокальский и др., 2010 (фондовые материалы). Схематическая карта мощности осадочного чехла Урала, Сибири и Дальнего Востока; 7 – Т. С. Сакулина и др., 2011. Карта мощности осадочного чехла Баренцево-Карского региона; 8 – В. А. Поселов и др., 2012. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана; 9 – К. Г. Ставров и др., 2011. Карта мощности осадочного чехла масштаба 1:5 000 000; 10 – N. Kumar et al., 2010. Tectonic and Stratigraphic Interpretation of a New Regional Deep-seismic Reflection Survey offshore Banks Island; 11 – D. C. Mosher et al., 2012. Sediment Distribution in Canada Basin; 12 – Н. А. Петровская и др., 2008. Основные черты геологического строения российского сектора Чукотского моря; 13 – И. Ю. Винокуров и др., 2013. Мощность осадочного чехла по результатам сейсмического профилирования экспедиции «Арктика-2012».

системой, наложенной на палеозойско-мезозойские котловины и впадины шельфовых окраин.

Мощность осадочного чехла снижается до 1 км и менее на хребтах, разделяющих бассейны (хребет Ломоносова – Новосибирские острова, хребет Альфа-Менделеева – о. Врангеля), где отмечены выходы фундамента разного возраста формирования и складчатости. Среди поднятий следует отметить хребет Гаккеля, как одну из самых молодых океанических спрединговых систем с выходами кайнозойского океанического фундамента, которая формируется в осевой части Евразийского осадочного бассейна.

Карта мощности осадочного чехла Арктики имеет исключительное значение для оценки нефтегазовых ресурсов. Это показано на карте «Осадочные последовательности, перспективные для углеводородов», составленной А. Гранцем в 2010 г. Оценка нефтегазового потенциала арктического региона затруднена из-за неполноты наших знаний о расположении, характере, возрасте и геологической обстановке осадочных последовательностей, залегающих в недрах этого обширного и недостаточно изученного региона. Задача карты осадочных бассейнов и комплексов – заполнить этот пробел, показав все достоверно выделяемые и предполагаемые континентальные и перекрытые морскими водами осадочные последовательности в Арктическом регионе (от широт 58–64° и севернее) по имеющимся современным сведениям. Карта состоит из четырех секторов – Аляска и Арктическая Канада, Восточная Сибирь, Баренцево-Карский регион и Гренландия) в общем масштабе 1 : 6 760 000.

В числе важнейших нерешенных вопросов энергоснабжения будущего – объем нефти и газа, который предстоит найти в высоких северных широтах. Потенциал освоения ресурсов вызывает все большую заинтересованность арктических стран, нефтегазовых компаний и всех, озабоченных хрупкой окружающей средой региона. Эта озабоченность усиливается из-за начала отступления полярных льдов, которое изменяет экосистемы и улучшает перспективы легкой разведки и освоения нефтегазовых ресурсов. Так или иначе, ограниченные возможности геологоразведки в других районах мира (в сочетании с техническим прогрессом) способствуют все большей привлекательности Арктики для освоения. Для общего представления о потенциале нефтегазовых ресурсов региона геологическая служба США (USGS) провела геологическую оценку Арктики, оценку ресурсов Приполярной Арктики (CARA), полностью находящуюся в открытом доступе [Gautier et al., 2011].

В Приполярной Арктике может находиться около 30% мировых неразведанных запасов газа и 13% мировой неразведанной нефти, в основном на шельфе, под толщей воды менее 500 м. В Арктике втрое больше неразведанного газа, чем нефти, и немалая часть его запасов расположена в России. Запасы нефти, хоть и важные для интересов арктических стран, вероятно, недостаточны, чтобы существенно сместить географический рисунок мировой добычи нефти.

В эти оценки не входят технологические или экономические риски, поэтому значительная часть оценочных неразведанных запасов, возможно, никогда не будет добыта. Освоение будет зависеть от рыночных условий, технического прогресса и размеров неразведанных залежей. Кроме того, эти первые оценки во многих случаях основаны на очень скудной геологической информации, и наше понимание арктических ресурсов, несомненно, изменится с поступлением новых данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Поселов В. А., Аветисов Г. П., Каминский В. Д. и др. Российские арктические геотраверсы. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2011. – 172 с.
- Поселов В. А., Жолондз С. М., Трухалев А. И. и др. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2012. – С. 8–14. (Тр. ВНИИОкеангеология. Т. 223. Вып. 8).
- Artemieva, I. M., Thybo, H. EUNASEIS: A seismic model for Moho and crustal structure in Europe, Greenland, and the North Atlantic region // *Tectonophysics*. – 2013. – 609. – P. 97–153. doi: 10.1016/j.tecto.2013.08.004.
- Divins, D. L. NGDC Total Sediment Thickness of the World's Oceans & Marginal Seas, 2008. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/sedthick/sedthick.html>.
- Drachev, S. S., Malyshev, N. A., Nikishin, A. M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview / B. A. Vining, S. C. Pickering (eds.) // *Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers. Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conf. Geol. Soc., London*. – 2010. – 7. – P. 591–619.
- Gautier, D. L., Bird, K. J., Charpentier, R. R., Grantz, A., Houseknecht, D. W., Klett, T. R., Moore, T. E., Pitman, J. K., Schenk, C. J., Schuenemeyer, J. H., Sørensen, K., Tennyson, M. E., Valin, Z. C., Wandrey, C. J., Chapter 9. Oil and gas resource potential north of the Arctic Circle // *Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc., London*. – 2011. – Mem. 35. – P. 151–161.
- Gramberg, I. S., Verba, V. V., Verba, M. L., Kos'ko, M. K., Sedimentary Cover Thickness Map – Sedimentary Basins in the Arctic // *Polarforschung*. – 2001. – 69. – P. 243–249.
- Grantz, A., Hart, P. E., Childers, V. A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean / A. M. Spencer, A. F. Embry, D. L. Gautier,

- A. V. Stoupakova, K. Sørensen (eds.) // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35. – P. 771–799.
- Grantz, A., Scott, R. A., Drachev, S. S., Moore, T. E., Valin, Z. C. Sedimentary successions of the Arctic Region (58–64 to 90 degrees N) that may be prospective for hydrocarbons // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35. – P. 17–37.
- Laske, G., Masters, G. A Global Digital map of Sediment Thickness. EOS Transactions American Geophysical Union. 78. F 483, 2010. <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sediment.html>.
- Petrov, O., Smelror, M., Morozov, A., Shokalsky, S., Kashubin, S., Artemieva, I. M., Sobolev, N., Petrov, E., Ernst, R. E., Sergeev, S. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region. Earth-Science Reviews // Elsevier. – 2016. – 154. – P. 29–71.
- Smelror, M., Petrov, O., Larssen, G. B., Werner, S. (eds.). Atlas – Geological history of the Barents Sea, 2009. Geological Survey of Norway, Trondheim. 135.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА АРКТИКИ

О. В. Петров, С. П. Шокальский, С. Н. Кашубин, Г. Э. Грикуров, Е. О. Петров, К. Пипджон, Н. Н. Соболев, И. И. Поспелов, С. Д. Соколов, Т. Ю. Толмачева

Схема тектонического районирования фундамента Арктики составлена в рамках создания Тектонической карты Арктики как вспомогательное зарамочное графическое приложение. Она опирается на результаты новейших геолого-геофизических исследований в Циркумполярной области, включая данные по драгированию в области Центрально-Арктических поднятий и результаты аналитического изучения образцов пород морского дна. Границы тектонических структур проведены с учетом типов земной коры, времени её консолидации и последующей структурно-термальной переработки, а также соотношений структур фундамента и осадочного чехла в области Центрально-Арктических поднятий.

Ключевые слова: Тектоническое районирование, Циркумполярная область, консолидированная кора, тектоника

Осадочный чехол в Арктике, показанный на базовой Тектонической карте, занимает до 70% площади Циркумполярной области. Для отражения представлений авторов о подстилающей для осадков консолидированной коры, её типе и возрасте, в комплект ТеМАг включена дополнительная схема тектонического районирования фундамента Арктики. На ней чехол снят, и, наряду со щитами и складчатыми поясами и в соответствии с имеющимися геолого-геофизическими данными, показаны погребенные структуры с их продолжением под осадками шельфа в прилегающие глубоководные области Арктического бассейна (рис. 19). В основу схемы положены данные по тектонике прибрежной суши и шельфовых островных поднятий и профили ГСЗ, пересекающие область Центрально-Арктических поднятий, она учитывает результаты интерпретации потенциальных полей, состав и возраст пород из обнажений на морском дне.

На схеме показаны границы распространения континентальной и океанической земной коры различного возраста, а также переходной зоны между ними, выделяемой по сейсмическим данным. Возраст геологических структур фундамента определяется временем консолидации континентальной земной коры и её последующей структурно-термальной переработки.

Легенда к схеме (рис. 20) содержит условные обозначения, позволяющие показать: (1) в областях с континентальной корой – архей-палеопротерозойские кратоны (с недеформированными или же переработанными в мезо-неопротерозе и палеозое платформенными чехлами); разновозрастные складчатые пояса; обширные трапповые провинции триасового, мелового и палеогенового возраста; (2) в океанических доменах – распространение спрединговой океанической коры позднего мезозоя и кайнозоя (2–6 км) и утолщенной (до 20–30 км) океанической коры исландского

типа. Аномально толстая (до 30 км) океаническая кора зафиксирована в районе Исландско-Фарерского порога. Стандартная океаническая кора кайнозойского возраста характерна для Евразийского бассейна, района Лабрадорского моря и залива Баффина; реликт недеформированной позднемезозойской коры предполагается, по геофизическим данным, на небольшой площади (500 × 300 км) в центральной части абиссальной Канадской котловины [Chian et al., 2016; Coakley et al., 2016]. Возраст спрединговой коры определен по линейным магнитным аномалиям, утолщенной – по данным изотопного датирования [Tectonostratigraphic Atlas..., 2009].

На границе континентальной и океанической коры локально проявлена «переходная зона», представленная предельно утоненной континентальной корой. Местами, на участках, практически лишенных континентальной коры, по сейсмическим данным, предполагаются коренные выходы мантийных серпентинизированных перидотитов на морском дне и локальные проявления океанического вулканизма. Такая обстановка характерна для пассивных окраин иберийского типа [Whitmarsh et al., 1998]. Кроме того, на схеме показаны некоторые наиболее важные структурные элементы, такие как: граница «континент–океан», сутуры, разломы (сбросы и надвиги), крупные грабены, а также оси спрединга в срединно-океанических хребтах и зоны трансформных разломов.

Схема тектонического районирования фундамента Циркумполярной области составлена с учетом новейших геологических и геохронологических данных по арктической островной и прибрежной суше. Схема позволяет определить геолого-тектоническую позицию рассматриваемого региона Арктики в структурах верхней коры и прогнозировать геологическое строение, возраст структур и степень дислоцированности

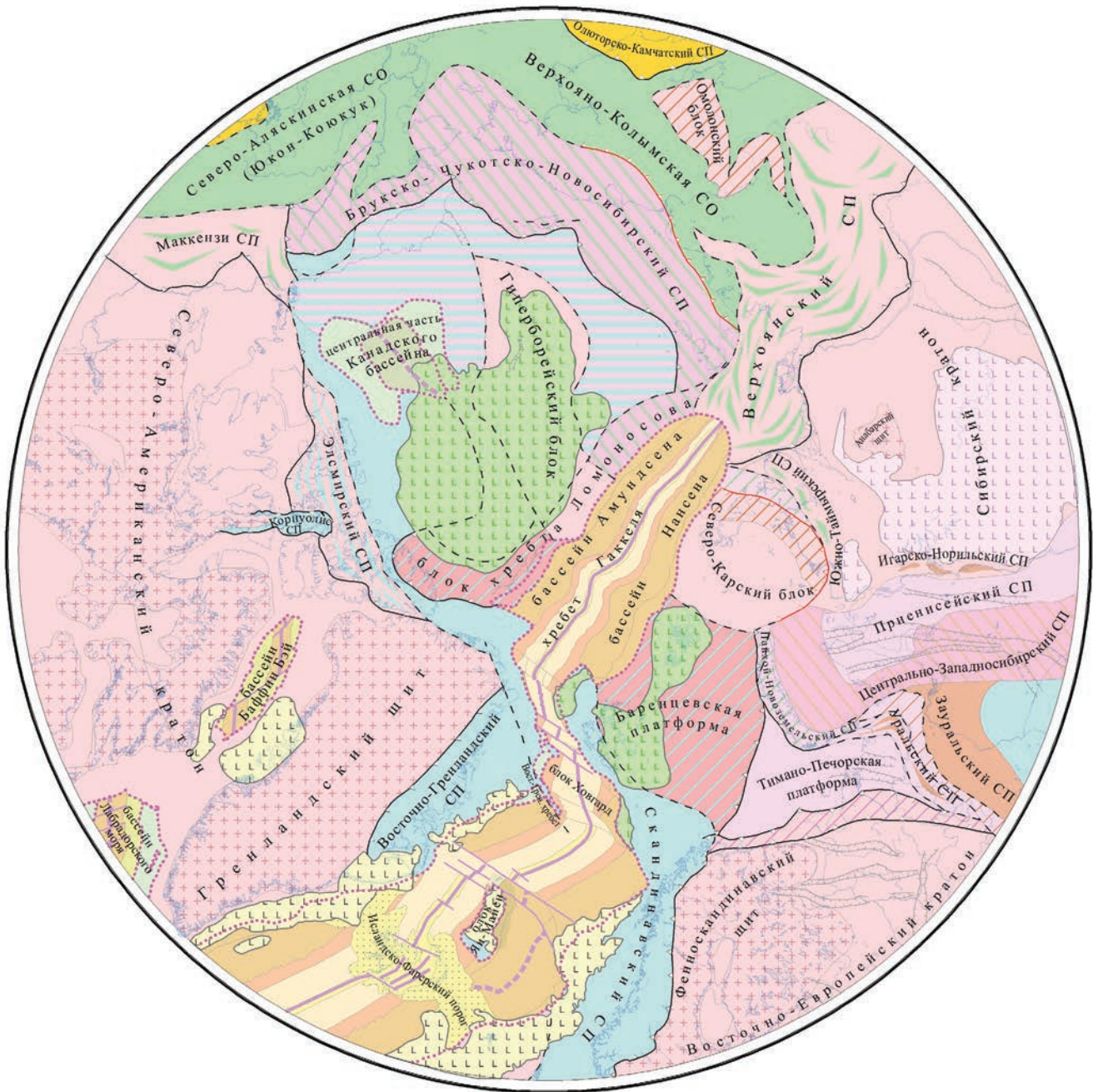


Рис. 19. Схема тектонического районирования фундамента Арктики. Составлена с использованием ряда публикаций [Pease et al., 2014; Harrison et al., 2011; Grantz et al., 2009; Petrov, et al., 2016; Morozov et al, 2013; Poselov et al, 2014; Proskurnin et al., 2012; Vernikovskiy et al., 2013 и др.] и фондовых источников

пород фундамента. При ее составлении использован большой объем новой геологической информации, который был получен в последнее время в результате проведения региональных сейсмических работ на шельфе моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, а также при геологическом изучении Новосибирских островов и острова Врангеля международными экспедициями в 2011, 2012, 2014 гг. [Petrov et al., 2016]. В ходе создания схемы учитывались и данные, полученные геологами Дании, Норвегии, Канады и США в рамках национальных

программ по научному обоснованию границ расширенного шельфа в Арктике. При этом на основе комплексных геолого-геофизических данных скоррелированы и взаимосвязаны основные структурные элементы суши и шельфа Северо-Восточной Арктики с глубоководными структурами области Центрально-Арктических поднятий.

По результатам современных геолого-геофизических исследований установлено, что большая часть Арктического региона имеет континентальную кору [Petrov et al., 2016; Miller et al., 2017].

У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я

КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ КОРА



Рис. 20. Условные обозначения к схеме тектонического районирования фундамента Арктики

Более половины её занимает кора архейско-раннепротерозойского возраста. В пределах Восточно-Европейского, Сибирского и Северо-Американского кратонов сохранились ее первозданные и/или незначительно измененные комплексы, слагающие кристаллические щиты или погребенные в фундаменте докембрийских платформ. Тектоническая активизация краевых частей кратонов, пограничных с мезо-неопротерозойскими

и фанерозойскими аккреционно-коллизийными поясами, вызвала складчатые деформации чехлов древних платформ, преобразованных в элмириды Иннуитского складчатого пояса, мезозиды Верхоянского и Южно-Таймырского складчатых поясов, позднепалеозойские эпикратонные складчатые структуры западных островов Северной Земли и перестройку фронтальной зоны Северо-Карского блока в Северотаймырско-Се-

вероземельский складчатый пояс, а также тиманскую переработку, предполагаемую в древних комплексах глубоко погруженного фундамента Южно-Баренцевского бассейна.

Пост-раннедокембрийские тектонические процессы не только преобразовывали периферические области кратонов, но и существенно наращивали древний континентальный каркас. Гренвилльская кора, переработанная ранне-среднепалеозойским (каледонско-элсмирским) тектогенезом, распознается в северной части о. Элсмир (террейн Пири), на архипелагах Шпицберген и Земля Франца Иосифа, а также в фундаменте Баренцевоморского бассейна и пригренландского отрезка хребта Ломоносова.

Тиманиды Полярного Урала испытали воздействие позднепалеозойской (уральской) орогении, завершившей консолидацию фундамента Западно-Сибирского и Южно-Карского бассейнов. На Пайхой-Новоземельском продолжении тиманского складчатого пояса существенная переработка неопротерозойской коры произошла на раннемезозойском этапе – в позднем триасе–начале юры. В позднем мезозое (поздней юре–неокоме) сформировалась континентальная кора Колымы и южной Чукотки, в дальнейшем частично перекрытая позднеальбско-сеноманским вулканогенным Охотско-Чукотским поясом и нараставшаяся складчато-надвиговыми структурами кайнозойского Олюторско-Камчатского пояса.

Обширный «супертеррейн», простирающийся от центральной Аляски до Новосибирского архипелага через Северную Чукотку и южные части Чукотского и Восточно-Сибирского морей, интерпретируется как коллаж неопротерозойских протолитов, которые были амальгамированы в единый континентальный массив в течение палеозоя. В ходе мезозойской коллизии этого массива с тектоническими структурами Северо-Восточной Азии и Южной Аляски он подвергся тектоно-магматической переработке с возникновением сложнопостроенного позднемезозойского Новосибирско-Чукотско-Брукского складчато-надвигового пояса, значительная часть которого погребена под верхнемеловым-кайнозойским чехлом осадочных бассейнов шельфа.

