

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОЕНИЯ
И ИСТОРИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
АРКТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

© 2020 г. А. М. Никишин^{а,*}, Н. А. Малышев^{б,**}, Е. И. Петров^{с,***}

^а Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^б Публичное акционерное общество Нефтегазовая компания “Роснефть”, Москва, Россия

^с Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Москва, Россия

*E-mail: nikishin@geol.msu.ru

**E-mail: n_malyshhev@rosneft.ru

***E-mail: ep4813102@gmail.com

Поступила в редакцию 19.11.2019 г.

После доработки 23.11.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

В статье рассматривается геологическое строение глубоководной части Арктического (Северного Ледовитого) океана и его шельфов. Предложены разные модели геологической и тектонической истории Арктики. Особое внимание уделяется строению поднятия Альфа-Менделеева, происхождение которого связано с формированием вулканической континентальной пассивной окраины. Охарактеризована история водной массы, климата и углеводородного потенциала.

Ключевые слова: геология Арктики, поднятие Менделеева, хребт Ломоносова, Евразийский бассейн, Американо-Азиатский бассейн.

DOI: 10.31857/S0869587320050072

Арктический (Северный Ледовитый) океан расположен в северной приполярной области Земли (рис. 1). Он состоит из собственно глубоководного бассейна и его шельфовых морей: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского с большой шириной шельфа со стороны Евразии и ряда узких бассейнов со стороны Северной Америки [1]. В самом глубоководном бассейне в рельефе дна выделены котловины (бассейны) Нансена, Амундсена, Подвод-

ников, Макарова, Канадская и др. Котловины Нансена и Амундсена вместе образуют Евразийский бассейн. Между ними находится срединно-океанический хребт Гаккеля – северное окончание Срединно-Атлантического хребта. Котловины Подводников, Макарова и Канадская составляют Американо-Азиатский бассейн. Границей Евразийского и Американо-Азиатского бассейнов служит подводный хребт Ломоносова. Исследователи считают, что он имеет континентальную кору. В Американо-Азиатском



НИКИШИН Анатолий Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой региональной геологии и истории Земли геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. МАЛЫШЕВ Николай Александрович – доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора Департамента геологоразведочных работ на шельфе ПАО НК “Роснефть”. ПЕТРОВ Евгений Игнатьевич – кандидат физико-математических наук, советник министра природных ресурсов и экологии РФ.

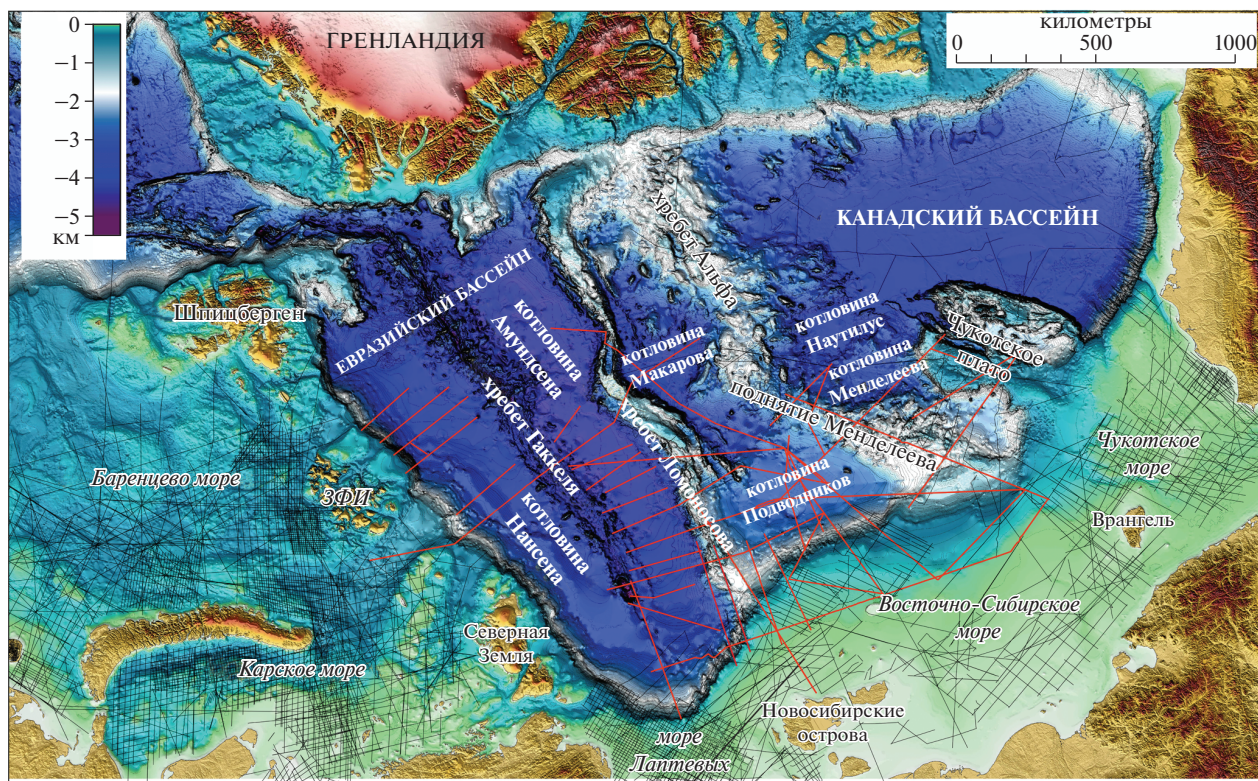


Рис. 1. Батиметрическая карта района Арктического океана. Линии показывают положение сейсмических профилей, использованных в данной работе

бассейне между котловинами Подводников и Макарова с одной стороны и Канадской котловиной — с другой расположено поднятие, которое в США называют Альфа, в России — Менделеева, а в научной литературе именуют Альфа-Менделеева. По поводу причин возникновения поднятия до сих пор идут споры. Одни учёные считают, что оно имеет утолщённую базальтовую кору и относится к меловым океаническим плато типа Исландии, другие утверждают, что поднятие имеет сильно растянутую континентальную кору, перекрытую мощной толщей меловых базальтов. К северу от Чукотского моря выделяется Чукотское плато, которое, по мнению всех исследователей, является террасой с континентальной корой, погружённой до глубин 0.5–2 км.

Евразийский бассейн — это котловина с океанической корой эоцен-четвертичного возраста. Вопрос о типе земной коры в котловинах Американо-Евразийского бассейна (Канадской, Подводников, Макарова) остаётся дискуссионным. Обсуждаются различные варианты: от её принадлежности к океаническому типу до отнесения к типу сильно растянутой континентальной коры и даже коры серпентинитового состава. Обычно кору котловин Американо-Евразийского бассейна относят к юрскому или меловому возрасту.

Шельфовые моря со стороны Евразии образованы крупными осадочными бассейнами (рис. 2). Как правило, в их основании лежат огромные континентальные рифтовые системы. В пределах Баренцева и северной части Карского морей выделяются бассейны с палеозойскими рифтами в основании (в разных бассейнах имеются рифты ордовикского, девонского и карбонового возрастов). В южной части Карского моря в основании осадочного бассейна лежат рифты позднепермско-раннетриасового возраста. В полосе от моря Лаптевых до Чукотского моря также выделяются крупные осадочные бассейны с континентальными рифтами в основании мелового и кайнозойского возраста. Под мезозойскими бассейнами локально распространены плохо изученные и деформированные палеозойские осадочные бассейны.

Между глубоководной частью Арктического океана и его шельфами выделяется континентальный склон, часто осложнённый широкими террасами.

Авторы статьи в основном оперируют новыми данными, полученными российскими учёными за последние 10–15 лет благодаря национальным проектам Правительства РФ.

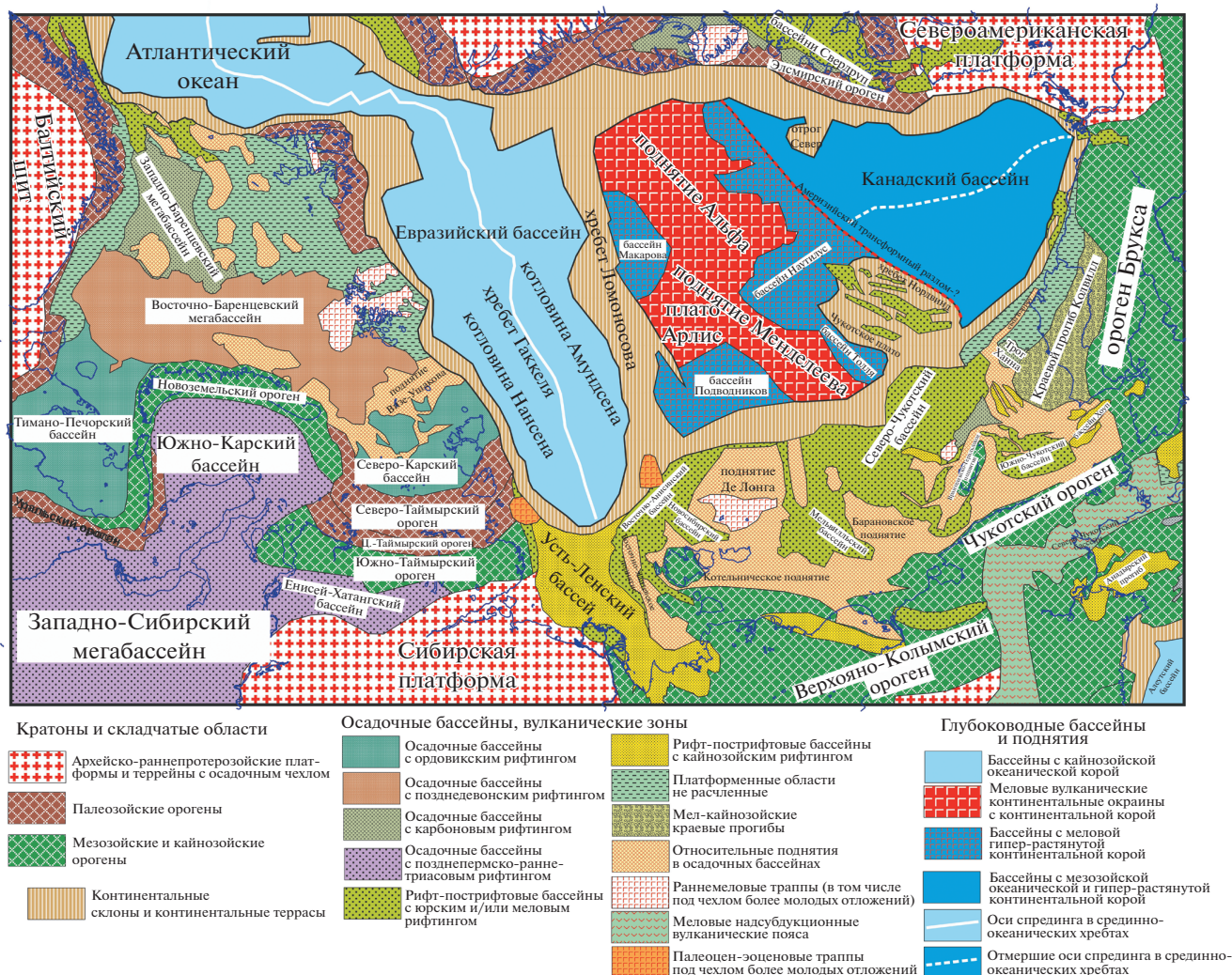


Рис. 2. Тектоническая схема района Арктического океана

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

В глубоководной части Арктического океана есть лишь одна скважина, пробуренная на хребте Ломоносова [2, 3]. Она вскрыла только кайнозойские отложения. Поэтому проблема стратиграфии глубоководного бассейна ещё не решена и служит предметом споров и разногласий.

В основу схемы стратиграфии заложена следующая группа данных:

- корреляция сейсмических горизонтов с возрастными линейными магнитных аномалий в Евразийском бассейне [4–6];
- корреляция сейсмических горизонтов с данными бурения скважин АСЕХ на хребте Ломоносова, представленных в работах [2, 3];
- корреляция сейсмических горизонтов с результатами литологического и фаунистического

опробования подводными аппаратами трёх склонов в районе поднятия Менделеева, представленных в работах [7, 8];

- корреляция сейсмических горизонтов с данными бурения на шельфе Аляски [9].

В итоге нами были выделены сейсмические границы с примерными возрастными 125, 100, 80, 66, 56, 45, 34 и 20 млн лет [10]. Они прослежены на значительной части Арктического океана [5, 10]. Примеры показаны на рисунках 3–6. Все представленные сейсмические профили получены в рамках российских национальных проектов “Арктика-2011”, “Арктика-2012” и “Арктика-2014”.

Согласно данной стратиграфической схеме, бассейны Арктического океана образовывались в разное время. Канадский бассейн раскрывался в раннем мелу в готериве-барреме (133–125 млн лет назад), бассейны Подводников, Макарова и Нау-

тилус образовались в апте-альбе (125–100 млн лет назад), а Евразийский бассейн формируется с эоцена по настоящее время (56–0 млн лет назад).

Евразийский бассейн и хребет Гаккеля. Евразийский бассейн характеризуется чёткой асимметрией. В котловине Нансена толщина осадочного чехла значительно выше, чем в бассейне Амундсена (см. рис. 3). Это связано с тем, что основной осадочный материал поступал со стороны Евразии и хребет Гаккеля препятствовал поступлению осадочного материала в бассейн Амундсена.

Срединно-океанический хребет Гаккеля – один из уникальных в мире. Примерно 45 млн лет назад на нём начался ультрамедленный спрединг океанической коры со скоростью раздвижения менее 1.5–1 см/год [6, 11]. При этом на хребте перестала формироваться типичная базальтовая кора. При раздвижении литосферных плит не было или было мало базальтовой магмы, и в зоне раздвига мантийное вещество выходило на дно моря и превращалось в серпентиниты. Это связано с тем, что верхняя мантия оставалась холодной и не давала достаточного количества базальтовой магмы для формирования новой океанической коры. Хребет Гаккеля характеризуется амплитудной поверхностью фундамента с чередованием высоких гряд и глубоких трогов при перепаде высот до 1–2 км (см. рис. 3). Вероятно, при рифтинге растягивалась холодная и хрупкая литосфера. Ультрамедленный спрединг с холодной верхней мантией свидетельствует в пользу того, что причиной спрединга стали региональные силы растяжения, а не конвекция под срединным хребтом, то есть спрединг носит пассивный характер.