В пределах внешнего шельфа Восточно-Сибирского и Чукотского морей, Чукотского поднятия, моря Бофорта и северного склона Аляски складчатый фундамент практически повсеместно скрыт под средне(?)–верхнепалеозойским и мезозойско-кайнозойским чехлом, мощность которого местами достигает 16 км (Северо-Чукотский прогиб). Скудные геологические данные (наблюдения на северных островах Де Лонга, бурение в

американской части Чукотского моря, драгирование на Чукотском поднятии) позволяют предположить преимущественно тиманско-каледонский возраст становления коры, местами вмещающей гренвилльские и более древние протолиты.

К типичным структурным элементам в Восточной Арктике, которые продолжаются с суши в область шельфа и далее слагают фундамент глубоководных структур Американо-Сибирской окраины, относятся, например, позднемезозойский Верхоянский складчато-надвиговый пояс и Новосибирско-Чукотская складчатая система.

Структуры Верхоянского складчато-надвигового пояса прослеживаются на шельф моря Лаптевых и вскрываются на юго-восточном окончании п-ова Таймыр (мыс Цветкова). Наблюдения на островах Столбовой и Бельковский Новосибирского архипелага показывают, что фундамент моря Лаптевых сложен преимущественно турбидитами литофаций склона и подножья пассивной континентальной окраины. Верхоянские мезозоиды в фундаменте моря Лаптевых к северу сменяются кайнозойскими структурами Евразийского океанического бассейна и верхоянидами юго-западной части хребта Ломоносова. Мезозойские складчато-надвиговые структуры Новосибирско-Чукотской системы прослеживаются с континентальной суши на шельф и в глубоководную часть Арктического бассейна, обнажаясь на Ляховских и Медвежьих островах.

Широкая полоса позднемезозойской верхоянской складчатости, наложенной на позднедокембрийское основание и палеозойский чехол на восточносибирско-чукотском шельфе имеет запад-северо-западное простираение и ограничена Врангелевско-Брукским фронтальным надвигом. Последний обнаруживается в 50–70 км к северу от о. Врангеля на субмеридиональных сейсмических профилях МОВ ОГТ и прослеживается отсюда далеко на запад–северо-запад (где проходит севернее архипелага Анжу) и на восток – к мысу Лисберн и фронтальному надвигу системы хребта Брукса на Северной Аляске. В её пределах выделяются крупные Котельное, Врангелевско-Геральдское и Сьюард-Восточночукотское поднятия фундамента с байкальской консолидированной корой [Вержбицкий и др., 2015, Кораго, 2014], повторно тектонически переработанной в поздней юре–раннем мелу (неокоме). К северу от Врангелевско-Брукского фронтального надвига располагается область с нерасчлененным неопротерозойско-палеозойским фундаментом – байкальско-тиманским (700–630 млн лет) с каледонско-элсмирской тектонической переработкой (430–350 млн лет).

В пределах позднекембрийского фундамента обнаруживаются следы неравномерной тектонической переработки не моложе элсмирской (D_3-C_1), например, на островах Жанетта и Генриетта в северо-восточной части тектонического блока с поднятием Де-Лонга [Ershova et al., 2015], в эскарпах отрога Геофизиков на юго-востоке хребта Ломоносова [Рекант и др., 2012], в восточной части Чукотского поднятия – в бортах грабена и на склонах хребта Нортвинд [Brumley et al., 2015], в керне пяти параметрических скважин глубиной до 3,6 км, пробуренных в борту позднепалеозойского прогиба Ханна в американском секторе Чукотского моря [Kumar, 2011], а также в горах Романцова на северо-восточной Аляске и в фундаменте Северного Склона Аляски [Moore et al., 2016].

По результатам палеомагнитных, структурных и литолого-стратиграфических исследований 2011–2013 гг. установлено, что Котельное поднятие Новосибирского архипелага (острова Котельный, Фаддеевский, Новая Сибирь) и оба блока поднятия Де-Лонга: юго-восточный (острова Беннетта, Жохова и Вилькицкого) и северо-западный (острова Жаннетты и Генриетты) – имеют одно-возрастный байкальский фундамент [Верниковский и др., 2013; Кораго и др., 2014] и различаются лишь временем и интенсивностью последующей тектонической переработки.

Котельный блок входит в Новосибирско-Чукотскую систему поздних мезозоид и, соответственно, структурно преобразован верхоянским тектогенезом. Осадочный чехол Котельного блока представлен дислоцированными мелководно-морскими карбонатными и терригенными палеозойскими и триас-юрскими отложениями. По сейсмическим данным, эти породы прослеживаются также в южную часть хребта Ломоносова. Позднемезозойская складчатость, метаморфизм и гранитный магматизм проявились здесь в раннем мелу (125–106 млн лет).

Юго-восточный блок поднятия Де-Лонга (о. Беннетта) характеризуется карбонатно-терригенным практически недеформированным чехлом кембрийско-ордовикского возраста. В то же время на северо-востоке архипелага Де-Лонга (на островах Генриетта и Жаннетта) выявлены следы раннекаледонских складчатых деформаций в вулканогенно-осадочных отложениях неопротерозоя–раннего кембрия, местами метаморфизованных в зеленосланцевой фации и прорванных ордовикскими дайками монцодиоритов [Соболев и др., 2014]. Кроме того, в структурах фундамента рассматриваемых поднятий выявляются, по крайней мере, два этапа растяжения, формирования грабенов, сопровождаемых риф-

тогенным щелочно-базальтовым магматизмом. Наиболее отчетливо он проявлен на островах Беннетта и Жохова. Он представлен обширным меловым – апт-альбским (120–110 млн лет) вулканическим ареалом, который принадлежит к широко проявленной в высокоширотной Арктике магматической провинции HALIP (High Arctic Large Igneous Province), и локальными проявлениями плиоцен-четвертичных щелочных базальтов и лимбургитов с K-Ar и Ar-Ar возрастом в интервале 10–1 млн лет. Кайнозойские тектонические движения преимущественно сдвигового характера (эврикская складчатость) наиболее широко проявились на севере Гренландии и западной части архипелага Шпицберген [Pierjohn et al., 2016], на Аляске (в виде пологого detachment с характерной гребневидно-сундучной складчатостью над ним) в южной части мелового прогиба Колвилл [Moore et al., 2016], а также на севере Камчатско-Олюторской складчато-надвиговой системы [Соколов, 2003].

Центральная часть Циркумполярной области представлена Арктическим (Северно-Ледовитым) океаном, который объединяет три домена: северо-восточную часть Атлантического океана, Евразийский и Амеразийский глубоководные бассейны. Для *Северо-Восточной Атлантики* характерно деление океана на сегменты, ограниченные зонами трансформных разломов – Шпицбергенской, Ян-Майенской, Фарерской. Наряду с обычной тонкой мафической корой в океане встречаются плато и хребты с аномально толстой (до 30–35 км) корой исландского типа, а также выявлены изолированные континентальные тектонические блоки, такие как микроконтинент Ян-Майен, Восточно-Гренландский хребет и блок Ховгард [Blischke et al., 2019].

Евразийский бассейн отделен от Северо-Восточной Атлантики Шпицбергенской зоной трансформных разломов (разлом Де Гир). Для Евразийского бассейна характерно полосчатое аномальное магнитное поле с линейными магнитными аномалиями (ЛМА) [Glebovsky et al., 2006], типичное для бассейнов с океанической корой. На схеме выделены эоценовая (56–34 млн лет, 25-13 ЛМА), олигоценная (34–23 млн лет, 13-6 ЛМА), миоцен-плиоценовая (23–2,6 млн лет, 6-2 ЛМА) и современная океаническая кора (рис. 21). В соответствии с моделью линейных магнитных аномалий, кора постепенно омолаживается от периферии к центру бассейна, начиная от магнитохрона C-24 (56 млн лет) вплоть до активной оси спрединга в рифтовой долине срединно-арктического хребта Гаккеля. Последний разделяет абиссальные котловины Нансена

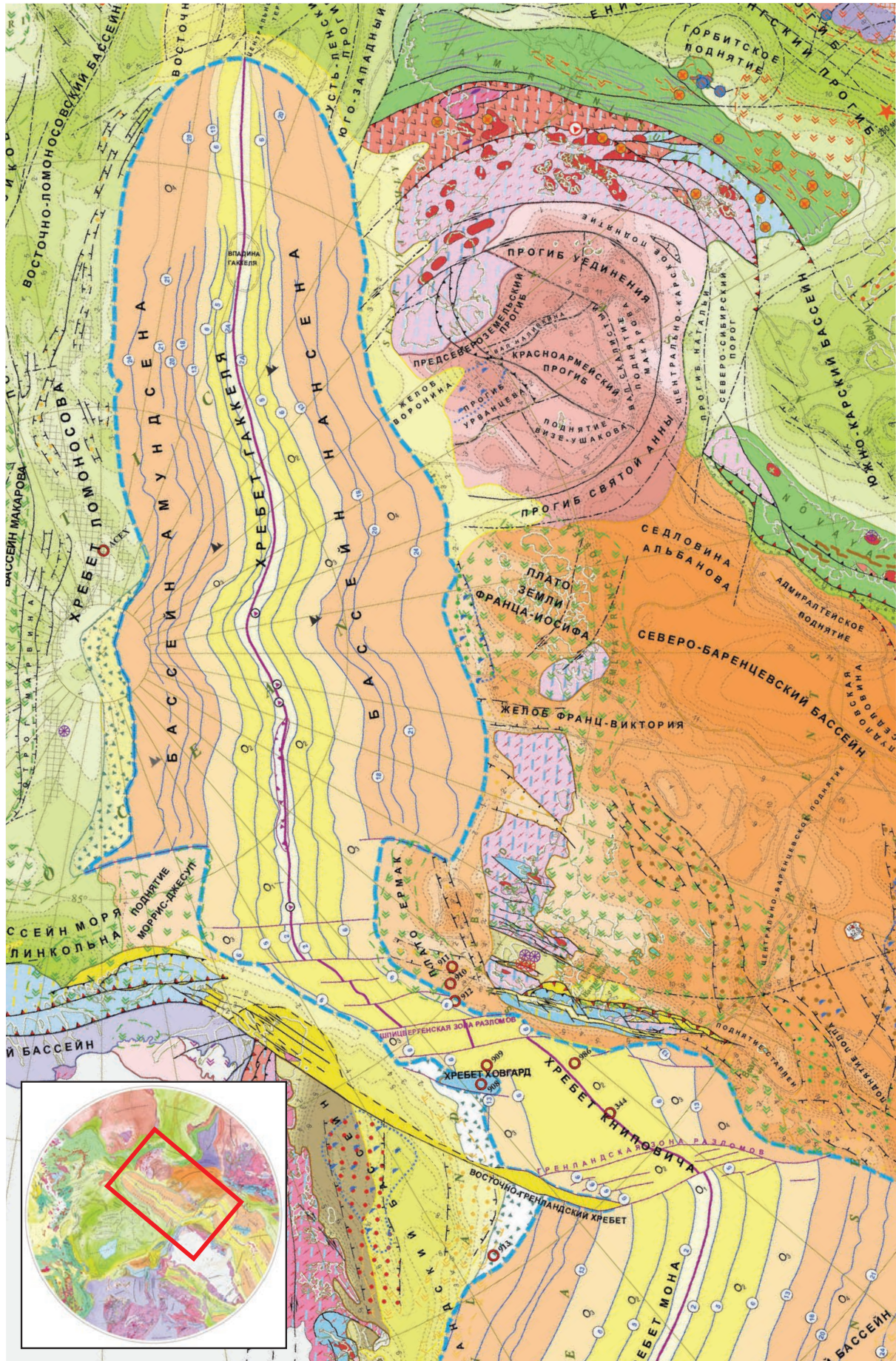


Рис. 21. Евразийский океанический бассейн на Тектонической карте Арктики

и Амундсена (глубиной соответственно до 3,8 и 4,2 км). Хребет Гаккеля длиной 1800 км считается самым медленно-спрединговым хребтом в мире, в связи с чем в Евразийском бассейне отсутствуют трансформные разломы, столь характерные для Атлантического океана. При этом скорость спрединга изменяется от 14,6 мм/год в западной (пригренландской) части хребта до 6,3 мм/год на его восточном (присибирском) окончании [Dick et al., 2003; Liu et al., 2008]. Экспедицией AMORE (Arctic Mid Ocean Ridge Expedition) в 2001 г. выявлено деление западной половины хребта на три сегмента: западный вулканический (располагается в суженной западной части Евразийского бассейна между противоположащими плато Ермак и поднятием Морис Джесуп), центральный амагматичный (Sparse Magmatic Zone) длиной примерно 200 км, примыкающий к вышеупомянутым поднятиям, сложенным утоненной континентальной корой, и восточный вулканический [Michael et al., 2003].

В отличие от западного и восточного сегментов хребта, где были драгированы океанические базальты MORB, габбро и единичные образцы перидотитов, в амагматичном сегменте гарцбургиты и лерцолиты, в различной степени серпентинизированные, доминировали в составе донно-каменного материала, драгированного AMORE. По результатам донного опробования, сейсмических исследований МОВ ОГТ и гравиметрического моделирования предполагается, что этот сегмент хребта испытывает максимальное растяжение, с эксгумацией и серпентинизацией мантийных перидотитов, с небольшими добавками океанических базальтов, и что этот механизм ультрамедленного спрединга действовал в Евразийском бассейне с момента его раскрытия [Lutz et al., 2018]. Изотопные исследования перидотитов (и их пироксенов и оливинов) из авулканического сегмента хребта Гаккеля показали большую геохимическую неоднородность и древние (2 млрд лет) модельные $^{188}\text{Os}/^{187}\text{Os}$ возраста мантийных пород, а также выявили несоответствие между геохимическими признаками высокой степени плавления мантии и наблюдаемой небольшой (1–4 км) мощностью коры, а также малой долей базальтов в составе драгированного донно-каменного материала [Liu et al., 2008; D'Errico et al., 2016]. Авторы предполагают, что история ультрамафитов, драгированных с хребтом Гаккеля, более сложна, чем предполагалось ранее. Докембрийские(?) перидотиты несут следы повторного погружения и пребывания реликтов устойчивых пород в мантии, последующего взаимодействия их с молодыми расплавами, обогащения некогерентными элемен-

тами и кайнозойской эксгумации в вулканических зонах спрединга. Такая геологическая ситуация наиболее вероятна в том случае, когда кайнозойский хребет Гаккеля наследует древнюю сквозную шовную зону. В самое последнее время датские и канадские геофизики (Thomas Funck, John Shimeld, 10-я конференция по Арктическому Океану, Санкт-Петербург, 2018 г.) предположили, по сейсмическим данным, подобную зону с эксгумированными серпентинизированными породами мантии (континентальную окраину иберийского типа) вдоль подножья хребта Ломоносова в широкой пригренландской части котловины Амундсена).

Согласно общепринятым представлениям, Евразийский бассейн начал формироваться на границе палеоцена и эоцена – 56 млн лет назад. Этому предшествовал мел-палеоценовый рифтогенез в море Линкольна и правостороннее сдвиго-раздвиговое (транстензионное) отделение тектонического блока хребта Ломоносова от Баренцевского шельфа и континентального блока, объединяющего плато Ермак и поднятие Морис Джесуп. Разделение этого блока на две части происходит на границе эоцена и олигоцена (35–33 млн лет, C-15-13), и сопряжено с перестройкой спрединговой системы от косоугольного к ортогональному современному направлению [Berglar et al., 2016]. Растяжение сопровождается крутопадающими листрическими сбросами в сторону котловины Нансена и эксгумацией серпентинизированных мантийных перидотитов.

Особенности современного вулканизма на хребте Гаккеля изучались в 2007 г. экспедицией AGAVE (Arctic Gakkel Vents Expedition), которая обнаружила многочисленные вулканы центрального типа в пределах вулканических сегментов хребта со следами недавних эксплозивных извержений стромболианского типа со взрывным выделением газов (в основном CO_2), нелиффицированных вулканокластических отложений, свежих стекловатых базальтов и следов гидротермальной деятельности на дне рифтовой долины на глубине до 4 км. В районе 85° с. ш. на площади 20×15 км в рифтовой долине выявлен крупный вулканический центр, представленный двумя параллельными цепочками таких вулканических конусов диаметром 1000–1250 м (вулканы Оден, Тор, Лоук, Джессика и др.) [Schlindwein et al., 2010; Pontbriand et al., 2012]. Наряду с типичными базальтами срединно-океанических хребтов на присибирском фланге хребта Гаккеля в восточном борту крупной впадины (90×40 км, глубиной до 5,2 км), наложенной на рифтовую долину, обнаружены аномальные по составу щелочные базальты [W. Jokat, 2018].

Принципиально иначе устроен *Амеразийский бассейн*. Он состоит из двух примерно равновеликих структур: области Центрально-Арктических поднятий – Менделеева и Чукотского, хребта Ломоносова (с разделяющими их рифтогенными котловинами Подводников и Макарова) и Канадского глубоководного бассейна (рис. 22). Три четверти этой площади охвачены обширной меловой магматической провинцией Высокоширотной Арктики – (HALIP), и почти вся поверхность морского дна Амеразийского бассейна перекрыта гемипелагическими осадками позднемелового–кайнозойского возраста. Природа земной коры последних, в особенности системы поднятий Менделеева–Альфа, всегда была дискуссионной. До самого последнего времени в Амеразийском бассейне предполагалось широкое распространение океанической коры [Grantz et al., 2009, 2011 и др.]. Эти представления нашли отражение практически на всех тектонических схемах Циркумполярной области – северная полярная врезка к тектонической карте мира масштаба 1:25М, составленной под ред. В. Е. Хаина в 1982 г., тектоническая схема С. С. Драчева 2004 г., обновленная затем в 2008 и 2011 гг.; схемы А. Гранца, А. М. Никишина и др. [Grantz, 2011; Nikishin et al., 2014]. При этом на тектонических схемах, составленных после 2010 г., утверждение о наличии океанической коры в котловине Подводников и других прогибах Амеразийского бассейна уже не было столь категорично. В легендах к этим схемам для Амеразийского бассейна предлагалась уже «...океаническая или крайне растянутая континентальная кора».

В настоящее время в результате проведенных в последнее десятилетие в Канадской котловине сейсмических исследований МОВ-ОГТ и МПВ океаническая кора позднеюрско-раннемелового возраста предполагается (по скоростям преломленных волн) лишь в небольшой центральной части Канадской котловины. Анклав предположительно океанической коры обрамляется широкой переходной зоной иберийского типа, предполагаемой также по сейсмическим данным [Chian et al., 2016; Miller et al., 2017]. Результаты глубинных сейсмических исследований в области Центрально-Арктических поднятий, в том числе с использованием поперечных и обменных волн (параметра V_p/V_s и коэффициента Пуассона) позволяют интерпретировать глубинное строение этих структур не как целиком магматических образований с мафической «igneous crust» [Jackson et al., 2010; Funck et al., 2011], а как континентальных структур с утоненной частично деструктурированной корой, испытавшей тектономагматическую переработку в области влияния

меловой магматической провинции Высокой Арктики – HALIP (High Arctic Large Igneous Province) [Филатова и Хаин, 2009; Lebedeva-Ivanova et al., 2011; Поселов и др., 2007, 2011; Кашубин и др., 2013, 2016, 2018].