Хребет Ломоносова. На уступах его склонов, сложенных континентальной корой, проведено драгирование горных пород. Полученные данные подтверждают, что хребет сложен раннепалеозойскими складчатыми и метаморфическими комплексами и является частью раннепалеозойского каледонского орогена [12, 13]. Хребет Ломоносова до открытия Евразийского бассейна располагался вдоль северного края современного шельфа Баренцева и Карского морей. Значит, каледонский ороген проходил по краю данного шельфа. Этот факт позволяет восстановить раннепалеозойскую историю Арктики. Хребет Ломоносова перекрыт осадочным чехлом мелового и кайнозойского возраста.

Канадский бассейн. Относится к уникальным природным регионам. Традиционно считалось, что он имеет океаническую кору мезозойского возраста. Но в отличие от других океанов, нечёткие линейные магнитные аномалии были установлены только для осевой части Канадского бассейна, там же был открыт и отмерший рифт в виде погребённого трога [14]. Современные исследования показывают, что типичная океаниче-

ская кора имеется только в центральной осевой части бассейна, на его большей территории выделяется либо гиперрастянутая континентальная кора, либо разорванная и обнажённая кора, представленная вышедшим на дно моря (экстумированным) и серпентинизированным веществом мантии [14]. Данные о строении коры Канадского бассейна ставят перед учёными вопрос о механизмах формирования тонкой коры глубоководных бассейнов. Возможны варианты с гиперрастяжением континента или обнажением (экстумацией) мантийного вещества. Время образования Канадского бассейна – вопрос дискуссионный, обсуждаются сценарии от юрского периода до палеоцена. По нашей модели, бассейн раскрылся 133–125 млн лет назад, то есть за очень короткое время.

Бассейны Подводников, Макарова и Наутилуса. Расположенные севернее Канадского бассейна, они объединяются тем, что соседствуют с поднятием Альфа-Менделеева и образуют северную часть Американо-Сибирского бассейна. Предметом спора является тип их коры: континентальная она или океаническая [1]. Точных методов определения типа коры только по сейсмическим данным нет. Толщина кристаллической коры (без осадочного чехла) обычно составляет около 8–10 км [15, 16], что нетипично для коры океанического типа, поэтому, скорее всего, под данными бассейнами расположена гиперрастянутая континентальная кора [1, 15]. Бассейны Подводников, Макарова и Наутилуса формировались в раннем мелу в апте-альбе синхронно с рифтингом на шельфах Чукотского и Восточно-Сибирского морей [5, 10].

Поднятие Альфа-Менделеева. Имеет сложный рельеф дна в виде многочисленных хребтов, трогов и кору толщиной 15–30 км [15, 16]. На некоторых его склонах специальными аппаратами проводилось драгирование горных пород. Оказалось, что поднятие в значительной мере перекрыто толщей базальтов возрастом около 110–127 млн лет, но встречаются и толщи возрастом около 80 и 90 млн лет [17, 7, 8]. Базальты также образуют многочисленные интрузии в виде даек и силлов. Под излившимися базальтами в фундаменте поднятия драгированием обнаружены палеозойские осадочные породы с многочисленной фауной [7], они смяты в складки с пока неясной интенсивностью.

Одни исследователи считают, что поднятие Альфа-Менделеева, как Исландия, имеет утолщённую базальтовую кору, другие предполагают, что кора поднятия континентальная, но с мощным базальтовым магматизмом [1, 18–20]. Российские исследователи обнаружили на подводном хребте наличие палеозойского чехла [7, 8], что свидетельствует о существовании здесь слоя с континентальной корой. При этом ряд исследо-

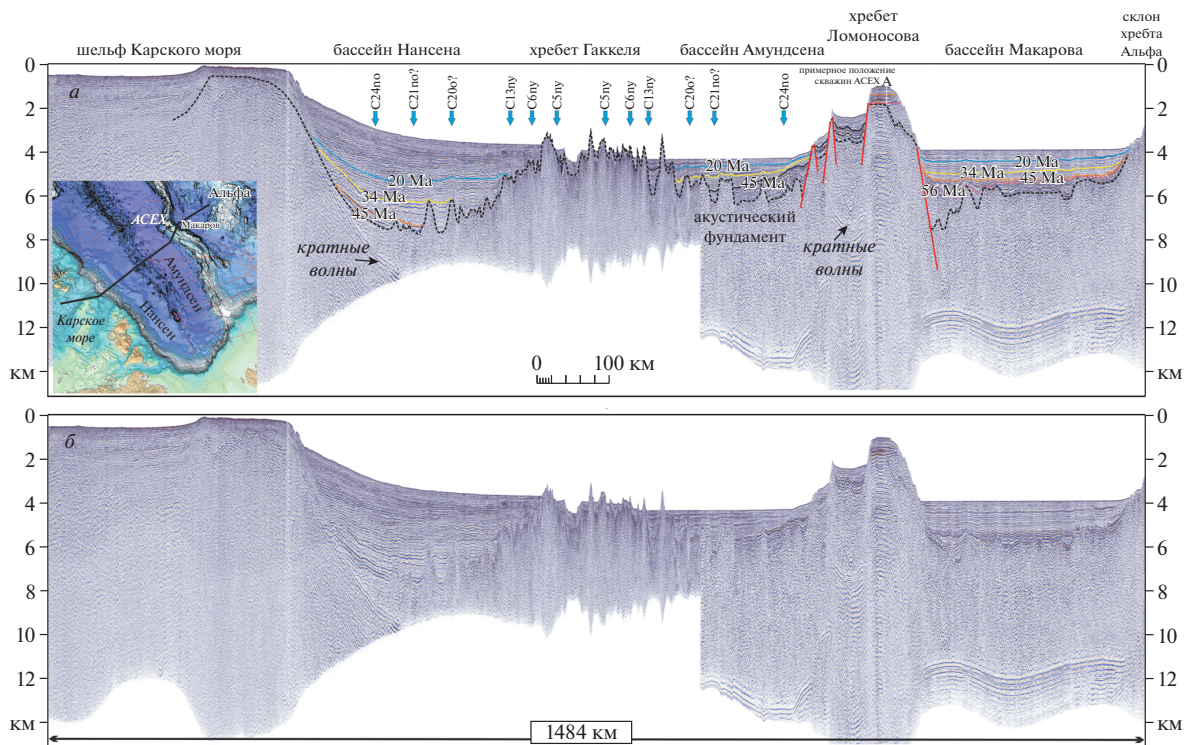


Рис. 3. Композитный сейсмический профиль, пересекающий Евразийский бассейн и бассейн Макарова и его интерпретация. Цифры на границах на профиле показывают возраст геологической границы, млн лет. На карте показано положение профиля

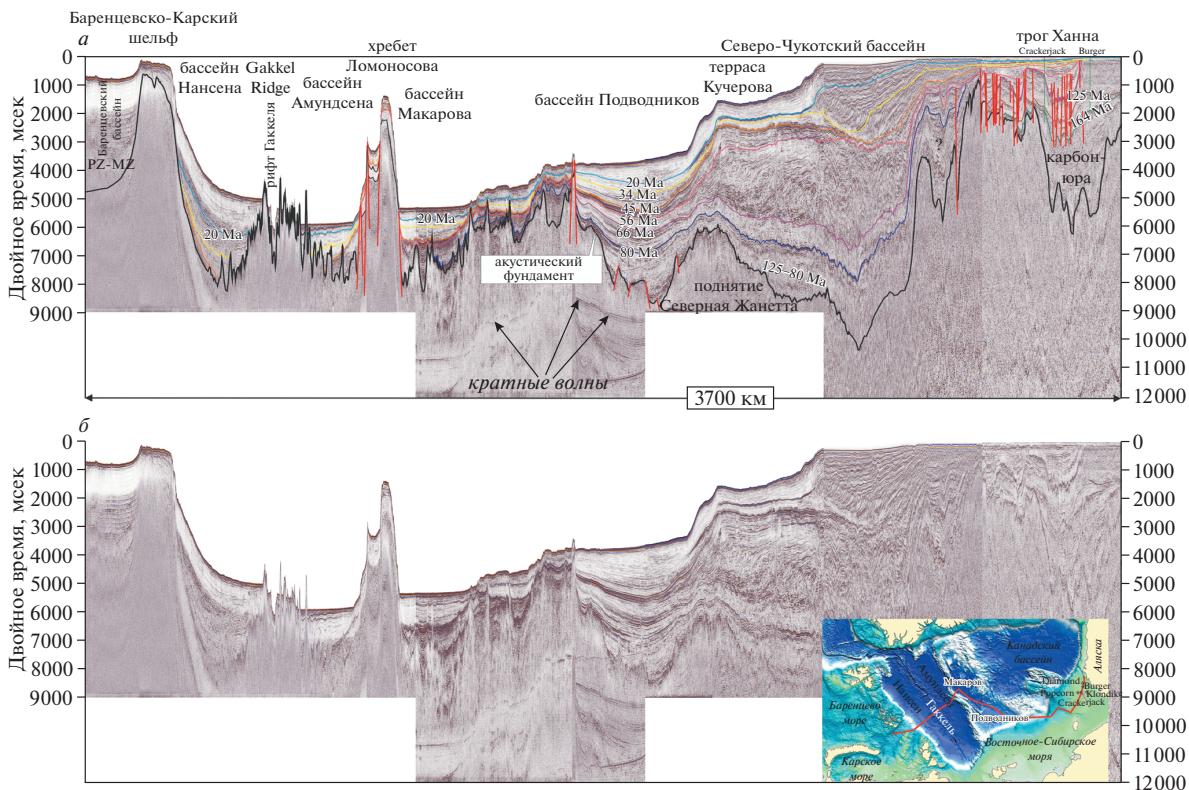


Рис. 4. Композитный сейсмический профиль, пересекающий Арктический океан от Чукотского моря до Карского моря, и его геологическая интерпретация. Цифры на границах на профиле показывают возраст геологической границы, млн лет. На карте показано положение профиля. Для трога Ханна показано положение скважин, использованных в работе

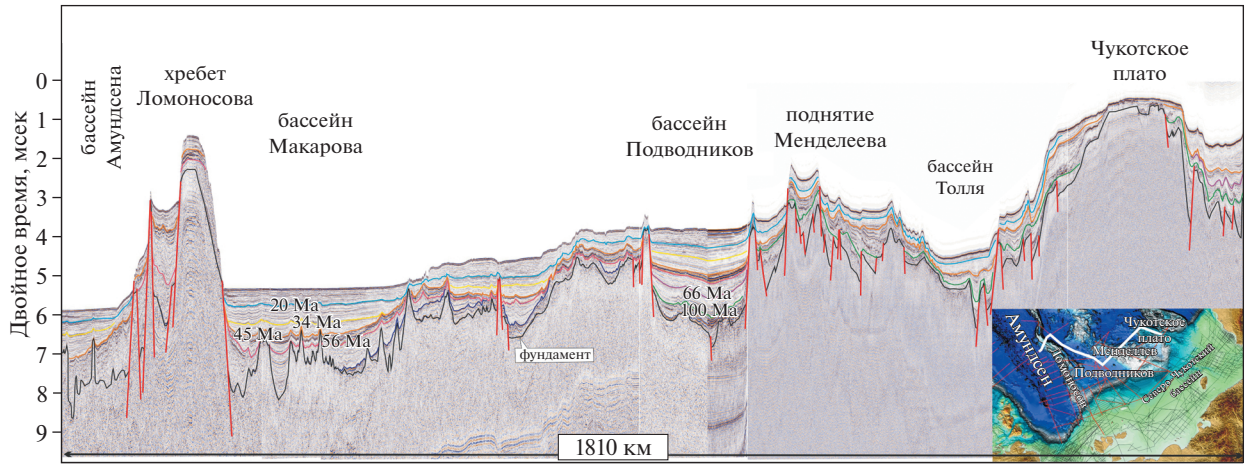


Рис. 5. Композитный сейсмический профиль, пересекающий Арктический океан от хребта Ломоносова до Чукотского плато, и его геологическая интерпретация. Цифры на границах на профиле показывают возраст геологической границы, млн лет. На карте показано положение профиля