Поскольку геофизические данные допускают различную интерпретацию земной коры структур Амеразийского бассейна, решающее значение имеют прямые геологические данные – результаты опробования обнажений на морском дне и изучения донно-каменного материала (ДКМ).

Вплоть до последнего времени весь каменный материал, добываемый драгированием на поднятиях Менделеева–Альфа, за исключением базальтов, большинством ученых считался продуктом ледового или айсбергового дальнего переноса и во внимание не принимался. В то же время российские исследователи доказывали на материалах драгирования, сопутствовавшего геофизическим съемкам в 2000, 2005, 2007 гг. континентальную природу наиболее спорного в этом отношении поднятия Альфа–Менделеева [Кабаньков и др., 2004, 2008; Grikurov et al., 2014].

Ситуация кардинально изменилась в 2012 г., когда в ходе экспедиции «Арктика-2012», организованной Федеральным агентством по недропользованию России (Роснедра), впервые было предпринято систематическое опробование морского дна поднятия Менделеева и прилегающей юго-западной части поднятия Альфа [Морозов и др., 2013; Petrov et al., 2016 и др.]. Всего было опробовано 10 таких участков (рис. 23). При этом сейсмические профили МОВ ОГТ, пройденные через наиболее крутые эскарпы подводных гор, выявили многочисленные выходы коренных пород на поверхность морского дна, которые затем были опробованы. При этом, наряду с традиционными способами (драга, грейфер, боксорер, грунтовые колонки) впервые были применены и нетрадиционные методы опробования с видеосъемкой и визуальными наблюдениями. Они впервые позволили непосредственно увидеть геологическую обстановку на участках пробоотбора. Специальным буровым станком, спускаемым на лебедке на морское дно до глубины 2,5 км, были пробурены три мелкие (до 2 м) скважины. Научно-исследовательская подводная лодка позволяла выбрать местоположение точек для бурения и проводить непосредственное опробование с помощью механических манипуляторов в подножьях эскарпов (рис. 24).

Видеосъемка с бурового станка показала наличие многочисленных обнажений крепких, устойчивых к выветриванию коренных пород на крутых склонах и в привершинных частях

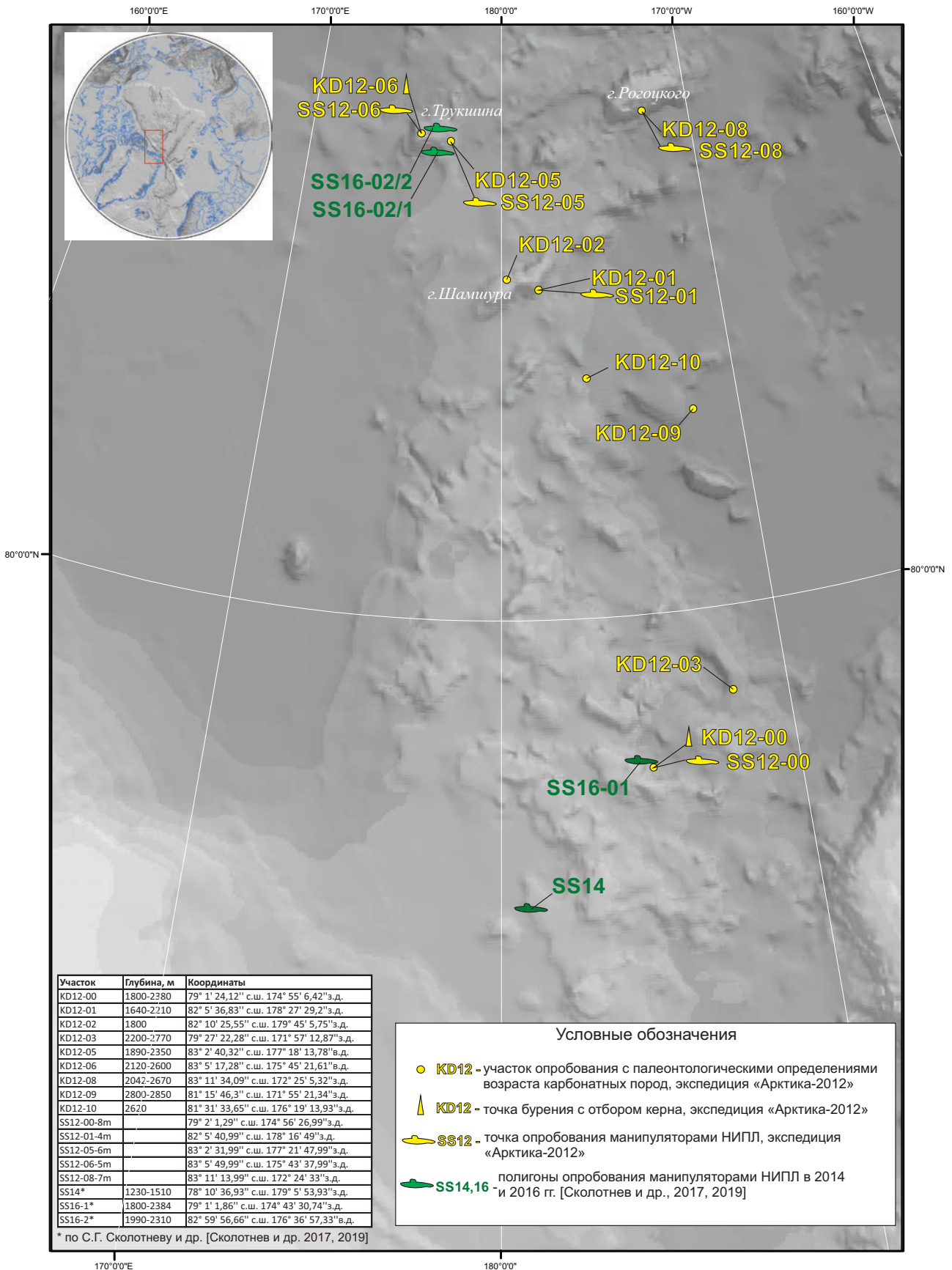


Рис. 23. Схема расположения пунктов опробования поднятия Менделеева-Альфа в 2012, 2014, 2016 гг.



Рис. 24. Глубоководное бурение в юго-западной части хр. Альфа (уч. 06). Глубина скв. KD12-06-21b 2 м, длина керна – 60 см. Керн представлен вулканической брекчией палагонитизированных гиалокластитов трахибазальтового состава: А – обнажение на морском дне в точке бурения KD12-06-21b; Б – колонковое бурение, скв. KD12-06-21b; В – погружение бурового станка с ледокола «Капитан Драницин»; Г, Д – керн палагонитизированной брекчией гиалокластитов трахибазальтового состава

столовых гор. Обнажения сопровождаются «курумами» – каменными элювиальными развалами и глыбово-щебневыми «потоками», приуроченными к ступеням и подножиям эскарпов. В пяти точках с помощью манипуляторов подводной лодки были взяты первые шесть глыб пород: доломиты, кварцевые песчаники и габбродолериты. Именно эти виды пород преобладали и в составе донно-каменного материала, отобранного до этого (и параллельно) драгой и грейфером (рис. 25). Отсюда следует, что подавляющее количество образцов, отобранных на эскарпах обычными методами, представляют собой продукты разрушения местных коренных пород с небольшим переносом обломков, а не ксеногенный каменный материал дальнего переноса айсбергами (“ice rafted debris”).

Новые экспедиции на поднятие Менделеева-Альфа с использованием подводной лодки, принятые специалистами ГИН РАН совместно с

Управлением глубоководных исследований Минобороны, в 2014 и 2016 гг. [Сколотнев и др., 2017], посетили три участка. Один из них – в южной части поднятия Менделеева был новым, а два других совпадали с участками опробования экспедиции «Арктика-2012»: с эскарпом (уч. 00) в центральной части поднятия Менделеева и участками 06 и 05 на крутых склонах горы Трукшина на юго-западном окончании хребта Альфа.

С трех участков в 2014 и 2016 гг. из обнажений коренных пород и элювиально-коллювиальных развалов было получено уже порядка 90 образцов пород, преимущественно доломитов и кварцито-песчаников, а также известняков, кварцевых песчаников, трахиандезитов, базальтов, вулканокластических пород и габбродолеритов. При этом осуществлялась подробная видеодокументация всего процесса пробоотбора. Эти работы убедительно доказали местное происхождение ранее собранного и аналитически исследо-

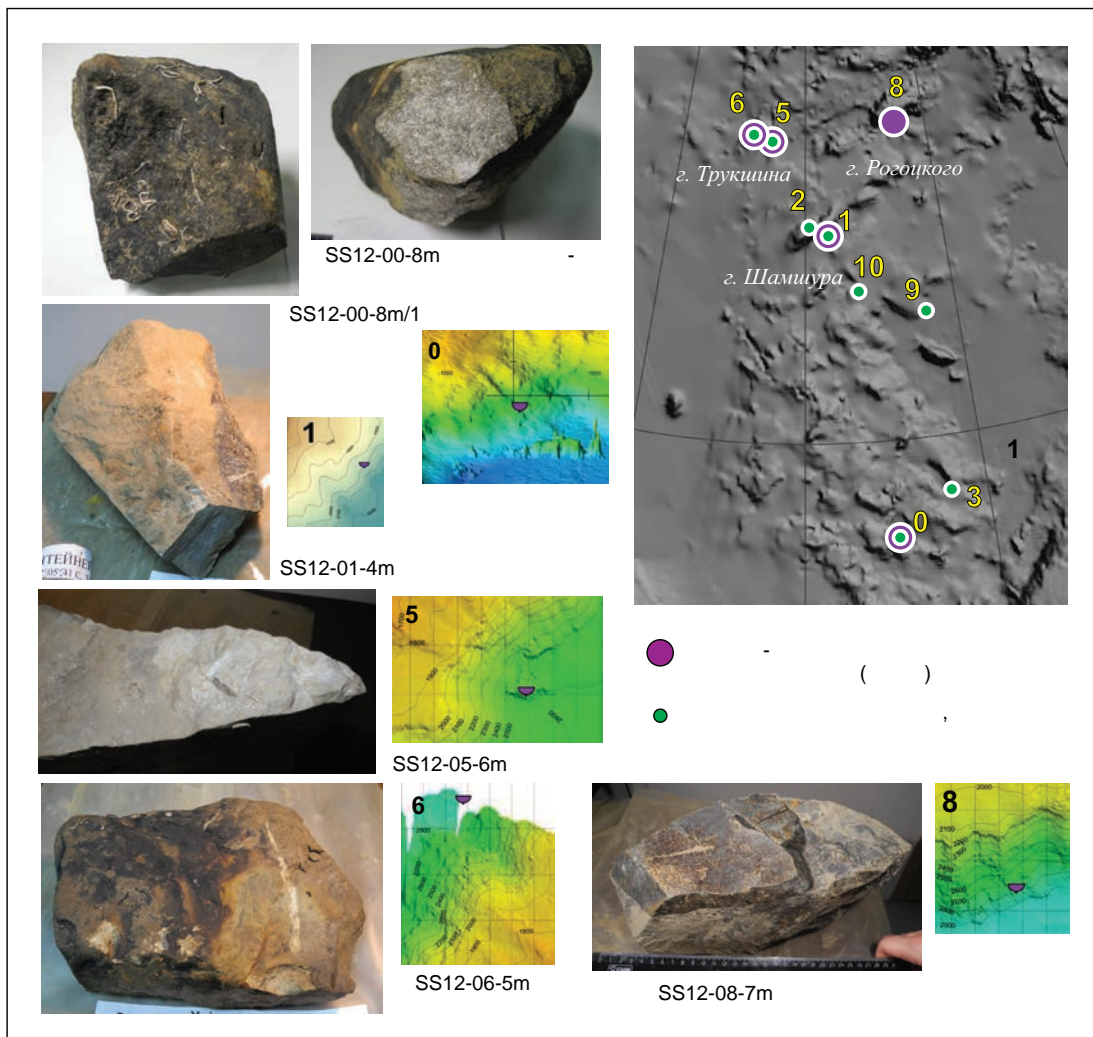


Рис. 25. Результаты опробования эскарпов поднятия Менделеева-Альфа с помощью НИПЛ в ходе экспедиции «Арктика-2012»

ванного донно-каменного материала, блестяще подтвердили и дополнили результаты исследований «Арктика-2012», исключили остававшиеся сомнения в континентальной природе поднятия Менделеева.

Стало очевидным, что большинство подводных гор на поднятии Менделеева представляет собой не вулканические симаунты, а устойчивые к выветриванию подводные выступы палеозойских (и, возможно, позднекембрийских) осадочных пород платформенного чехла кратона, окруженные обломочными шлейфами. Более податливые к выветриванию меловые вулканические породы сохранились в нижних частях крутых склонов, в их подножьях и смежных депрессиях, где были перекрыты рыхлыми гемипелагическими осадками и ныне предполагаются по сейсмическим и магнитометрическим данным.

Палеонтологические исследования карбонатных пород (известняков, доломитизированных известняков и вторичных биокластических доломитов), преобладающих в составе ДКМ всех 10 участков опробования экспедиции «Арктика-2012», выявили присутствие в породах с шести участков органических остатков. Среди них – криноидеи, остракоды, фораминиферы, конодонты, мшанки, кораллы, брахиоподы, головоногие, брюхоногие и двустворчатые моллюски, тентакулиты, трилобиты, телодонты, сколекодонты, спикулы губок, различные палиноморфы, акритархи, строматолиты и известковые водоросли (рис. 26). Эти окаменелости позволили оценить возраст большинства изученных образцов как палеозойский, в интервале поздний ордовик–ранняя пермь [Kossovaya et al., 2018].

Кроме фаунистически охарактеризованных палеозойских карбонатных пород подводной лодкой и драгой было поднято порядка 20 образцов предположительно позднекембрийских строматолитовых мраморизованных доломитов с кристаллической или катакластической структурой и повышенными значениями изотопного стронциевого отношения, по сравнению с заведомо палеозойскими карбонатными породами с поднятия Менделеева и о. Котельный (Новосибирские острова). Палеозойские и позднекембрийские(?) карбонатные породы имеют низкую степень термической зрелости и сформировались в основном в тепловодных шельфовых и прибрежно-лагунных обстановках карбонатной платформы, хотя встречаются и микритовые криноидно-остракодовые и фораминиферовые известняки более глубоководных обстановок.

Изотопное датирование кварцевых песчаников из коллекции экспедиции «Арктика-2012» U-Pb

методом по детритовым цирконам подтвердило наличие пород девонско-каменноугольного возраста, которые, по-видимому, находятся в коренном залегании в переслаивании с разновозрастными карбонатными породами (рис. 27). Кроме того, выявлены более молодые, мезозойские терригенные породы, и, вероятно, более древние, позднекембрийские кварцито-песчаники, пока ещё не обнаруженные в коренном залегании.

Образцы карбонатных пород, отобранных на трех полигонах в 2014 и 2016 гг., аналогичны по составу и видовому набору органических остатков известнякам и биокластическим доломитам из коллекции экспедиции «Арктика-2012» и отличаются лишь более узким стратиграфическим диапазоном в интервале O₃-D₃, в связи с отбором образцов из более локализованных конкретных обнажений [Scolotnev et al., 2019]. Наблюдения с подводной лодки подтвердили наличие переслаивания карбонатных пород и кварцевых песчаников в коренном залегании.

Сопоставление палеозойских карбонатных пород с поднятия Менделеева с известняками и доломитами других районов Арктики показало их литологическое, фациальное и фаунистическое сходство с разновозрастными породами о. Врангель и Чукотской области, а также хребта Нортвинд в Чукотском поднятии («бордерленде») [Grantz, 1998], за тем исключением, что только на склоне этого хребта грунтовыми трубками были подняты обломки карбонатных пород кембрия–раннего ордовика, не известные на поднятии Менделеева, о. Врангеля и на Чукотке.

В то же время и по тем же показателям палеозойские карбонатные породы поднятия Менделеева заметно отличаются от породных ассоциаций Новосибирских островов и Таймыро-Североземельского пояса вплоть до кунгурского века перми, когда фациально-климатические и ландшафтные условия для западного и восточного тектонических блоков выравниваются, что может говорить об их пространственной близости в это время [Kossovaya et al., 2018]. Эти новые данные могут внести изменения в тектоническое районирование Арктического региона и представления о его геодинамической эволюции в палеозое.

Терригенные породы из коллекции экспедиции «Арктика-2012» – это в основном кварцевые песчаники с карбонатным или кремнисто-серпичитовым цементом, палеозойские и мезозойские «зрелые» кварцевые и кварц-аркозовые, нередко косослоистые. Как и карбонатные породы, они представляют собой мелководные шельфовые фации, характерные для платформенных чехлов кратонов. Очевидно сходство между раз-

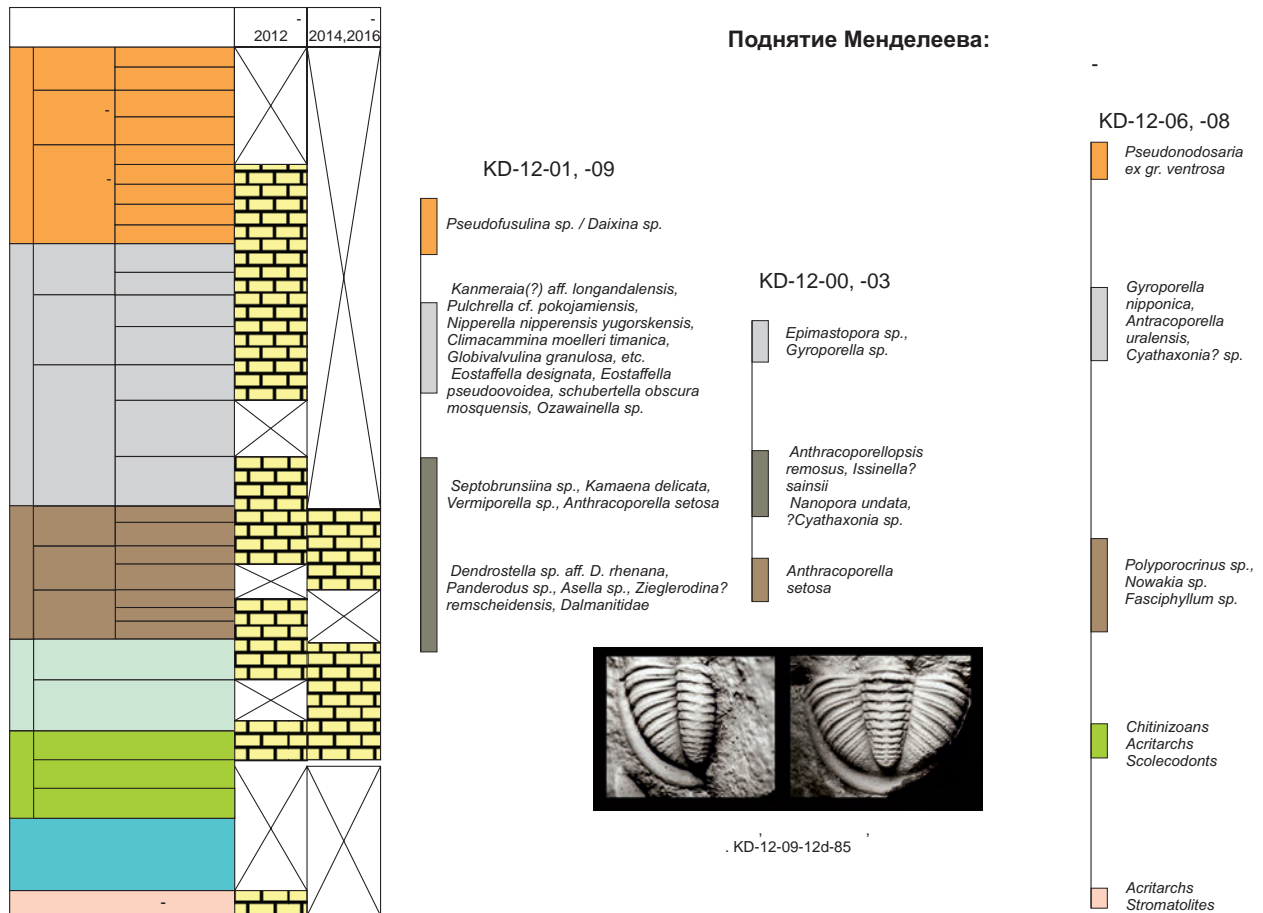


Рис. 26. Палеонтологическая характеристика образцов карбонатных пород из ДКМ поднятия Менделеева-Альфы (по материалам экспедиции «Арктика-2012») и сопоставление палеонтологически охарактеризованных интервалов вероятного разреза платформенного чехла поднятия по данным экспедиций 2012, 2014 и 2016 гг. (по Kossovaya et al., 2018)

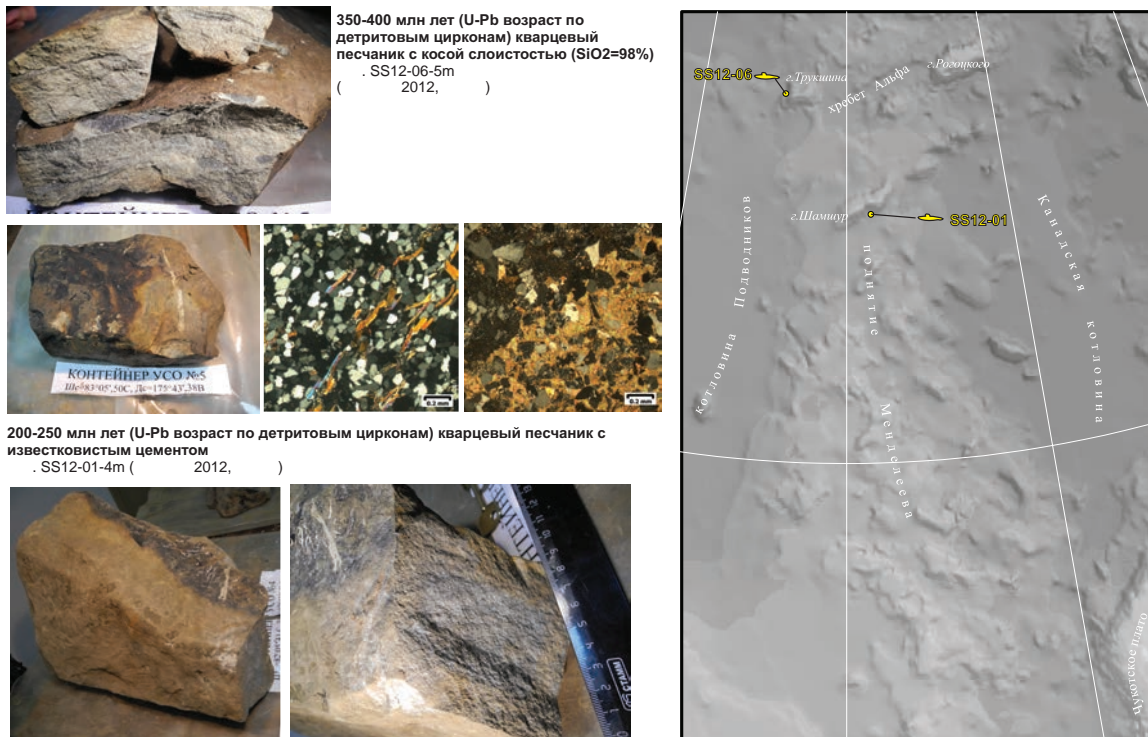


Рис. 27. Кварцевые песчаники из ДКМ с поднятия Менделеева-Альфы; образцы отобраны манипуляторами НИПЛ (экспедиция «Арктика-2012»)

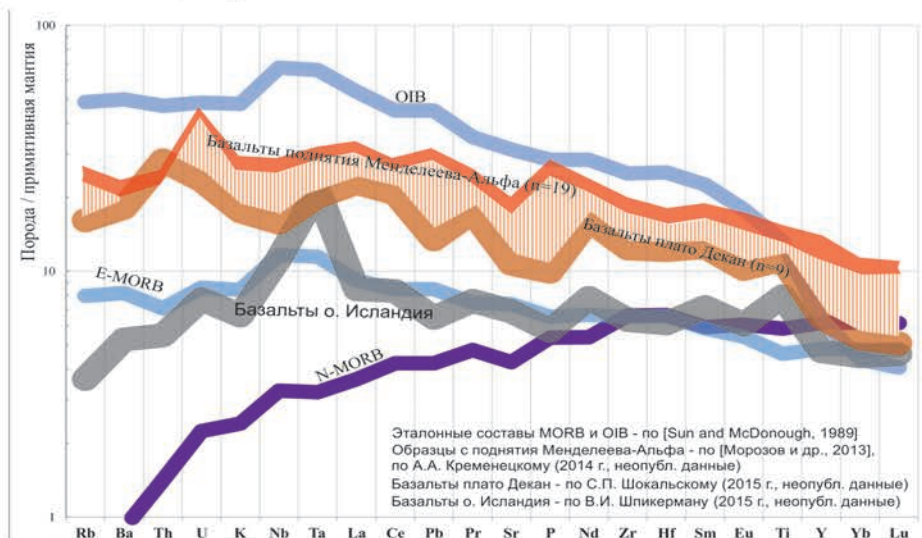


Рис. 28. Образцы и микроструктура трахибазальтов и трахиандезита из керна скважин KD12-06-31b и KD12-06-33b в центральной части поднятия Менделеева-Альфа (уч. 00); возраст пород определен Ar-Ar методом [Mukasa et al., 2015]. По микроэлементному составу породы наиболее близки к позднемеловым континентальным траппам плато Декан

новозрастными песчаниками этого региона по возрастным спектрам детритового циркона. Текстуры, характерные для прибрежных фаций и зрелый состав кварцевых аренигов, реликты каолинита в трещиноватом обломочном кварце свидетельствуют о близости суши (источника обломочного материала). В настоящее время эти породы мелководных прибрежных фаций погружены на глубины 1,5–3,5 км. Обилие докембрийских цирконов свидетельствует о древности питающей провинции, расположенной в области Центрально-Арктических поднятий.

Данные изотопного U-Pb датирования песчаников позволяет проследить основные тектонические события в области сноса обломочного материала, которая, предположительно, располагалась вплоть до позднего мела на месте современного Американо-Азиатского бассейна. Так, для всех образцов характерны пики возраста детритовых цирконов: 400–500 млн лет (раннекаледонская орогения), 950–1250 млн лет (гренвилевская орогения), 1700–2000 млн лет (кратонизация в палеопротерозое, свекофенская орогения), 2500–2700 млн лет (консолидация архейской коры с последующим рециклингом древнейших цирконов).

Магматические породы были встречены или в виде «примеси» обломков позднекембрийских и палеозойских габбродолеритов к каменному материалу, представленному в основном осадочными породами, или же выбурены на нижних площадках ступенчатых эскарпов – это относительно мягкие вулканические породы: трахибазальты, трахиандезиты, цеолитизированные вулканокластические породы, выветрелые вулканические брекчии мелового возраста – 127–73 млн лет (рис. 28). Магматические породы датированы уран-свинцовым методом SHRIMP-II по циркону, самарий-неодимовым и рубидиево-стронциевым методами (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ), а также аргон-аргоновым методом (лаборатории Нью-Гэмпширского университета и Института Геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск) [Верниковский и др., 2014; Mukasa et al., 2015; Petrov et al., 2016]. При этом следует отметить хорошую сходимость результатов Ar-Ar определений раннепалеозойского возраста габбродолеритов по данным обеих упомянутых выше лабораторий, но существенные расхождения между датами вулканических пород – ранне-среднеордовикских (471–467 млн лет, по амфиболу) по В. А. Верниковскому и др. (2014 г.), и меловых (112–73 млн лет, по породе) по данным S. Mukasa и др. (2015 г.), полученным по одним и тем же образцам. По изотопно-геохимическим данным базальты с поднятия Менделеева наиболее близ-

ки к классическим континентальным базальтам плато Декан в Индии.

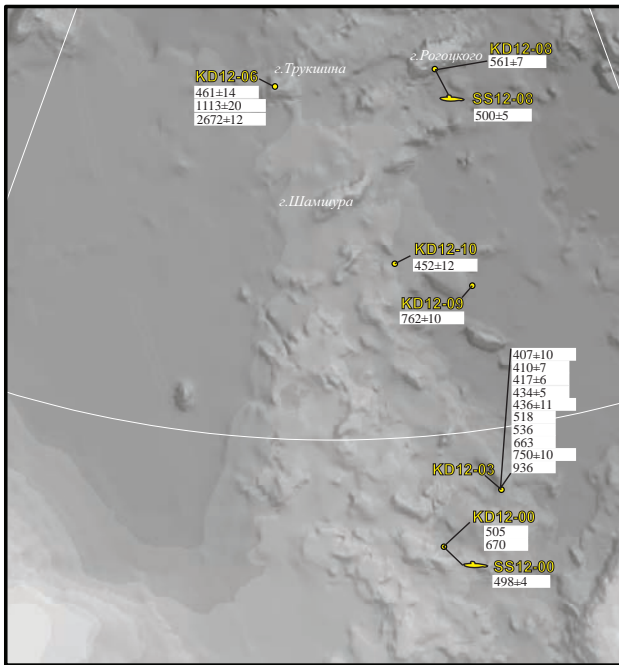
Образцы внутриплитных габбродолеритов, слагающих силлы и дайки в платформенном осадочном чехле поднятия Альфа-Менделеева, в ходе экспедиции «Арктика-2012» датированы U-Pb по циркону (SHRIMP), Sm-Nd и Rb-Sr методами (рис. 29). Они показали неопротерозойский и палеозойский (до девона включительно) возраст. По составу наблюдается максимальное геохимическое сходство габбродолеритов поднятия Менделеева-Альфа с позднепермско-раннетриасовыми сибирскими траппами. Долериты, как и базальты HALIP, часто содержат древние цирконы, захваченные из глубоких уровней континентальной земной коры, пересекаемых базитовыми магмами.

В некоторых эскарпах поднятия Менделеева-Альфа в небольших количествах присутствуют обломки раннекембрийских гнейсогранитов. Более молодые гранитоиды в составе ДКМ этого поднятия не обнаружены, хотя они широко распространены в окружающих Американо-Азиатский бассейн прибрежной суши и на островах. Возможно, что эти породы принадлежат к фундаменту древнего сиалического блока Менделеева, переработанному более молодым (байкальским и каледонским) тектогенезом. В 2007 г. у подножия приполюсной части хребта Ломоносова также были обнаружены обломки гнейсогранитов с возрастом 2,6–2,9 млрд лет [Петров и др., 2010].

Общий набор образцов пород морского дна с юго-западной части хребта Альфа и поднятия Менделеева, и их распределение по участкам опробования указывают на общность состава и возраста пород, то есть на принадлежность поднятий Альфа и Менделеева к единой тектонической структуре (рис. 30).

Поднятие Менделеева и прилегающая юго-западная часть хр. Альфа находятся на краю главного мелового вулканического ареала HALIP. Здесь из-под утоненного прерывистого покрова вулканитов нередко обнажаются в эскарпах подстилающие осадочные породы нижнемезозойско-палеозойского платформенного чехла.

В противоположной части хр. Альфа, вблизи центра плюма, где толщина мелового вулканического панциря наибольшая и, соответственно, максимально проявлена тектоно-магматическая переработка континентальной земной коры, породы акустического фундамента представлены исключительно вулканитами и кайнозойскими вторичными карбонатами. При этом подстилающие палеозойские осадочные породы на поверхность морского дна не выходят. Несмотря



Долерит SS12-00-8m (498±4 млн лет (U-Pb))

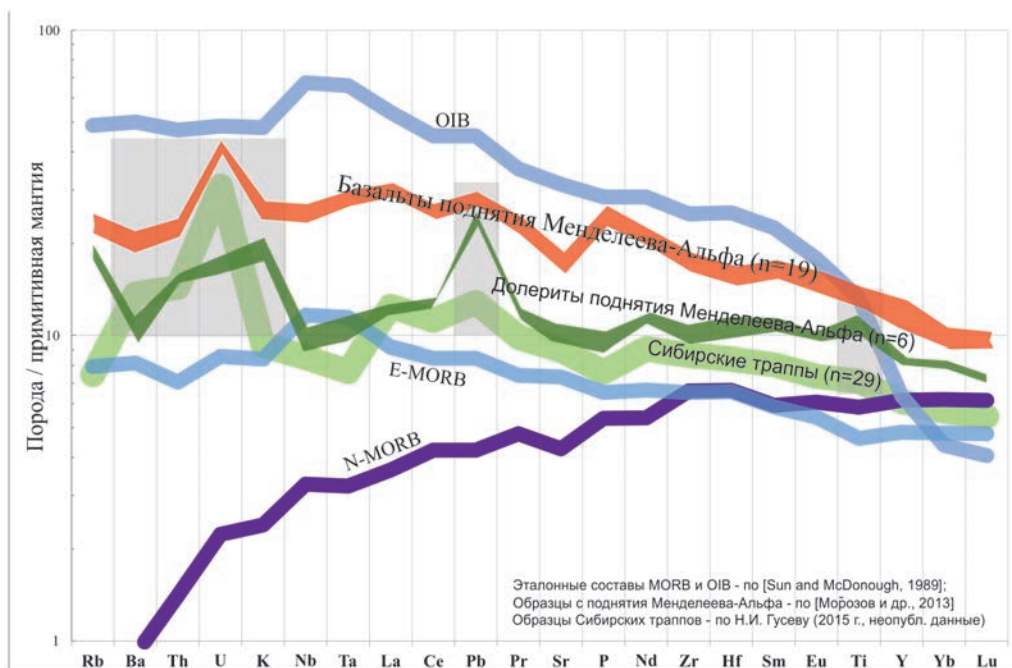


Рис. 29. Габбродолериты неопротерозойского и палеозойского возраста из ДКМ поднятия Менделеева-Альфа (экспедиция «Арктика-2012»). Сопоставление их геохимических особенностей с трендами вулканитов типовых геодинамических обстановок показывает максимальную близость этих пород к сибирским траппам и отличие от меловых вулканитов поднятия Менделеева-Альфа

на эту разницу, которая также отражается в глубинных сейсмических разрезах структур области Центрально-Арктических поднятий, район поднятия Менделеева-Альфа, включая прилегающие Чукотское плато на востоке и восточную часть фундамента котловины Подводников на западе, представляет собой единый крупный кратонный (Гиперборейский) геоблок как древнее ядро неопротерозойского микроконтинента Арктида или

Крокерленд. Общая его структура – раннекембрийское ядро, окруженное складчатыми поясами тиманид, в разной степени переработанных каледонско-элсмирским и мезозойским тектогенезом.

Таким образом, можно сказать, что в настоящее время получены неопровержимые геологические данные о составе и возрасте пород верхней части акустического фундамента поднятия Менделеева, полученные с применением

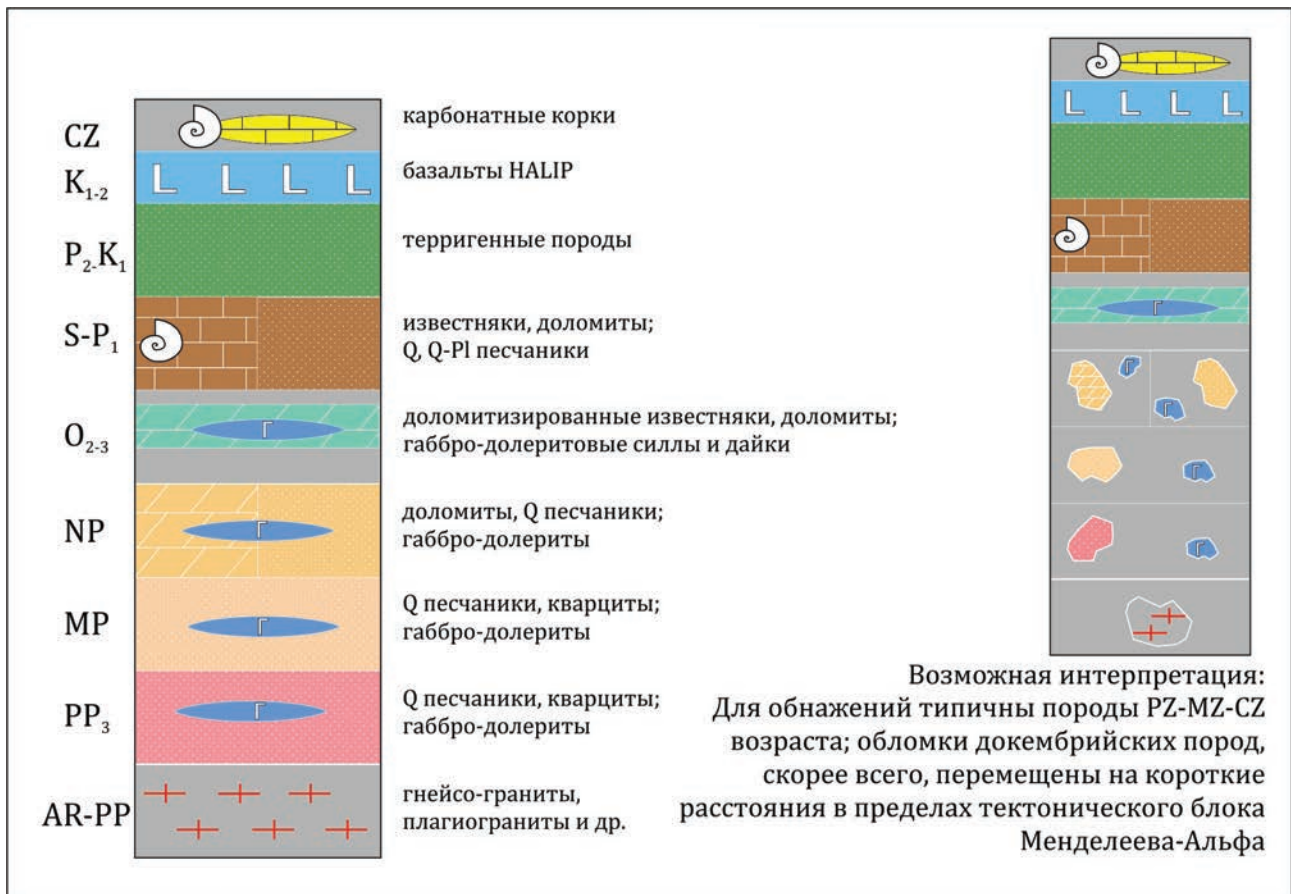


Рис. 30. Полный набор разновидностей пород в составе ДКМ поднятия Менделеева-Альфа (по материалам экспедиции «Арктика-2012») указывает на вероятную кратонную природу фундамента поднятия

подводной лодки и глубоководного колонкового бурения.