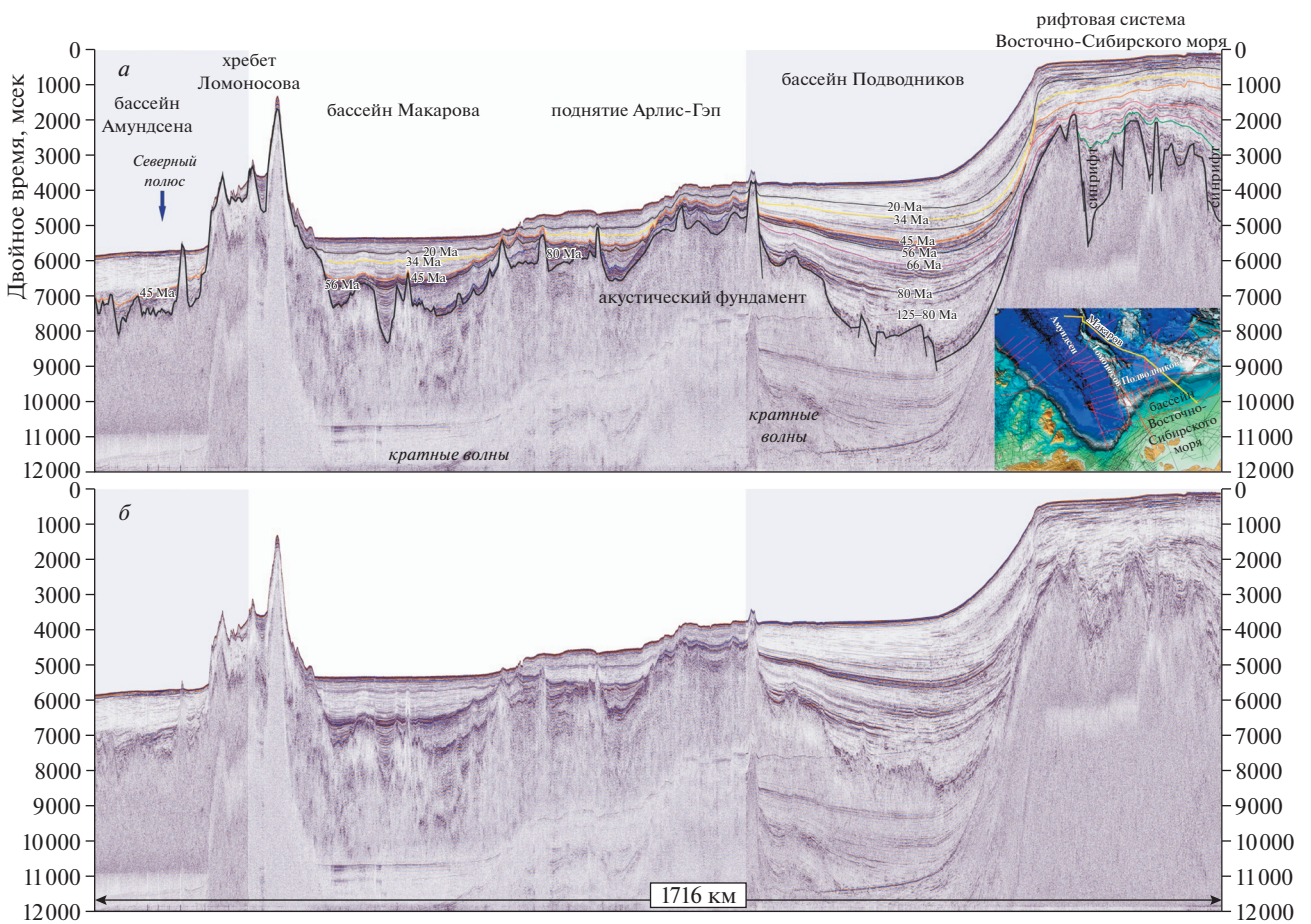


Рис. 6. Композитный сейсмический профиль, пересекающий Арктический океан от Восточно-Сибирского моря до Северного полюса, и его геологическая интерпретация. Цифры на границах на профиле показывают возраст геологической границы, млн лет. На карте показано положение профиля

вателей продолжает утверждать, что кора поднятия Альфа-Менделеева целиком базальтовая. Сейчас принята трёхслойная модель строения этого подводного хребта [5, 16]: верхняя часть сложена меловыми базальтами, средняя – слоем доордовикской континентальной кристаллической коры с многочисленными меловыми базальтовыми интрузиями и деформированным палеозойским осадочным чехлом, нижняя часть представлена меловыми базальтовыми интрузиями, которые внедрились между корой и мантией (так называемый магматический андерплейтинг).

High Arctic Large Igneous Province (HALIP) или гигантская магматическая провинция Высокой Арктики. Для арктических островов давно известны трапповые (базальтовые) провинции [19]. Они изучены для Канадского архипелага (остров Элмир и др.), Земли Франца Иосифа, Шпицбергена и островов Де-Лонга. По сейсмическим данным нами выделена меловая магматическая провинция севернее острова Врангеля. Во всех провинциях магматизм начался около 130–125 млн лет назад. На Канадском архипелаге было несколько фаз магматизма, последняя закончилась около 80 млн лет назад. На поднятии Альфа-Менделеева эти процессы происходили, согласно возрастам базальтов, 127–80 млн лет с пиком около 110–115 млн лет. В зоне арктических островов выделяется одна из крупнейших на Земле область значительных положительных магнитных аномалий, которая интерпретируется исследователями как область мелового магматизма. Считается, что для всех арктических островов характерен внутриплитный (внутриконтинентальный) магматизм траппового типа.

Происхождение хребта Альфа-Менделеева до сих пор остаётся загадкой. Учёные предлагают минимум три гипотезы. Первая гипотеза: поднятие образовалось над мантийным плюмом при раздвижении (спрединге) Амеразийского бассейна. В таком случае его можно рассматривать как аналог Исландии (точнее, Гренландско-Исландско-Фарерского поднятия, которое пересекает Северную Атлантику). Возраст магматизма, согласно данной версии, должен постепенно уменьшаться к области сочленения поднятий Альфа и Менделеева. Доказательств этому пока нет, а имеющиеся данные противоречат гипотезе. Вторая гипотеза: поднятие Альфа-Менделеева является меловым срединно-океаническим хребтом для Амеразийского бассейна. В этом случае возраст магматизма должен уменьшаться к осевой части поднятия. Между тем имеющиеся данные противоречат этому выводу. Первой и второй гипотезам противоречат также новые данные, показывающие наличие палеозойского осадочного чехла. Из этого вытекает, что кора поднятия, по крайней мере на значительной его части, имеет континентальный характер. Третья гипотеза: поднятие Альфа-Менделеева начало формиро-

ваться как вулканическая пассивная континентальная окраина Евразийского континента, при этом было сильное растяжение континентальной коры и рифтинг сопровождался крупномасштабным магматизмом. Данный процесс не дошёл до раскрытия нового океанического бассейна. Его аналогом могут быть ранние стадии раскрытия Северной Атлантики в эоцене, но там процесс прерос в спрединг океанической коры, а в случае поднятия Альфа-Менделеева процесс раскрытия океана был прерван. В любом случае поднятие Альфа-Менделеева и HALIP – важнейшие проблемы современной геологии.

Шельфовые бассейны Восточной Арктики. В Восточной Арктике располагаются шельфовые осадочные бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Крупнейшие осадочные бассейны – Западно-Лаптевский (или Усть-Ленский), Восточно-Лаптевский (или Анисинский), Северо-Чукотский, Южно-Чукотский и бассейн Восточно-Сибирского моря (или Мельвилльский). Они начали формироваться как континентальные рифты. Бассейны от Восточно-Лаптевского до Северо-Чукотского имели основную фазу рифтинга в раннем мелу в апте-альбе. Этот процесс был связан с образованием глубоководных котловин типа Подводников и бассейна Чукотской абиссальной равнины (или Толля) в глубоководной части Арктического океана. В Западно-Лаптевском бассейне основная фаза рифтинга пришлась на палеоцен. Рифтинг связывают с последующим раскрытием Евразийского океанического бассейна.

Северо-Чукотский бассейн уникален по размерам. Толщина чехла его осадочных пород достигает 18–22 км. При этом у бассейна сильно утонённая континентальная кора, что закономерно порождает вопрос: как такое сверхсильное утонение происходит при растяжении? Шельфовые бассейны Восточно-Сибирского и Чукотского морей уникальны тем, что в их пределах было несколько фаз рифтинга: главная в апте-альбе и дополнительные в кайнозое (особенно 45–37 млн лет назад). При этом около 66 и 34–20 млн лет назад были фазы сжатия. Континентальный рифтинг в Западно-Лаптевском бассейне связан с историей раскрытия Евразийского бассейна, и даже сейчас рифтинг имеет место на продолжении срединно-океанического хребта Гаккеля.

Шельфовые бассейны Западной Арктики. В пределах Баренцева и Карского морей расположены крупные осадочные бассейны, имеющие системы континентальных рифтов: Западно-Баренцевский и Восточно-Баренцевский – в норвежской и российской частях моря соответственно, Северо-Карский и Южно-Карский – в северной и южной частях Карского моря соответственно. В основании Западно-Баренцевского бассейна

заложена крупная система рифтов карбонового возраста. Для таких областей типичны большие соляные диапиры с солями карбонового и раннепермского возраста.

Восточно-Баренцевский бассейн — один из крупнейших в России. Толщина его осадочного чехла достигает 15–20 км. Под чехлом находится гиперрастянутая континентальная кора. В основании лежат многочисленные рифты позднедевонского возраста. Некоторые сбросы активизировались в карбоне. Бассейн с карбона развивался за счёт пострифтового погружения. Основная фаза его заполнения осадками приходится на ранний триас. Примерно за 5 млн лет накопилось около 5 км осадков (в основном глины). Это связано с тем, что в раннем триасе в области Западной и Восточной Сибири было воздымание и крупные реки типа Оби и Енисея транспортировали осадочный материал в район глубоководного Восточно-Баренцевского бассейна, который пронизан огромным количеством раннемеловых интрузий в виде силлов и даек. Они одновозрастны базальтам (траппам) Земли Франца Иосифа. Наличие интрузий указывает на то, что в районе Земли Франца Иосифа в раннем мелу (вероятно, в барреме-апте) была огромная по масштабам область магматизма, связанная с крупным мантийным плюмом.

На севере Карского моря располагается Северо-Карский бассейн с мощностью осадочного чехла до 10–15 км. В его основании лежит система рифтов предположительно раннеордовикского возраста. Бассейн испытал сжатие с многофазовой инверсией некоторых рифтов в девоне-раннем карбоне. Это событие, вероятно, связано со столкновением района Северо-Карского бассейна, входившего в Восточно-Европейский континент (Балтику), с районом Таймыра, который был частью Сибирского континента. На Таймыре произошёл орогенез, а область Северо-Карского бассейна подверглась пологим деформациям и воздыманию.

На юге Карского моря расположен Южно-Карский бассейн с системой рифтов пермо-триасового возраста в основании. Этот бассейн является естественным продолжением в море Западно-Сибирского мегабассейна.

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ГЛУБОКОВОДНОГО БАССЕЙНА (ОКЕАНА)

В Арктическом океане выделяются два глубоководных бассейна: Евразийский и Амеразийский. Их разделяет хребет Ломоносова. Евразийский бассейн — это продолжение Атлантического океана. Есть общее мнение, что он начал формироваться примерно с границы палеоцена и эо-

цена — около 56 Ма (мегааннум — миллион лет назад). Этому процессу предшествовал континентальный рифтинг. Палеоценовые рифты известны в море Лаптевых и на склоне хребта Ломоносова.

По вопросу формирования Амеразийского бассейна существуют разные точки зрения [1, 18, 21–23] (рис. 7). Часть исследователей считает, что данный бассейн является единой структурой и раскрывался по сценарию ротационной модели при раздвижении друг от друга Азии и Северной Америки с главным сдвигом (трансформным разломом) вдоль склона хребта Ломоносова. В научной литературе ротационную модель часто называют *windshield wiper model* — моделью стеклоочистителя на ветровом стекле автомобиля. Временем раскрытия бассейна считается юрамел. При этом структура поднятия Альфа-Менделеева формировалась либо синхронно с раскрытием Амеразийского бассейна по механизму формирования Исландского плато, либо плюмовый магматизм наложился на ранее образованную океаническую кору.

Другие исследователи предполагают, что Амеразийский бассейн был сформирован в несколько этапов с различными геодинамическими механизмами. Первый вариант: трансформный разлом при раскрытии Канадского бассейна проходил не по склону хребта Ломоносова, а по границе поднятия Альфа-Менделеева. В таком случае сначала возник Канадский бассейн по ротационной модели, а затем в новую эпоху формировалась система бассейнов Подводников–Макарова. При таком сценарии поднятие Альфа-Менделеева по своему строению должно быть похоже на хребет Ломоносова. Второй вариант: трансформный разлом при раскрытии Канадского бассейна проходил не по склону хребта Ломоносова, а по восточной границе Чукотского плато. Область поднятия Альфа-Менделеева и сопряжённые глубоководные бассейны типа Подводников формировались потом в связи с суперплюмом HALIP как система вулканической пассивной континентальной окраины хребта Ломоносова (в то время — Европейского континента) (рис. 8). Мы придерживаемся этой версии, которая сегодня выглядит более убедительной. Есть группа исследователей, считающих, что именно Канадский бассейн — самая молодая часть Амеразийского бассейна, сложившаяся в палеоценовое время. Налицо большое разнообразие моделей формирования Амеразийского бассейна, и споры будут продолжаться.

Арктический океан как глубоководный бассейн определённо существовал с мелового времени, хотя мы точно не знаем его палеоструктуры для разных периодов. Современный Арктический океан сообщается с Мировым океаном через

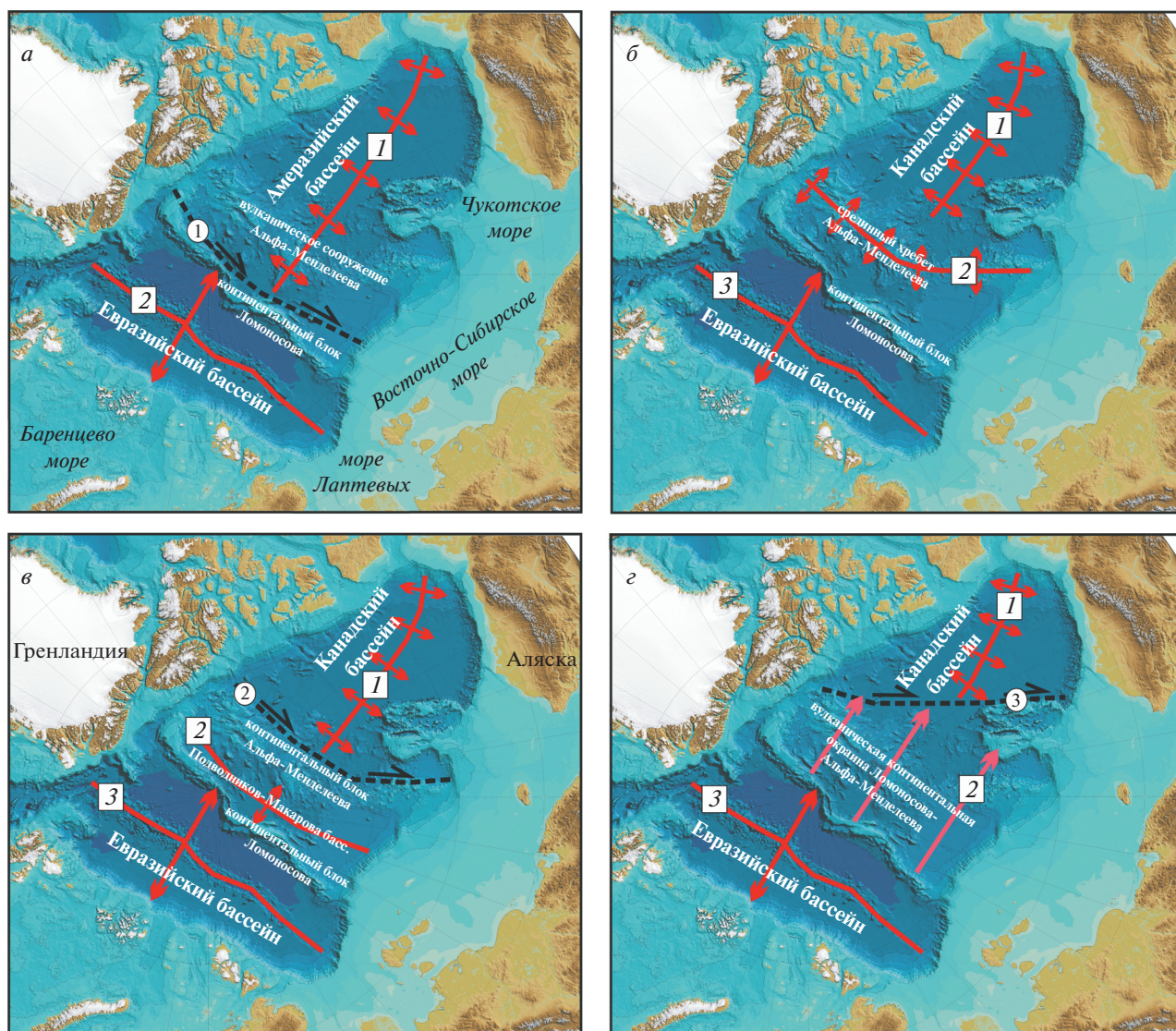


Рис. 7. Четыре наиболее часто обсуждаемые модели геологической истории Арктического океана

a – классическая ротационная модель; 1 (в квадрате) – раскрытие Амеразийского бассейна в юре-мелу (показано положение оси спрединга), 2 (в квадрате) – раскрытие Евразийского бассейна в эоцене-квартере; 1 (в кружке) – главный трансформный разлом вдоль хребта Ломоносова