Геологическое опробование поднятия Менделеева-Альфа с использованием бурения, подводной лодки и видеосъемки убедительно показало наличие на морском дне коренных обнажений двух типов: (1) меловых вулканитов с признаками мелководного и субаэрального формирования, петрографически и геохимически близких к породам континентальных траппов и рифтов, (2) карбонатных и терригенных пород с признаками мелководно-шельфового происхождения. Осадочные породы залегают полого и субгоризонтально, они недеформированы и неметаморфизованы, что характерно для осадочных отложений стабильных областей. Осадочные толщи платформенного строения и состава прорваны sillами и дайками базитов, что характерно для внутриплитных континентальных платформенных обстановок.

Присутствие крупного раннедокембрийского тектонического блока предполагается также, исходя из данных глубинного сейсмического зондирования на поднятии Менделеева-Альфа (см. рис. 19). По-видимому, блок охватывает и жесткий приполюсный фрагмент хребта Ломо-

носова, расположенный под углом к общему простиранию хребта, поднятие Альфа-Менделеева, а также, возможно, жесткий приполюсный фрагмент хребта Ломоносова и Чукотское поднятие (западную его часть – Чукотское плато).

Характерные для платформенных чехлов осадочные комплексы были обнаружены грунтовыми трубками на крутом восточном склоне хребта Нортвинд [Grantz, et al., 1998]. В отличие от поднятия Менделеева, среди образцов присутствовали нижнепалеозойские (ордовикские и кембрийские) породы, что поддерживает вывод о принадлежности Чукотского поднятия, как и поднятия Менделеева, к структурам с докембрийским фундаментом. Однако в 2009 г. драгированием крутого эскарпа в северной части Чукотского поднятия экспедицией Healy выявлены ортогнейсы, амфиболиты, очковые гнейсы возрастом 530–480 млн лет [Brumley et al., 2014], что говорит о раннекаледонской переработке докембрийского метаморфического фундамента, по крайней мере, в северо-восточной части Чукотского поднятия (в хребте и бассейне Нортвинд).

Докембрийский массив окружен и запечатан складчатыми поясами каледонид и байкалид, которые в значительной мере переработаны палео-

зойскими и меловыми тектономагматическими процессами. Судя по относительно малому количеству обломков гранитоидов и гнейсов, выходы кристаллического фундамента на морское дно очень редки, зато широко представлены осадочные чехлы различного, в основном палеозойского и мезо-кайнозойского возраста, перекрывающие фундамент.

Имеющихся геолого-геофизических данных всё-таки ещё недостаточно для надежной идентификации сейсмостратиграфических комплексов, залегающих ниже акустического фундамента, то есть в той части разреза коры, где вероятны преобразования ее физических свойств под влиянием процессов растяжения и магматизма. На профилях ГСЗ акустический фундамент часто совпадает с поверхностью «метаосадочного» слоя [Поселов и др., 2010; Jackson et al., 2010], геологическая природа которого на разных участках неодинакова.

Ввиду трудности тектонического районирования центральной части Американо-Евразийского бассейна, эта область показана на схеме (рис. 19) как сложенная нерасчлененными комплексами неопротерозойской континентальной коры, подвергшейся сильным изменениям. Тектоническая структура показана только на хребте Ломоносова, где имеющиеся сведения можно увязать с реконструкцией его доспредингового положения по отношению к сопряженной Баренцево-Карской континентальной окраине. Последние данные подтверждают геологические связи обоих флангов хребта с Северо-Американской и Евразийской континентальными окраинами, как на нижнекоровом, так и на верхнекоровом уровнях (по фундаменту и чехлу). Это позволяет сделать вывод о том, что при раскрытии Евразийского бассейна хребет Ломоносова не сильно изменял свое положение относительно этих континентальных массивов [Poselov et al., 2014; Jokat et al., 2013; Jackson et al., 2010].

Важная особенность схемы тектонического районирования состоит в том, что она показывает присутствие континентальной коры в центральных районах Северного Ледовитого океана, обоснованное многочисленными геологическими данными.

Надежные свидетельства присутствия океанической коры в виде четко выраженных структур поздне мелового и кайнозойского спрединга присутствуют лишь в море Баффина, Норвежско-Гренландском и Евразийском бассейнах. На двух небольших участках, расположенных в центре южной части Канадского бассейна и в рифтогенном присдвиговом бассейне Макарова,

имеются лишь неотчетливые косвенные признаки наличия участков мезозойской океанической коры исключительно по геофизическим данным.

В заключение следует сказать, что реализуемые в последнее десятилетие крупные международные проекты, такие как Атлас Геологических карт Циркумполярной области [Smelror, Petrov, 2012; Petrov, Smelror, 2013; 2014] или CALE (Circum-Arctic Lithosphere Evolution) [Miller et al., 2017], а также исследования по программам ECS с целью научного обоснования расширенного континентального шельфа приарктических государств предоставили новый богатый геолого-геофизический материал, который может обеспечить коллективную разработку удовлетворительной модели геологического строения и геодинамической эволюции Арктического региона.

ЛИТЕРАТУРА

- Вержицкий В. Е., Соколов С. Д., Тучкова М. И.* Современная структура и этапы тектонической эволюции острова Врангеля (Российская Восточная Арктика) // Геотектоника. – 2015. – № 3. – С. 3–35.
- Верниковский В. А., Добрецов Н. Л., Метелкин Д. В., Матушкин Н. Ю., Кулаков И. Ю.* Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. – 2013. – № 8. – С. 1083–1107.
- Верниковский В. А., Морозов А. Ф., Петров О. В., Травин А. В., Каиубин С. Н., Шокальский С. П., Шевченко С. С., Петров Е. О.* Новые данные о возрасте долеритов и базальтов поднятия Менделеева: к проблеме континентальной коры в Северном Ледовитом океане // Докл. АН. – 2014. – Т. 454. – № 4. – С. 431–435.
- Кабаньков В. Я., Андреева И. А., Иванов В. Н., Петров В. И.* О геотектонической природе системы Центрально-Арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении // Геотектоника. – 2004. – № 6. – С. 33–48.
- Кабаньков В. Я., Андреева И. А.* О геологической истории глубоководной части Американо-Евразийского суббассейна: 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / Под. ред. В. Л. Иванова. – СПб.: ВНИИОкеангеология. – 2008. – С. 293–305.
- Каиубин С. Н., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Винокуров И. Ю., Андросов Е. А., Гольшиева Ю. С., Ефимова Н. Н., Яварова Т. М., Морозов А. Ф.* Структура земной коры зоны сочленения поднятия Менделеева с Евразийским континентом (по геофизическим данным) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 5–18.
- Каиубин С. Н., Павленкова Н. И., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Шокальский С. П., Эринчек Ю. М.* Типы земной коры Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 5–20.
- Каиубин С. Н., Петров О. В., Артемьева И. М., Морозов А. Ф., Вяткина Д. В., Гольшиева Ю. С., Каиубина Т. В., Мильштейн Е. Д., Рыбалка А. В., Эринчек Ю. М., Сакулина Т. С., Крушнова Н. А.* Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ «Арктика-2012» // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 16–35.
- Кораго Е. А., Верниковский В. А., Соболев Н. Н., Ларионов А. Н., Сергеев С. А., Столбов Н. М., Проскур-*

- нин В. Ф., Соболев П. С., Метелкин Д. В., Матушкин Н. Ю., Травин А. В. Возраст фундамента островов Де-Лонга (архипелаг Новосибирские острова): Новые геохронологические данные // Докл. АН. – 2014. – Т. 457. – № 3. – С. 315–322.
- Морозов А. Ф., Петров О. В., Шокальский С. П., Кащубин С. Н., Кременецкий А. А., Шкатов М. Ю., Каминский В. Д., Гусев Е. А., Грикуров Г. Э., Рекант П. В., Шевченко С. С., Сергеев С. А., Шатов В. В. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 53. – С. 34–55.
- Петров О. В., Морозов А. Ф., Лайба А. А., Шокальский С. П., Гусев Е. А., Розинов М. И., Сергеев С. А., Соболев Н. Н., Корень Т. Н., Сколотнев С. Г., Дымов В. А., Бильская И. В. Архейские граниты на Северном полюсе: Строение и история развития литосферы / Под ред. Ю. Г. Леонова. – М.: Paulsen, 2010. – С. 192–203.
- Поселов В. А., Верба В. В., Жолондз С. М. Типизация земной коры Центрально-Арктических поднятий Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 2007. – № 4. – С. 48–59.
- Поселов В. А., Аветисов Г. П., Каминский В. Д. и др. Российские арктические геотраверсы. – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология», 2011. – 172 с.
- Рекант П. В., Пяткова М. Н., Николаев И. Д., Талденкова Е. Е. Донно-каменный материал отрога Геофизиков как петротип фундамента южной части хребта Ломоносова (Северный Ледовитый океан) // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 4. Специальный выпуск. – М.: ГЕОС, 2012. – С. 29–40.
- Сколотнев С. Г., Федонкин М. А., Александрова Г. Н. Геологический разрез акустического фундамента юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Т. 2. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академик Ю. М. Пушаровского. – М.: ГЕОС, 2017. – 319 с.
- Соболев Н. Н., Метелкин Д. В., член-корреспондент РАН Верниковский В. А., Матушкин Н. Ю., Прокопьев А. В., Ершова В. Б., Шманяк А. В., Петров Е. О. Первые сведения о геологии острова Жаннетты (архипелаг Де-Лонга, Новосибирские острова) // ДАН. – 2014. – Т. 459. – № 5. – С. 595–600.
- Соколов С. Д. Аккреционная тектоника на современном этапе // Геотектоника. – 2003. – № 1. – С. 3–18.
- Филатова Н. И., Хаин В. Е. Структуры Центральной Арктики и их связь с мезозойским арктическим плюмом // Геотектоника. – 2009. – № 6. – С. 24–51.
- Blischke A., Stoker M. S., Brandsdóttir B., Hopper J. R., Peron-Pinvidic G., Ólavsdóttir J., Japsen P. The Jan Mayen microcontinent's Cenozoic stratigraphic succession and structural evolution within the NE-Atlantic // Marine and Petroleum Geology. – 103 (2019). – Pp. 702–737.
- Brumley K. Geologic history of the Chukchi Borderland, Arctic Ocean: Stanford, California, Stanford University, Ph. D. Thesis, 2014. – 242 p.
- Brumley K., Miller E. L., Konstantinou A., Grove I M., Meisling K. E., Mayer L. First bedrock samples dredged from submarine outcrops in the Chukchi Borderland, Arctic Ocean. Geosphere. – 2015. – 11 (1). – P. 76–92.
- Bernard Coakley B., Brumley K., Lebedeva-Ivanova N., Mosher D. Exploring the geology of the central Arctic Ocean; understanding the basin features in place and time // Journal of the Geological Society, 2016. doi:10.1144/jgs2016-082.
- Chian D., Jackson H. R., Hutchinson D. R., Shimeld J. W., Oakey G. N., Lebedeva-Ivanova N., Li Q., Saltus R. W., Mosher D. C. Distribution of crustal types in Canada Basin, Arctic Ocean // Tectonophysics, 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.01.038.
- D'Errico M. E., Warren J. M., Godard M. Evidence for chemically heterogeneous Arctic mantle beneath the Gakkel Ridge // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 174 (2016). – P. 291–312. http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2015.11.017.
- Dick Henry J. B., Lin J., Schouten H. An ultraslow-spreading class of ocean ridge // NATURE. – Vol. 426. 27 November 2003. – P. 405–412.
- Drachev S. S. Tectonic setting, structure and petroleum geology of the Siberian Arctic offshore sedimentary basins / A. M. Spencer, A. F. Embry, D. L. Gautier, A. V. Stoupakova and K. Sørensen (eds.) // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc. – London. – 2011. – Mem. 35. – P. 369–394.
- Erslova V. B., Prokopiev A. V., Khudoley A. K., Soboлев N. N., Petrov E. O. Detrital zircon ages and provenance of the Upper Paleozoic successions of Kotel'ny Island (New Siberian Islands Archipelago) // Lithosphere. – 2015. – 7. – P. 40–45.
- Funck T., Jackson, H. R., Shimeld, J. The crustal structure of the Alpha Ridge at the transition to the Canadian Polar Margin: Results from a seismic refraction experiment // J. Geophys. Res, 2011. 116. B12101, doi:10.1029/2011JB008411.
- Glebovsky V. Yu., 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. – Vol. 40. – No. 4. – P. 263–281.
- Grantz A., Clark D., Phillips R., Srivastava S. Phanerozoic Stratigraphy of Nortwind Ridge, magnetic anomalies in the Canada Basin and the geometry and timing of rifting in the Amerasia Basin, Arctic Ocean // Geol. Soc. Am. Bull., 1998. – V. 110. – № 6. – P. 801–820.
- Grantz A., Scott R. A., Drachev S. S., Moore T. E. Maps showing the sedimentary successions of the Arctic Region (58–64 to 90 degrees N) that may be prospective for hydrocarbons. American Association of Petroleum Geologists GIS-UDRIL Open-File Spatial Library, 2009. http://gisudril.aapg.org/gisdemo/.
- Grantz A., Hart P. E., Childers V. A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean / A. M. Spencer, A. F. Embry, D. L. Gautier, A. V. Stoupakova, K. Sørensen (eds.) // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35. – P. 771–799.
- Grikurov G., Petrov O., Shokalsky S., Rekant P. V., Krylov A., Laiba A., Belyatsky B., Rozinov M., Sergeev S. Zircon geochronology of bottom rocks in the central Arctic Ocean: analytical results and some geological implications. Proceedings of the International Conference on Arctic Margins VI, Fairbanks, Alaska, May 2011. Press VSEGEI, SPb., 2014. – P. 211–232.
- Harrison J. C., St-Onge M. R., Petrov O. V., Strelnikov S. I., Lopatin B., Wilson F., Tella S., Paul D., Lynds T., Shokalsky S., Hulst C., Bergman S., Solli A., Jepsen H. F. Geological map of the Arctic. Geological Survey of Canada, Ottawa. 2011. – P. 9.
- Jackson H. R., Dahl-Jensen T., the LORITA working group. Sedimentary and crustal structure from the Ellesmere Island and Greenland continental shelves onto the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean // Geophys. J. Int. – 2010. – 182. – P. 11–35.
- Jokat W., Ickrath M., O'Conno J. Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev ridges: Constraints on the geological evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean // Geophysical research letters. – 2013. – Vol. 40. –

- P. 5047–5051, doi:10.1002/grl.50975, 2013. Int. conf. in Arctic Margins VIII. Stockholm, June 2018.
- Jokat W., O'Connor J., Hauff F., Koppers A., Miggins D. Focused magmatism at extreme slow spreading rates in the Arctic Ocean close to the Laptev Sea.
- Kossovaya O. L., Tolmacheva T. Yu., Petrov O. V., Isakova T. N., Ivanova R. M., Mirolyubova E. S., Rekant P. V., Gusev E. A. Palaeozoic carbonates and fossils of the Mendeleev Rise (eastern Arctic): a study of dredged seafloor material // Journal of Geodynamics. – 2018. – Vol. 120 (October). – P. 23–44.
- Kumar N., Granath J. W., Emmet P. A., Helwig J. A. & Dinkelman M. G. Chapter 33. Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey / A. M. Spencer, A. F. Embry, D. L. Gautier, A. V. Stoupakova & K. Sørensen (eds) // Arctic Petroleum Geology. Geological Society, London. – 2011. – Memoirs. 35. – P. 501–508.
- Lebedeva-Ivanova N. N., Gee D. G., Sergeev M. B. Crustal structure of the East Siberian continental margin, Podvodnikov and Makarov basins, based on refraction seismic data (TransArctic 1989–1991) / A. M. Spencer, A. Embry, D. Gautier, A. Stoupakova, & K. Sørensen (eds.) // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35 (26). – P. 395–411.
- Liu Ch., Jonathan E. Snow J. E., Hellebrand E., Brüggemann G., Handt A., Anette Büchl, Hofmann A. W. Ancient, highly heterogeneous mantle beneath Gakkel ridge, Arctic Ocean // NATURE. 2008. – Vol. 452. 20 March 2008. www.nature.com/doi/10.1038/nature06688.
- Lutz R., Franke D., Berglar K., Heyde I., Schreckenberger B., Klitzke P., Geissler W. H. Evidence for mantle exhumation since the early evolution of the slowspreading. Gakkel Ridge, Arctic Ocean // Journal of Geodynamics. – 2018. https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.01.014
- Michael P. J., Langmuir C. H., Dick H. J. B., Snow J. E., Goldsteink S. L., Graham D. W., Lehnert K., Kurras G., Jokat W., Muhe R., Edmonds H. N. Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean // Nature. – 2003. – Vol. 423. – № 26. – P. 956–961.
- Miller E. L., Meisling K. E., Akinin V. V., Brunley K., Coakley B. J., Gottlieb E. S., Hoiland C. W., O'Brien T. M., Soboleva A., Ttoro J. Circum-Arctic Lithosphere Evolution (CALE) Transect C: displacement of the Arctic Alaska–Chukotka microplate towards the Pacific during opening of the Amerasia Basin of the Arctic / V. Pease & B. Coakley (eds) // Circum-Arctic Lithosphere Evolution. Geological Society, London, Special Publications, 2017. 460, https://doi.org/10.1144/SP460.9.
- Moore T. E., Box S. E. Age, distribution and style of deformation in Alaska north of 60°N: Implications for assembly of Alaska // Tectonophysics. – 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.06.025.
- Morozov A. F., Petrov O. V., Shokalsky S. P., Kashubin S. N., Kremenetsky A. A., Shtakov M. Yu., Kaminsky V. D., Gusev E. A., Grikurov G. E., Rekant P. V., Shevchenko S. S., Sergeev S. A., Shatov V. V. New geological evidence grounding the continental nature of the Central Arctic Uplifts Region // Geology and metallogeny. – 2013. – 53. – P. 34–56.
- Mukasa S. B., Mayer L. A., Aviado K., Bryce J., Andronikov A., Brumley K., BlicherToft J., Petrov O. V., Shokalsky S. P. Alpha / Mendeleev Ridge and Chukchi Borderland ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology and Geochemistry: Character of the First Submarine Intraplate Lavas Recovered from the Arctic Ocean // Geophysical Research Abstracts. – 2015. – 17. EGU2015-8291-2.
- Nikishin A. M., Malyshev N. A., Petrov E. I. Geological Structure and History of the Arctic Ocean. EAGE Publications bv, 2014. PO Box 59, 3990, DB HOUTEN, The Netherlands. – P. 88.
- Pease V. L., Kuzmichev A. V., Danukalova M. K. The New Siberian Islands and evidence for the continuation of the Uralides, Arctic Russia // J. Geol. Soc. – 2014. – 172. – P. 1–4.
- Petrov O. V., Smelror M., Shokalsky S., Morozov A., Kashubin S., Gurikurov G., Sobolev N. and Petrov E. A new international tectonic map of the Arctic (TeMAR) at 1:5 M scale and geodynamic evolution in the Arctic region // Geophysical research Abstracts. – 2013. – 15. EGU2013-13481, EGU General Assembly.
- Petrov O. V., Smelror M. Uniting the Arctic Frontiers – International cooperation on Circum-Arctic geological and geophysical maps // Polar Rec. 00 (0). – 2014. – P. 1–6.
- Petrov O., Smelror M., Morozov A., Shokalsky S., Kashubin S., Artemieva I. M., Sobolev N., Petrov E., Ernst R. E., Sergeev S. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // Earth-Science Reviews. Elsevier. – 2016. – 154. – P. 29–71.
- Piepjohk K., Werner von Gosen & Tessensohn F. The Eureka deformation in the Arctic: an outline // Journal of the Geological Society. – 2016. – 173(6). P. 1007
- Proskurnin V. F., Petrov O. V., Sobolev N. N., Remizov D. N., Vinogradova N. P., Yudin S. V. First data on the manifestation of Oligocene-Lower Cretaceous continental magmatism in the Belkovsky Island (New Siberian Islands) // Region. geology and metallogeny. – 2012. – 52. – P. 49–58.
- Pontbriand C. W., S. A. Soule, R. A. Sohn, S. E. Humphris, C. Kunz, H. Singh, K. Nakamura, M. Jakobsson, and T. Shank. Effusive and explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, 85 E // Geochem. Geophys. Geosyst., 2012. – 13. – Q10005, doi:10.1029/2012GC004187.
- Poselov V., Butsenko V., Chernykh A., Grikurov G., Jackson H. R., Potter D. P., Oakey G., Shimeld J., Marcussen C. The structural integrity of the Lomonosov Ridge with the North American and Siberian continental margins // Proceedings of the Sixth International conference on Arctic margins (ICAM VI), 2014.
- Schindwein V., and C. Riedel. Location and source mechanism of sound signals at Gakkel ridge, Arctic Ocean: Submarine Strombolian activity in the 1999–2001 volcanic episode // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2010. – 11. – Q01002. doi:10.1029/2009GC002706.
- Skolotnev S., Aleksandrova G., Tolmacheva T., Kurilenko A., Raevskaya E., Rozhnov S., Petrov E., Korniychuk A. Fossils from seabed rocks: Implications for the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (Arctic Ocean) // Marine Geology. – 2019. – 407. – P. 148–163.
- Smelror M., Petrov O. V. Uniting the Arctic – The new generation of Circum-Arctic geological and geophysical maps. GeoExpro. 2012. – 9 (5). – 46. – P. 80–85.
- Tectonostratigraphic Atlas of the North-East Atlantic region / Eds: J. R. Hopper, Th. Funk, M. Stoker, U. Arting, G. Peron-Pinvidic, H. Doornenbal, C. Gaina, 2009. – 338 p.
- Vernikovskiy V. A., Metelkin D. V., Tolmacheva T. Yu., Malyshev N. A., Petrov O. V., Sobolev N. N., Matushkin N. Yu. On the problem of paleotectonic reconstructions in the Arctic and the tectonic unity of the New Siberian Islands terrane: New paleomagnetic and paleontological data // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. – 2013. – 451 (4). – P. 423–429.
- Whitmarsh R. B., Beslier M.-O., Wallace P. J. et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. – 1998. – Vol. 173.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ АРКТИКИ

О. В. Петров, С. Н. Кашубин, С. П. Шокальский, Е. О. Петров

Создание тектонической карты Арктики и сопутствующие исследования позволили приступить к формированию современной тектонической модели Арктического региона. Установлено, что структуры Американо-Евразийского бассейна представлены в основном континентальной корой. Небольшой реликт меловой океанической коры предполагается лишь в южной части Канадской котловины; область Центрально-Арктических поднятий располагается целиком в пределах Северо-Американской континентальной плиты, следовательно, все современные тектонические процессы в ней относятся к внутриплитным. Значительную часть современной Циркумполярной области занимает эпигренвильский кратон с включением блоков раннедокембрийской земной коры, известный как Гиперборейя, Арктида, Крокерленд. Общая структура и геодинамическая эволюция Арктического бассейна определяется взаимодействием Северо-Американской, Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит. В раннемеловое время граница между Северо-Американской и Евразийской плитами совпала с континентальным рифтом в пределах современной Канадской котловины. В палеогене изменение кинематики литосферных плит привело к спредингу и формированию Арктического океана в районе хребта Гаккеля. В настоящее время современная граница Северо-Американской и Евразийской плит формируется внутри Евразийской плиты вдоль рифтовых прогибов в море Лаптевых и Момской рифтовой зоны.

Ключевые слова: Границы литосферных плит, Циркумполярная область, континентальная кора, внутриплитные тектонические процессы

В результате геологических и тектонических исследований в рамках работ по созданию Тектонической карты Арктики (TeMAr) и Тектоно-стратиграфических Атласов восточных районов России и северо-востока Атлантического региона [Tectonostratigraphic Atlas, 2009] были получены и систематизированы новые данные. Это позволило по-новому посмотреть на сложившиеся представления о положении и эволюции границ литосферных плит в пределах Арктического региона и северного полушария Земли (рис. 31).

Индикатором современных тектонических процессов на границах литосферных плит является современная сейсмичность (рис. 32). Пояса мелкофокусных землетрясений в зоне спрединга Срединно-Атлантического хребта и хребта Гаккеля на границе Северо-Американской и Евразийской литосферных плит образуют узкую зону сейсмической активности, для которой характерно неглубокое залегание очагов землетрясений, не более 35–45 км. Широкая полоса глубокофокусных землетрясений очерчивает границы океанической Тихоокеанской литосферной плиты. Здесь находятся самые глубокие очаги землетрясений, до 300 км и глубже. На континентальном шельфе моря Лаптевых и на суше Северной Евразии граница Северо-Американской и Евразийской литосферных плит отмечается мелкофокусная сейсмическая активность с рассеянным распределением эпицентров землетрясений (www.iris.edu).

Современное тектоническое строение Арктики определяется взаимодействием трех литосферных плит: двух континентальных – Северо-Американской и Евразийской – и Тихоокеанской океанической. Разная скорость погружения Тихоокеанской океанической плиты под Северо-Американскую и Евразийскую плиты определяет структурные и возрастные различия границ литосферных плит. На восточной и западной границах Тихоокеанской плиты по-разному проявляются процессы субдукции. На западной окраине Тихоокеанской плиты в результате её взаимодействия с Евразийской плитой наблюдается образование островных дуг и окраинных бассейнов. Для восточной окраины Тихого океана характерны субдукционные процессы с пологим погружением океанической плиты и формированием береговых хребтов активной окраины андийского типа. Возраст океанической коры Тихоокеанской плиты со стороны смежных Северо-Американской и Евразийской литосферных плит различен, что обусловлено асимметричным расположением Срединно-океанического хребта. С Евразийской плитой граничит более древняя, юрско-меловая, окраина Тихоокеанской плиты, с Северо-Американской – более молодая – палеоген-неогеновая.

В связи с разными скоростями погружения Тихоокеанской океанической плиты под Северо-Американскую и Евразийскую континентальные плиты положение границы между последними в течение позднего мезозоя и кайнозоя изме-

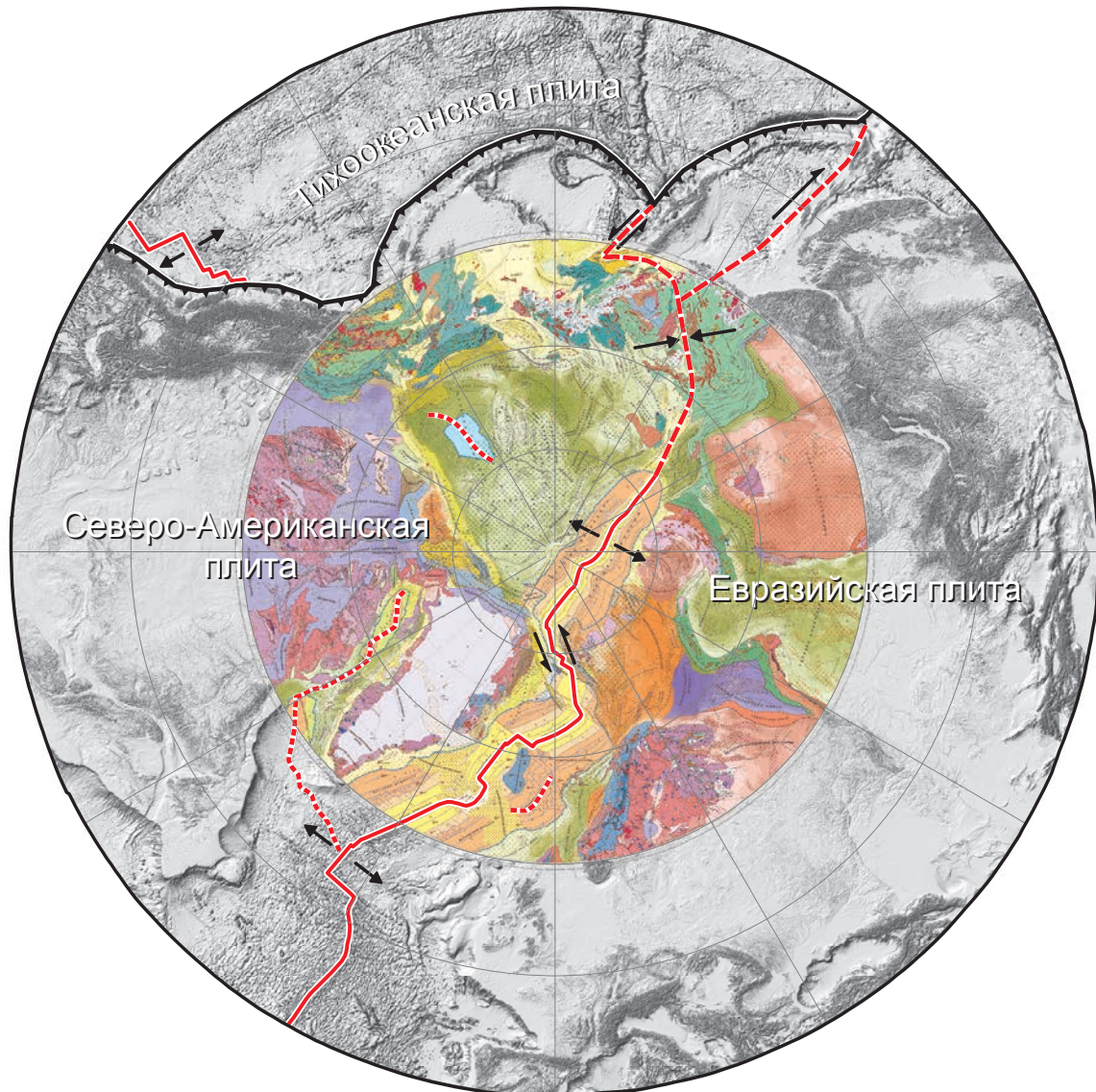


Рис. 31. Тектоническая карта Арктики (TeMAr), наложенная на батиметрическую карту северного полушария Земли с указанием границ трех литосферных плит: двух континентальных – Северо-Американской и Евразийской и одной океанической – Тихоокеанской

нялось. В раннемеловое время граница между Северо-Американской и Евразийской плитами, скорее всего, совпадала с зарождающимся континентальным рифтом в пределах современной Канадской котловины. С этим этапом связано формирование высокоширотной меловой магматической провинции HALIP, представленной проявлениями толеитового и щелочного магматизма в районе Свальбарда, на Земле Франца-Иосифа, в Арктической Канаде и на поднятии Менделеева-Альфа.

В раннем палеогене изменение кинематики Северо-Американской и Евразийской плиты привело к спредингу и началу формирования молодого Арктического океана (в районе хребта Гак-

келя), представленного Евразийским бассейном, отчетливо выраженным на картах мощности земной коры (рис. 33), типов земной коры (рис. 34) и в потенциальных полях (рис. 35). С начальной стадией континентального рифтогенеза и появлением новой границы Северо-Американской и Евразийской литосферных плит связаны проявления щелочно-базальтового магматизма на севере Гренландии и на Новосибирских островах.

Котловины Нансена и Амундсена подстилаются молодой океанической корой. Тонкая (6–8 км) земная кора в котловине Амундсена имеет двухслойную структуру [Petrov et. al., 2016]. Относительно тонкий низкоскоростной

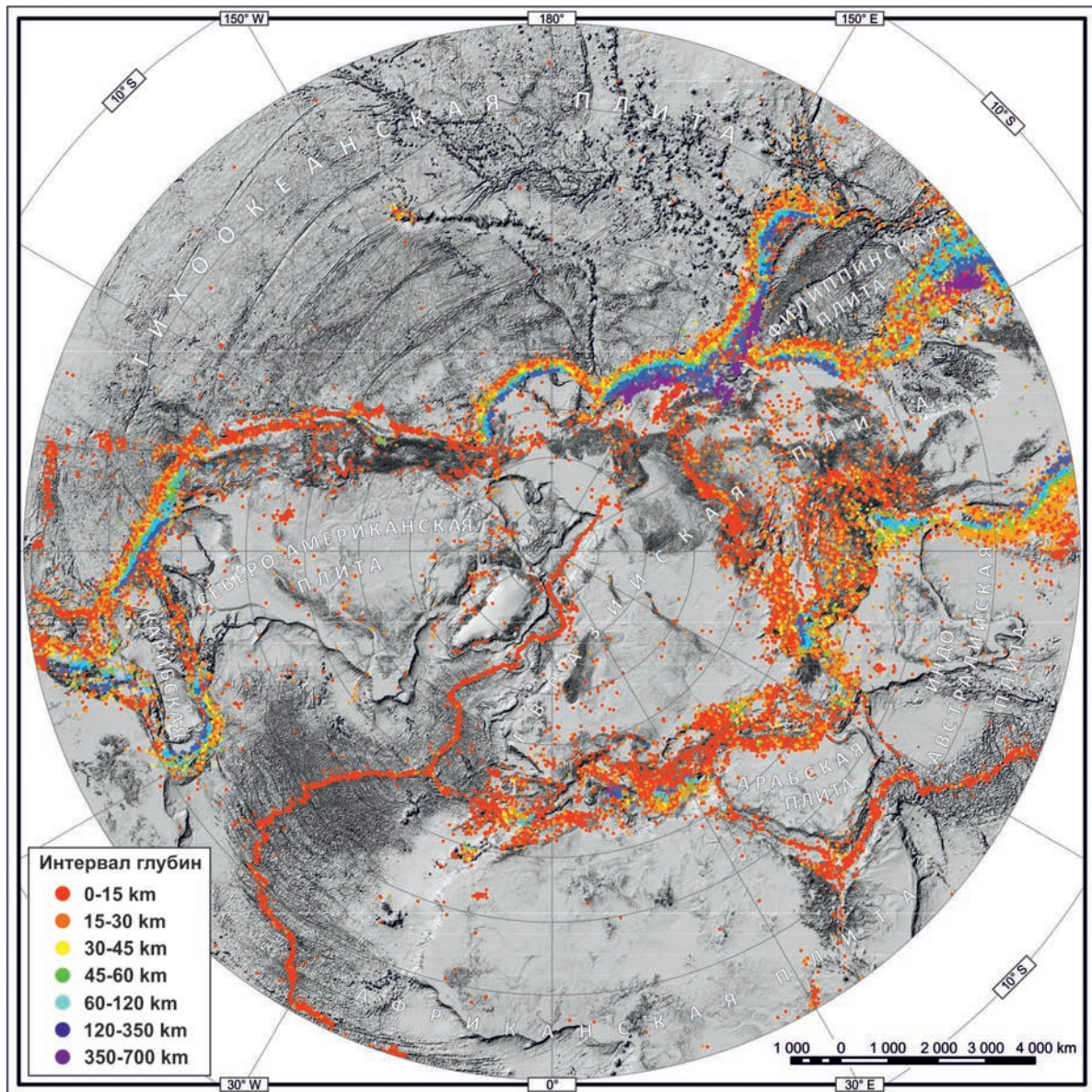


Рис. 32. Сейсмичность северного полушария Земли (www.iris.edu)

слой (предположительно образованный осадочными породами с прослоями базальтов) перекрывает тонкую кристаллическую кору, которая по своим скоростным параметрам соответствует нижней мафической континентальной коре. Такие мощность и строение земной коры, так же, как и большие глубины моря (до 4,2 км в котловине Амундсена), характерны для океанов.

Формирующаяся современная граница Северо-Американской и Евразийской континентальных плит прослеживается в море Лаптевых по серии рифтовых прогибов – Усть-Ленскому, Южно-Лаптевскому, Омолойскому и другим, заложенным в позднем мелу и палеогене. В горноскладчатых структурах Северо-Востока России

граница литосферных плит проходит по Момской рифтовой зоне, которая объединяет линейные, вытянутые в северо-западном направлении неотектонические палеоген-неогеновые впадины, сопровождаемые проявлениями кайнозойского щелочно-габброидного магматизма.