б – модель с поднятием Альфа-Менделеева как срединно-океаническим хребтом; 1 – раскрытие Канадского бассейна в юре-мелу, 2 – формирование срединно-океанического хребта над мантийным плюмом в мелу, 3 – раскрытие Евразийского бассейна в эоцене-квартере

в – ротационная модель с главным трансформным разломом вдоль поднятия Альфа-Менделеева; 1 – раскрытие Канадского бассейна в юре-мелу, 2 – раскрытие бассейна Подводников-Макарова в позднем мелу-палеоцене, 3 – раскрытие Евразийского бассейна в эоцене-квартере; 2 (в кружке) – главный трансформный разлом

г – модель с поднятием Альфа-Менделеева как вулканической континентальной окраиной; 1 – раскрытие Канадского бассейна с главным трансформным разломом вдоль края Чукотского плато (хребта Нортвинд, обозначенного цифрой 3 в кружке), 2 – формирование области Альфа-Менделеева-Ломоносова как вулканической континентальной окраины с крупномасштабным рифтингом и плюмовым магматизмом в мелу, 3 – раскрытие Евразийского бассейна в эоцене-квартере

глубоководный пролив Фрама, имеющий выход в Северную Атлантику. С Атлантикой есть связь через шельф Баренцева моря, с Тихим океаном – только через шельфовый Берингов пролив. Пролив Фрама сформировался около 18 Ма. До этого глубоководный Арктический океан мог сооб-

щаться с другими океанами только через шельфовые мелководные моря.

Наука не раз задавалась вопросом: был ли когда-нибудь Арктический океан изолированным от Мирового океана, представлявшим собой глу-

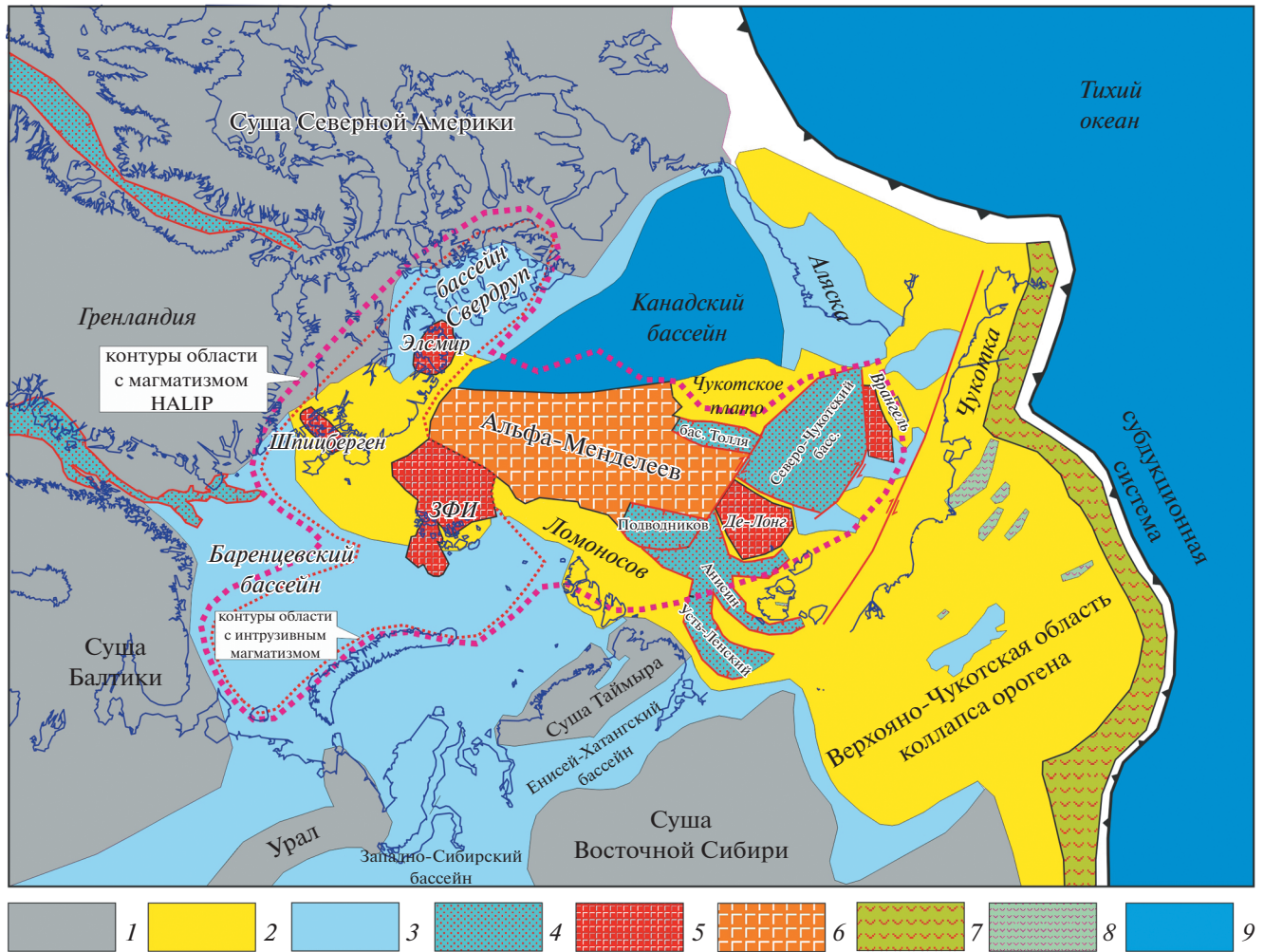


Рис. 8. Тектоническая реконструкция Арктики для раннего мела (апта и альба), в период которого шла максимальная активность мантийного суперплюма HALIP; 1 – стабильная суша, 2 – тектонически активная суша, 3 – осадочные бассейны на континентальной коре разных типов, 4 – крупные континентальные рифты, 5 – области траппового (базальтового) магматизма, 6 – область Альфа-Менделеева с крупномасштабным магматизмом и рифтингом, 7 – Охотско-Чукотский окраинно-континентальный вулканический пояс, 8 – области внутриконтинентального вулканизма в апте в области коллапса орогена, 9 – глубоководные бассейны в основном с океанической корой, образовавшиеся до магматизма HALIP

боководное озеро-море, или он всегда сообщался с ним, находясь в соответствии с уровнем его воды [24]. На этот вопрос можно ответить, изучая шельфовые осадочные бассейны Чукотского и Восточно-Сибирского морей, в которых толщины мел-кайнозойских осадков достигают 15–20 км. Предварительный анализ показывает, что начиная с мелового периода Арктический океан почти непрерывно сообщался с водами Мирового океана. Но когда-то он мог быть изолированным озером-морем. Речь идёт о среднем-позднем эоцене: для осадков этого возраста фиксируется опреснение верхней части водной массы. Тем не менее вопрос нельзя считать решённым.