Краевая часть Евразийской плиты в пределах Баренцево-Карской пассивной окраины представлена земной корой трехслойного строения мощностью 35–40 км [Petrov et al., 2016; Сакулина и др., 2015, 2016; Roslov et al., 2009; Sakulina et al., 2000]. Мощный осадочный чехол подстилается кристаллической корой, подразделяемой на верхнюю низкоскоростную, подвижную, кислого состава и нижнюю, более

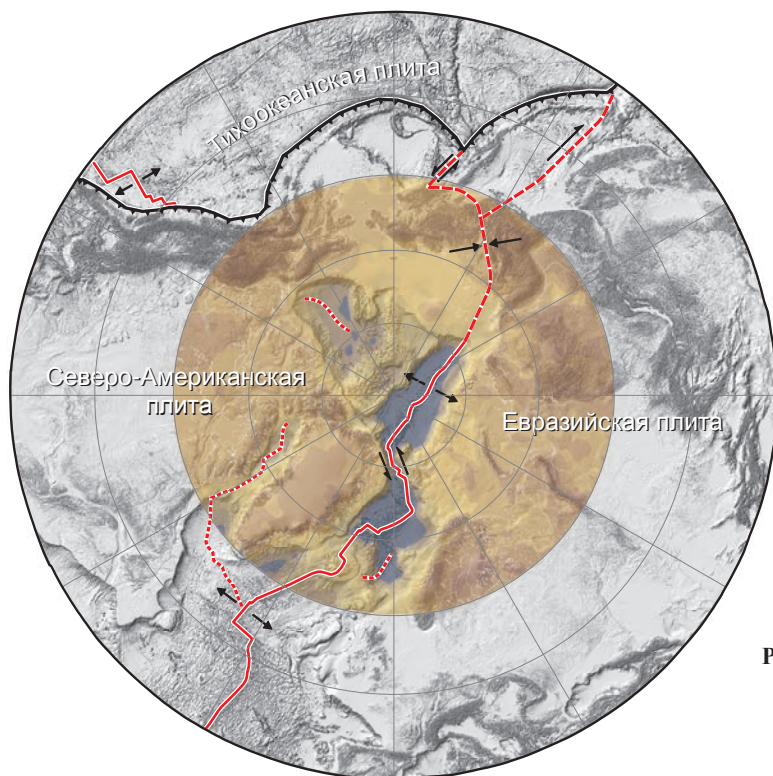


Рис. 33. Карта мощности земной коры Арктики, показывающая тонкую океаническую кору вдоль границы Северо-Американской и Евразийской литосферных плит в пределах Евразийского бассейна

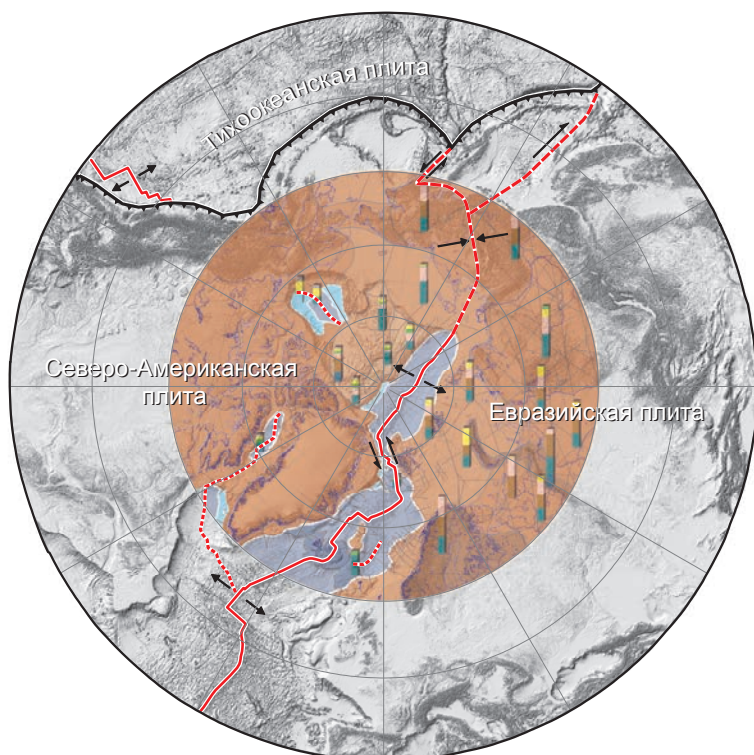


Рис. 34. Карта типов земной коры, отражающая распространение кайнозойской океанической коры вдоль границы Северо-Американской и Евразийской литосферных плит в пределах Евразийского океанического бассейна и Северной Атлантики

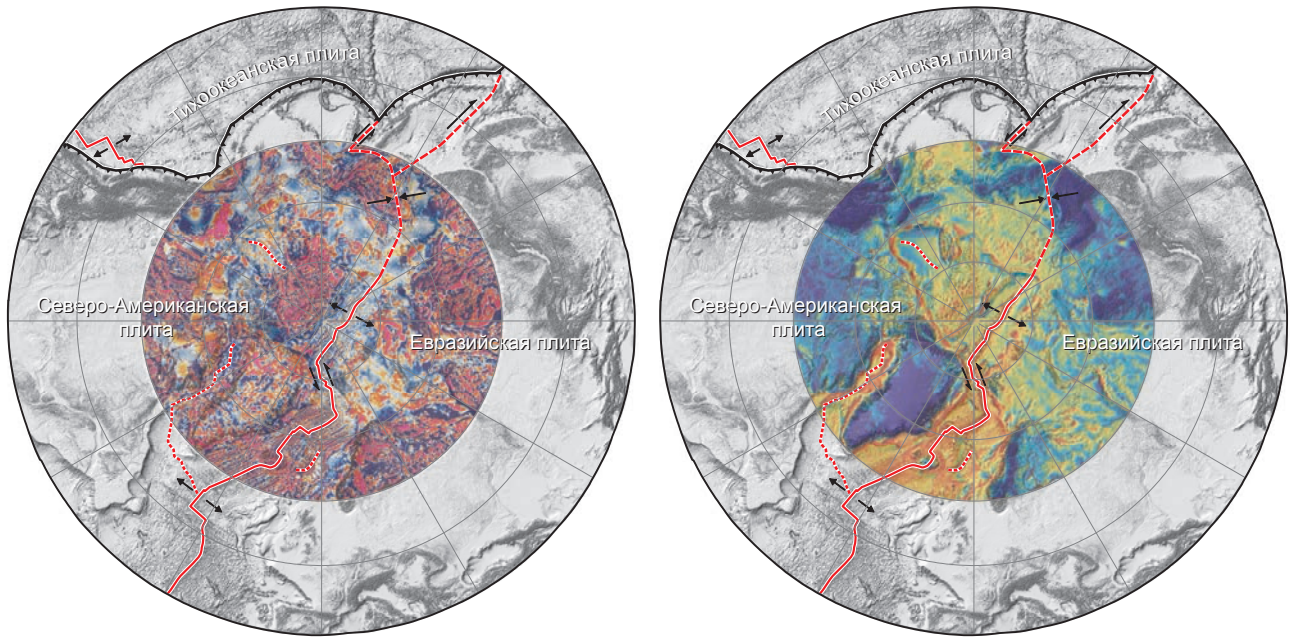


Рис. 35. Отражение границ Северо-Американской, Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит на картах аномального магнитного поля (слева) и аномального поля силы тяжести (справа) [Gaina et al., 2011] в пределах Циркумполярной области (на рельефной батиметрической основе)

высокоскоростную и, вероятно, более мафическую. Такие мощность и строение характерны для земной коры мелководных эпиконтинентальных окраинных морей.

В краевой части Северо-Американской плиты располагается Амеразийский бассейн, включающий область Центрально-Арктических поднятий с корой континентального типа, осложненную глубоководными рифтогенными котловинами Подводников и Макарова.

Земная кора поднятий Альфа и Менделеева в последние годы изучалась с помощью российских и канадских профилей глубинного сейсмического зондирования [Petrov et. al., 2016; Поселов и др., 2011; Lebedeva-Ivanova et. al., 2006; Funck et. al., 2011; Кашубин и др., 2016, 2018; Kashubin et. al., 2018]. Было установлено, что земная кора этих поднятий подобна коре тектонического блока хребта Ломоносова, но имеет большую мощность (32–34 км, по сравнению с 17–19 км на хр. Ломоносова) из-за увеличенной мощности нижней коры (рис. 36). По всей вероятности, это связано с проявлением андерплейтинга и внутриплитного базальтового вулканизма с образованием обширного вулканического ареала как части магматической провинции высокоширотной Арктики (HALIP) в этой части Арктического региона. Земная кора котловины Подводников имеет меньшую мощность по сравнению с корой окружающих ее поднятий и достигает

14–27 км. Однако ее кристаллическая часть также имеет двухслойное строение. Наиболее вероятным объяснением является рифтовая природа осадочного бассейна котловины, который образовался в результате растяжения континентальной коры с последующим ее погружением на глубины до 3,5–4 км [Petrov et. al., 2016; Кашубин и др., 2013; Lebedeva-Ivanova, Gee, Sergeev, 2011].

Земная кора района хр. Ломоносова была изучена как в центральной части хребта, так и на его пригренландском и присибирском флангах. Российские и датско-канадские исследования показали двухслойную структуру кристаллической коры и наличие промежуточного (метаосадочного) комплекса под осадочным чехлом [Поселов и др., 2011; Jackson & Dahl-Jensen, 2010]. Общая мощность земной коры хребта Ломоносова достигает 20 км. В настоящее время большинством исследователей Арктики признается континентальная природа хребта Ломоносова [Jokat et. al., 2005; Mooney, 2007 и др.].

Таким образом, установлено, что структуры Амеразийского бассейна представлены в основном континентальной корой, в разной степени утоненной и переработанной меловым трапповым магматизмом. Реликт океанической коры мелового возраста предполагается канадскими и американскими исследователями (по скоростям преломленных волн) лишь на ограниченном участке Амеразийского бассейна – в центральной

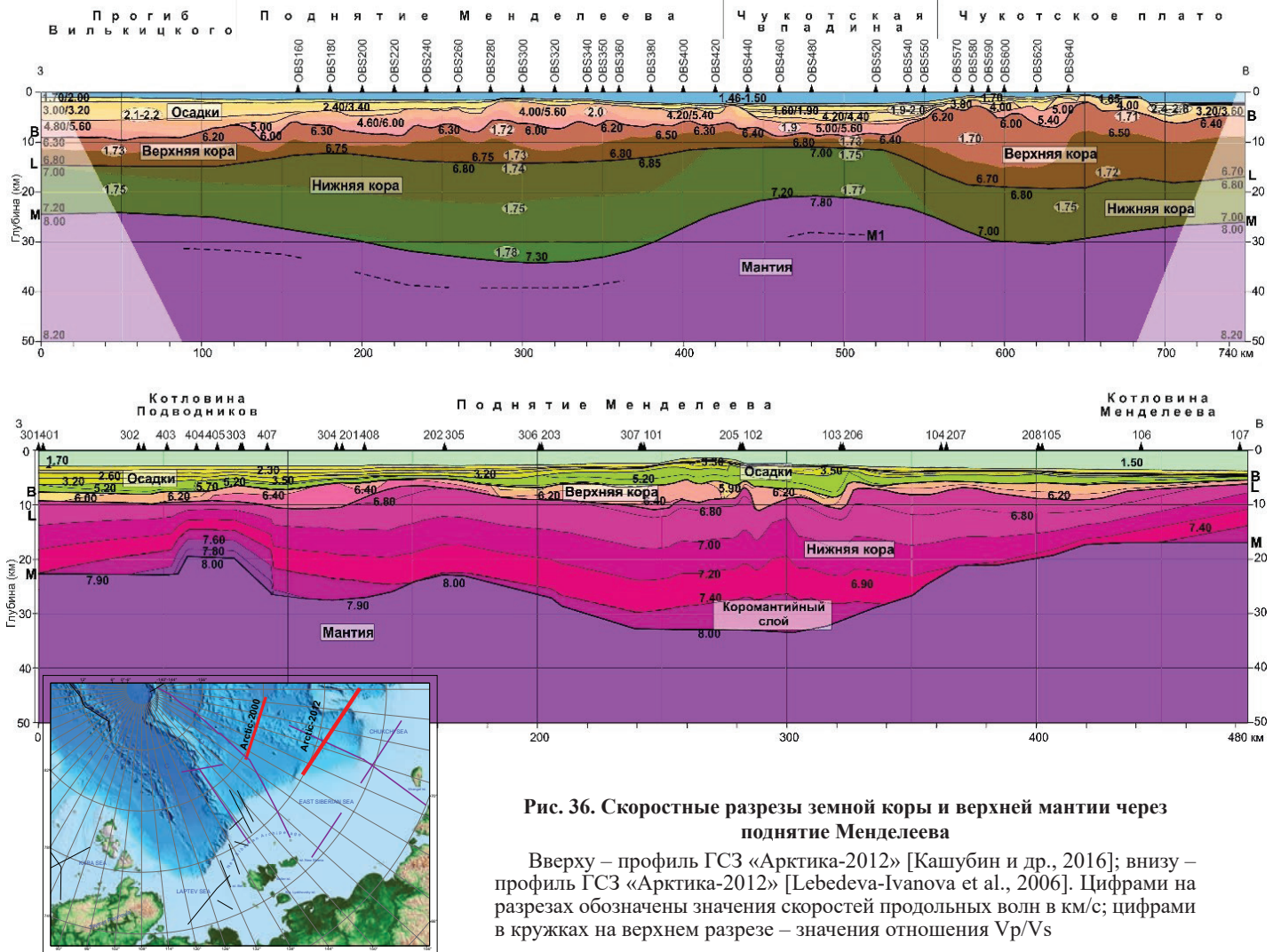


Рис. 36. Скоростные разрезы земной коры и верхней мантии через поднятие Менделеева

Вверху – профиль ГСЗ «Арктика-2012» [Кашубин и др., 2016]; внизу – профиль ГСЗ «Арктика-2012» [Lebedeva-Ivanova et al., 2006]. Цифрами на разрезах обозначены значения скоростей продольных волн в км/с; цифрами в кружках на верхнем разрезе – значения отношения V_p/V_s

части Канадской котловины, и, возможно, в котловине Макарова [Miller et al., 2017].

Результаты этих исследований отражены на карте мощности земной коры Циркумполярной Арктики (см. рис. 14), которая включает данные сейсмического профилирования и их интерполяции по корреляционной зависимости между глубиной границы Мохо, рельефом земной поверхности и гравитационными аномалиями. Выделенные на карте области с континентальным, редуцированным континентальным и океаническим типами земной коры находят отражение на картах магнитного и гравитационного полей и хорошо согласуются со всеми современными данными, полученными при изучении геологии арктических островов и проведении геологического опробования морского дна Центрально-Арктических поднятий.

Анализ мощности и строения земной коры Канадского бассейна и котловин Подводников и

Макарова показал, что эти структуры обнаруживают полную аналогию с внутриконтинентальными глубокими осадочными бассейнами, такими, как Южно-Баренцевская или Прикаспийская впадины (рис. 37). На карте мощности осадочного чехла отражено, что в Канадском бассейне и котловинах Подводников и Макарова осадочный чехол достигает большой мощности (более 6–12 км), что типично для внутриконтинентальных Южно-Баренцевской и Прикаспийской впадин, но не характерно для океанов (рис. 38).

Геологическое опробование подводных эскарпов, проведенное российскими и международными экспедициями в Арктике в период с 2000 по 2016 гг., позволило установить, что нижняя часть осадочного чехла в области Центрально-Арктических поднятий образована терригенно-карбонатными отложениями с возрастом от позднего венда до перми и раннего мела, которые формировались в эпиконтинентальных, пре-

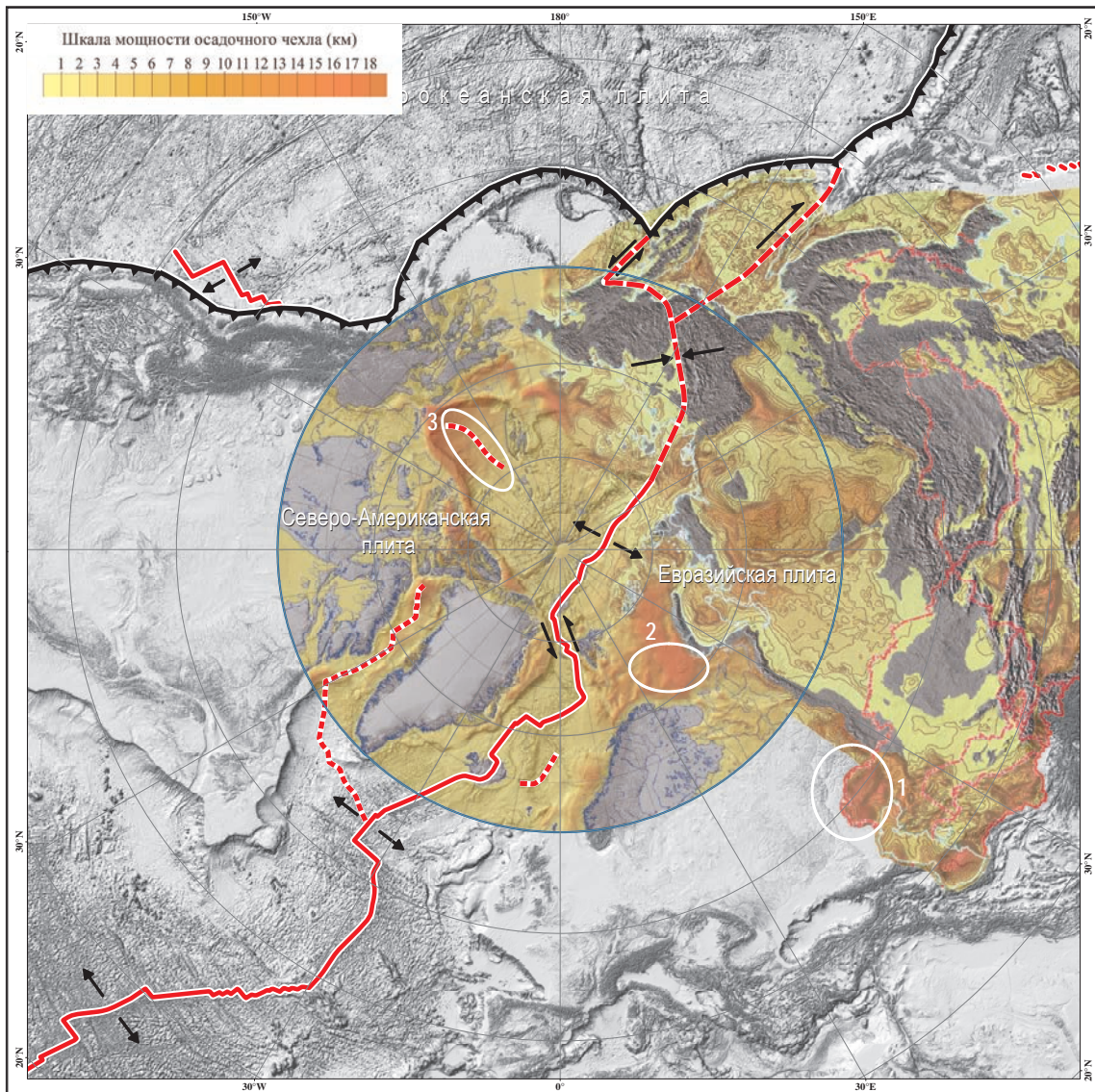


Рис. 37. Карта мощности земной коры сопредельных регионов Арктики и Азии, показывающая области с редуцированной континентальной земной корой: 1 – Прикаспийская впадина; 2 – Южно-Баренцевская впадина; 3 – Канадский бассейн

имущественно мелководных обстановках. Они перекрываются позднемеловыми–кайнозойскими рыхлыми осадками. Магматические образования представлены внутриконтинентальными платформенными трапповыми образованиями мелового возраста (провинция HALIP).

Поскольку область Центрально-Арктических поднятий располагается целиком в пределах Северо-Американской континентальной плиты, все современные тектонические процессы в ней относятся к внутриплитным. В настоящее время становится всё более очевидным, что большую часть современной Циркумполярной области, включая острова, шельфы и Централь-

но-Арктические поднятия Американо-Азиатского бассейна, занимает неопротерозойский (эпигренвильский с включением блоков раннедокембрийской коры) кратон, осложненный мезо-кайнозойскими рифтогенными структурами. Подтверждаются предположения академиков Н. С. Шатского, Ю. М. Пушаровского, В. Е. Хаина и других советских и российских ученых, в том числе Л. П. Зоненшайна, Л. М. Натапова, которые ещё в середине прошлого столетия выделяли в Центральной Арктике платформу Гиперборея или, позднее, палеоконтинент Арктида.

Таким образом, за последние 15 лет получен беспрецедентно большой объем новых на-

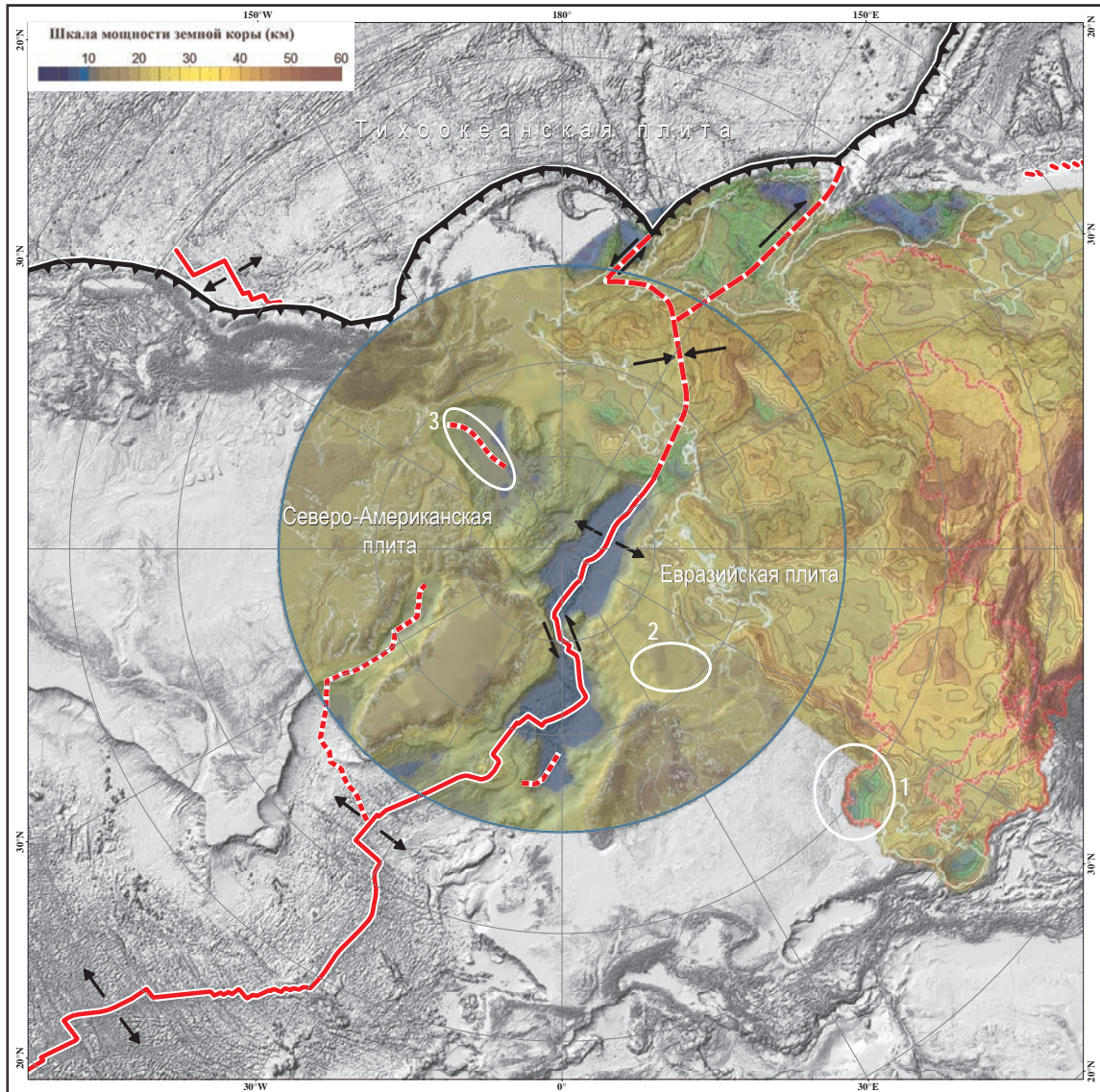


Рис. 38. Карта мощности осадочного чехла сопредельных регионов Арктики и Азии, показывающая повышенную мощность осадочного чехла (более 10-12 км) в осадочных бассейнах, связанных с внутриплитным рифтогенезом: 1 – Прикаспийская впадина; 2 – Южно-Баренцевская впадина; 3 – Канадский бассейн

дежных геологических данных по Северному Ледовитому океану и его континентальному обрамлению. Это оказалось возможным, благодаря коллективным усилиям геологических служб, национальных академий наук и университетов России, США, Канады, Норвегии, Дании, Германии, Франции. Эти работы были поддержаны Комиссией ЮНЕСКО по Геологической карте мира (CGMW), Международным союзом геологических наук (IUGS), Международной комиссией по стратиграфии (ICS), а также координирующей роли национальных программ по научному обоснованию расширения континентального шельфа ECS (Extended Continental Shelf).

Большую пользу принесли данные по современной сейсмичности, которые содержатся в Глобальной базе данных по сейсмической активности – Global Seismographic Network (www.iris.edu). Новые данные по потенциальным полям легли в основу карт магнитного и гравитационного полей, вошедших в комплект дополнительных карт к Тектонической карте Арктики. Более 300 сейсмических профилей ГСЗ общей протяженностью свыше 140 000 км, было пройдено в ходе геофизических национальных и международных исследований континентальных шельфов и глубоководных акваторий Арктического бассейна. Полученные геолого-геофизические материалы

нашли свое отражение в картах мощности земной коры и осадочного чехла из комплекта дополнительных материалов к новой Тектонической карте Арктики. Много нового и неожиданного принесли результаты комплексного изучения донно-каменного материала Центрально-Арктических поднятий и глубоководное бурение на хребте Ломоносова (экспедиции АСЕХ-2004; «Арктика-2000, 2005, 2012», «Polarstern-2006», «Healy-2008, 2009, 2012», «Oden-Healy 2016» и др.), а также новые данные по геологическому строению, изотопно-геохронологической, геохимической и палеомагнитной характеристике пород арктических островов и прибрежной суши.

Обильные геологические и геофизические данные, собранные международным сообществом за последние годы, позволили осуществить информационный прорыв в наших знаниях о глубинном строении Арктического бассейна и являются надежной основой для создания современной тектонической модели Арктики.

ЛИТЕРАТУРА

- Кашубин С. Н., Павленкова Н. И., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Шокальский С. П., Эринчек Ю. М. Типы земной коры Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 5–20.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Артемьева И. М., Морозов А. Ф., Вяткина Д. В., Гольшева Ю. С., Кашубина Т. В., Мильштейн Е. Д., Рыбалка А. В., Эринчек Ю. М., Сакулина Т. С., Крупнова Н. А. Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ «Арктика-2012» // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 16–35.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Винокуров И. Ю., Андросов Е. А., Гольшева Ю. С., Ефимова Н. Н., Яварова Т. М., Морозов А. Ф. Структура земной коры зоны сочленения поднятия Менделеева с Евразийским континентом (по геофизическим данным) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 5–18.
- Поселов В. А., Аветисов Г. П., Каминский В. Д. и др. Российские арктические геотраверсы. – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология», 2011. – 172 с.
- Сакулина Т. С., Павленкова Г. А., Кашубин С. Н. Структура земной коры северной части Баренцево-Карского региона по профилю ГСЗ 4-АР // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56. – № 11. – С. 2053–2066.
- Сакулина Т. С., Кашубин С. Н., Павленкова Г. А. Глубинные сейсмические зондирования по профилю 1-АР в Баренцевом море: методика и результаты // Физика Земли. – 2016. – № 4. С. 107–124.
- Funck T., Jackson, H. R., Shimeld, J. The crustal structure of the Alpha Ridge at the transition to the Canadian Polar Margin: Results from a seismic refraction experiment // J. Geophys. Res. – 2011. – 116. B12101, doi:10.1029/2011JB008411.
- Gaina, C., Werner, S. C., Saltus, R., Maus, S., the Camp-GM GROUP. Circum-Arctic mapping project: new magnetic and gravity anomaly maps of the Arctic. Arctic Petroleum Geology. Geological Society, London. – 2011. – Memoirs. 35. – P. 39–48.
- Jackson, H. R., Dahl-Jensen, T., the LORITA working group. Sedimentary and crustal structure from the Ellesmere Island and Greenland continental shelves onto the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean // Geophys. J. Int. – 2010. – 182. – P. 11–35.
- Jokat W., O'Connor J., Hauff F., Koppers A., Miggins D. Focused magmatism at extreme slow spreading rates in the Arctic Ocean close to the Laptev Sea, 2005.
- Kashubin S. N., Petrov O. V., Artemieva I. M., Morozov A. F., Vyatkina D. V., Golyshcheva Yu. S., Kashubina T. V., Milshtein E. D., Rybalka A. V., Erinchek Yu. M., Sakulina T. S., Krupnova N. A., Shulgin A. A. Crustal structure of the Mendeleev Rise and the Chukchi Plateau (Arctic Ocean) along the Russian wide-angle and multichannel seismic reflection experiment “Arctic-2012” // Journal of Geodynamics. – 2018. – 119. – P. 107–122.
- Lebedeva-Ivanova N. N., Zamansky Yu. Ya., Langnen A. E., Sorokin M. Yu. Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82°N evidence of continental crust // Geophys. J. Int. – 2006. – 165. – P. 527–544.
- Lebedeva-Ivanova N. N., Gee D. G., Sergeev M. B. Crustal structure of the East Siberian continental margin, Podvodnikov and Makarov basins, based on refraction seismic data (TransArctic 1989–1991) / A. M. Spencer, A. Embry, D. Gautier, A. Stoupakova, & K. Sørensen (eds.) // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc., London. – 2011. – Mem. 35 (26). – P. 395–411.
- Miller E. L., Meisling K. E., Anikin V. V. et al. Circum-Arctic Litosphere Evolution (CALE) Transect C: displacement of the Arctic Alaska-Chukotka microplate towards the Pacific during the opening of the Amerasia Basin in the Arctic / V. Pease, B. Coakley (eds.) // Circum-Arctic Litosphere Evolution. Geol. Soc., London. – 2017. – Spec. Publ. – 460. – P. 1–6. <https://doi.org/10.1144/SP460.9>.
- Mooney W. D. Crust and lithospheric structure – Global crustal structure / B. Romanowicz, A. Dziewonski (eds.) // Treatise on Geophysics. Elsevier. – 2007. – 1. – P. 361–417.
- Petrov O., Smelror M., Morozov A., Shokalsky S., Kashubin S., Artemieva I.M., Sobolev N., Petrov E., Ernst R. E., Sergeev S. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // Earth-Science Reviews. Elsevier. – 2016. 154. – P. 29–71.
- Roslov Yu. V., Sakulina T. S., Pavlenkova N. I. Deep seismic investigations in the Barents and Kara Seas // Tectonophysics. – 2009. – 472. – P. 301–308.
- Sakulina T. S., Telegin A. N., Tikhonova I. M., Verba M. L., Matveev Y. I., Vinnick A. A., Kopylova A. V., Dvornikov L. G. The results of deep seismic investigations on Geotraverse in the Barents Sea from Kola peninsula to Franz-Joseph Land // Tectonophysics. – 2000. – 329 (1–4). – P. 319–331.
- Tectonostratigraphic Atlas of the North-East Atlantic region / Eds: J. R. Hopper, Th. Funk, M. Stoker, U. Arting, G. Peiron-Pinvidic, H. Doornenbal, C. Gaina, 2009. – 338 p.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА АРКТИКИ (TeMAr) РАБОЧАЯ ГРУППА:

Россия (координатор), Канада, Дания, Франция, Германия, Норвегия,
Швеция, США



О.В. Петров (ВСЕГЕИ), А.Ф. Морозов (Роснедра), С.П. Шокальский (ВСЕГЕИ),
И.И. Поспелов (ВСЕГЕИ, ГИН РАН), С.Н. Кашубин (ВСЕГЕИ), Н.Н. Соболев (ВСЕГЕИ),
А.И. Ханчук (РАН), И.Ф. Глумов (МПР РФ), Ю.Б. Казмин (МПР РФ, ВСЕГЕИ),
С.Д. Соколов (ГИН РАН), Г.Э Грикуров (ВНИИОкеангеология), В.А. Поселов
(ВНИИОкеангеология), М.К. Косько (ВНИИОкеангеология), В.А. Верниковский (ИГНГ
СО РАН), А.М. Никишин (МГУ), Н.А. Малышев (Роснефть), Ю.Г. Леонов (ГИН РАН),
Л.А. Дараган-Сушова (ВСЕГЕИ), Е.Д. Мильштейн (ВСЕГЕИ), Е.О. Петров (ВСЕГЕИ),
М.Л. Верба (Севморгео)



M.R. St-Onge (GSC), J.C. Harrison (GSC), R. Ernst (Карлетонский университет)



P. Guarnieri (GEUS)



N. Lemonnier (CNRS), L. Labrousse (Университет Сорбонны)



K. Piepjohn (BGR), C. Gaedicke (BGR)



J.I. Faleide (университет г. Осло), M. Smelror (NGU), A. Solli (NGU), L. Gernigon (NGU),
C. Gaina (университет г. Осло), H. Brekke (NPD), E. Gillebo (NPD)



M. Stephens (SGU)



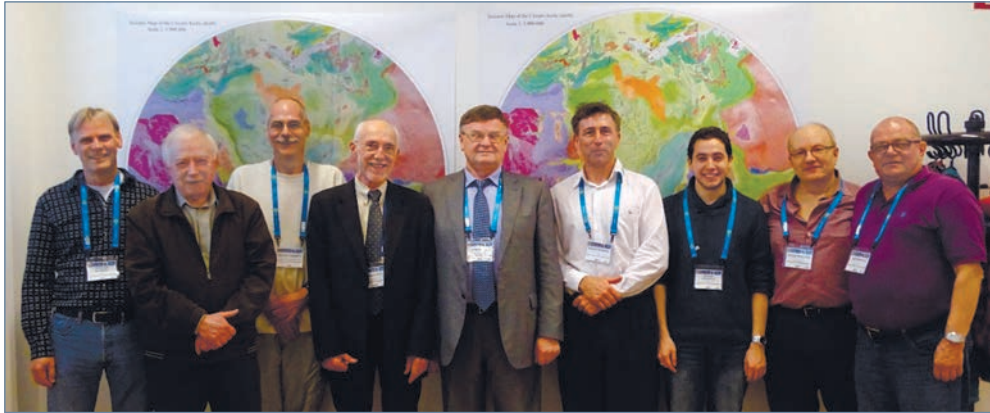
S.S. Drachev (ArcGeoLink Ltd)



A. Grantz (USGS), T. Moore (USGS), S. Box (USGS)



Вена, апрель 2012



Вена, апрель 2016



Париж, февраль 2017



Париж, февраль 2014



Париж, февраль 2017



Париж, февраль 2017



Санкт-Петербург, февраль 2016

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководству Федерального агентства по недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации за постоянную поддержку Международного проекта по Тектонической карте Арктики.

Тектоническая карта Арктики, как один из крупнейших международных картографических проектов, с самого начала пользовалась особым вниманием Комиссии по геологической карте мира (CGMW), ее президента – д-ра Филиппа Росси и генерального секретаря, а затем тоже президента CGMW д-ра Мануэля Пубелье. Комиссия взяла на себя ответственность за организацию международных семинаров по проекту в Париже в 2010, 2014, 2016, 2017 и 2018 гг., а также во время Генеральной ассамблеи Европейского Союза Геонаук в Вене в 2012, 2015, 2016 и 2017 гг. Она также координировала деятельность участников проекта из США, Канады, Германии, Франции и других стран. Авторы выражают искреннюю благодарность Комиссии по геологической карте мира за эту неоценимую помощь.

Авторы также очень благодарны тем, чьи материалы были использованы при составлении Тектонической карты Арктики, и хотели бы их упомянуть. Это – Д. Хатчсон, Р. Джексон, Д. Мошер, Т. Фанк, Дж. Шимелд, Г. Оки, В. В. Акинин, Б. В. Беляцкий, В. Б. Ершова, Е. А. Гусев, А. К. Худолей, Е. А. Кораго, Т. Н. Корень, О. Л. Коссовая, Б. Г. Лопатин, Н. Ю. Матушкин, Д. В. Метелкин, А. В. Прокопьев, П. В. Рекант, С. А. Сергеев, С. С. Шевченко, Н. М. Столбов.

Работа частично выполнялась при поддержке РФФИ (грант 17-05-00795) и РНФ (грант 16-17-10251).

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА АРКТИКИ

масштаба 1 : 10 000 000

Издание первое

Редактор и корректор *Е. А. Зотова*
Техническое редактирование *О. Е. Степурко*
Верстка *О. Е. Степурко, Т. П. Рекант*

Подписано в печать 05.09.2019. Формат 60 × 90^{1/8}.
Бумага офсетная. Печ. л. 9. Уч.-изд. л. 12.
Тираж 150 экз. Заказ 41712000

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический институт им. А. П. Карпинского» (ВСЕГЕИ)
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74.
Тел. 328-90-90 (доб. 24-24, 23-23). E-mail: izdatel@vsegei.ru

Отпечатано на Картографической фабрике ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72. Тел. 328-81-53