До открытия пролива Фрама, то есть около 18 Ма, Арктический океан был связан с Мировым океаном только мелководными проливами. Для такой обстановки характерно отсутствие мощных глубоководных донных течений и кислорода в толще океанической воды. После открытия пролива стали возможны сильные донные течения, включая контурные. При интерпретации сейсмических профилей чётко видно, что примерно 18 Ма на континентальных склонах появились следы подводной эрозии и осадки типа контуритов, которые образованы донными течениями. Значит, около 18 Ма принципиально изменилась картина циркуляции океанических вод в Арктическом океане.

ИСТОРИЯ КЛИМАТА АРКТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Качественно новый этап исследований наступил, когда на хребте Ломоносова в научных целях была пробурена скважина. В результате детального исследования полученного керна разработана модель истории климата для кайнозоя [24]. Показано, что эпоха потепления пришлась на конец палеоцена — ранний эоцен (около 56–45 Ма). Около 45 Ма фиксируется ледниковый разнос обломочного материала, что свидетельствует о наступлении резкого похолодания. Начало материкового оледенения в Арктике пока точно не датировано. Но можно сказать, что это произошло около 3–4 млн лет назад или ранее. История климата в меловое время изучена на основе анализа палеофлоры вокруг океанического бассейна и на его островах. В целом в меловую эпоху было относительно тепло, хотя Арктика, как и сейчас, находилась в районе Северного полюса.

Сейсмические методы позволяют выделить толщи осадков с разными физическими свойствами. Арктический океан с мелового периода находился в приполярном регионе. Седиментация в глубоководном бассейне определяется в том числе и климатом. При его резком изменении вероятно смена характера литологии осадков. Например, меняется количество биогенного кремнистого материала. На сейсмических профилях мы выделяем два уровня с регионально выраженными пакетами ярких рефлекторов. Возраст верхнего уровня — ориентировочно 56–45 Ма, нижнего — 100–80 Ма. Верхний уровень изучен по результатам бурения на хребте Ломоносова и ему соответствуют особые осадки с кремнистым материалом, которые формировались в эпоху глобального потепления. Нижний уровень с аномальной литологией может соответствовать позднемеловому периоду потепления. Наши рассуждения пока предварительны, но осадочный чехол Арктики отражает основные климатические события в мезозое и кайнозое. Это важное направление дальнейших исследований, для развития которых требуется новое научное бурение.

На шельфах Арктического океана и в ряде его более глубоководных частей видны воздействия движения ледников на дно. Кроме того, отмечается большое разнообразие морфологических форм, связанных с деятельностью ледников и айсбергов, которые сохранились от эрозии под слоем воды. Сейчас учёные активно изучают эти особенности.

УГЛЕВОДОРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АРКТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Считается, что Арктический регион имеет огромный потенциал неразведанных запасов

нефти и природного газа. Мы разделяем Арктический океан на его глубоководную область и шельфы России. Когда обсуждается углеводородный потенциал, то надо иметь в виду наличие трёх основных составляющих: нефтематеринские отложения, потенциальные коллекторы (резервуары для углеводородов) и так называемые покрывающие.

В глубоководных бассейнах Арктики и на их склонах обнаружены осадки не древнее меловых (или юрских, по мнению некоторых исследователей). В разрезе бассейнов преобладают глины и алевролиты, которые по определению не могут быть хорошими нефтематеринскими отложениями. Надо понять, есть ли в глубоководных бассейнах особые горизонты с богатыми органикой породами. Для Арктики, по данным бурения хребта Ломоносова, показано, что отложения возрастом 56–45 Ма богаты органикой. По данным интерпретации сейсмических профилей, толща с этим возрастом распространена в большей части океана. По этим же сведениям можно выделить толщу возрастом около 100–80 Ма с аномальной литологией. Наличие в этих породах нефтематеринских отложений обосновано для Канадского архипелага.

Ранее мы отмечали, что до 18 Ма водные толщи Арктического океана, возможно, были бескислородными из-за отсутствия значительных донных течений и крупномасштабной циркуляции водных масс. Такие обстановки способствуют формированию нефтематеринских отложений, что позволяет говорить об углеводородном потенциале глубоководной части Арктического океана. Однако для корректного обсуждения этой проблемы нужны дополнительные исследования.

На шельфовых морях обнаружено много осадочных бассейнов. В Восточной Арктике находятся бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Они сложены осадочными породами мел-кайнозойского возраста с вероятным разрезом глин, алевролитов и песчаников (без карбонатов, но, возможно, с кремнистыми отложениями). Без бурения этих бассейнов нельзя определённо утверждать, что они обладают значительными по масштабам нефтематеринскими отложениями. Сейсмические данные указывают на их вероятность. Но пока нет ни одной скважины, нет и определённого ответа. По сейсмическим данным установлено большое количество тел возможных песчаников, поэтому уверенно можно говорить о наличии коллекторов на шельфе Восточной Арктики.

В Западной Арктике расположены три крупных осадочных бассейна: Восточно-Баренцевский, Северо-Карский и Южно-Карский. В аномально глубоком Восточно-Баренцевском бассейне можно выделить три основных уровня с потенциальными нефтематеринскими отложе-

ниями: поздний девон-пермь, триас и юра-мел. На всех уровнях вероятны нефтематеринские отложения, но нужна дополнительная информация, так как скважины пробурили в основном мезозойские отложения. В данном бассейне многие стратиграфические интервалы имеют тела песчаников, способные выполнять роль коллектора. На палеошельфе Восточно-Баренцевского бассейна вдоль его современных границ замечены палеозойские карбонатные постройки, которые тоже могут быть хорошими коллекторами.

Северо-Карский бассейн пока слабо изучен, в его пределах нет ни одной скважины. Для этого бассейна намечены уровни с потенциальными нефтематеринскими отложениями, коллекторами и покрывками. Но без бурения однозначных ответов по поводу его углеводородного потенциала нет.

Южно-Карский бассейн является естественным продолжением осадочного бассейна Западной Сибири. Он определённо имеет крупные или гигантские месторождения газа. Его бортовые части обладают серьёзным нефтяным потенциалом.

За последние 2–3 млн лет в Западной Арктике было много оледенений с формированием мощных континентальных ледников. Движение ледников вызвало эрозию осадочного чехла со срезанием толщи осадков до 500–1500 м. Данные процессы, вероятно, играли существенную роль в сохранности залежей углеводородов, но это отдельный вопрос, требующий своего решения.

* * *

Мы кратко изложили некоторые проблемы геологии Арктического океана. При этом Арктика по-прежнему остаётся малоизученной. Необходимо продолжить исследование региона для понимания будущего климата и экологии Земли, оценки его потенциала на углеводороды и экономического освоения огромной территории.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (18-05-70011 и 18-05-00495).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Laverov N.P., Lobkovsky L.I., Kononov M.V. et al.* A geodynamic model of the evolution of the Arctic basin and adjacent territories in the Mesozoic and Cenozoic and the outer limit of the Russian Continental Shelf // *Geotectonics*. 2013. V. 47. № 1. P. 1–30.
2. *Jakobsson M., Backman J., Rudels B. et al.* The Early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean // *Nature*. 2007. V. 447. P. 987–990.
3. *Backman J., Jakobsson M., Frank M. et al.* Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // *Paleoceanography*. 2008. V. 23. № 1. P. 1–15.
4. *Chernykh A.A., Krylov A.A.* Sedimentogenesis in the Amundsen Basin from geophysical data and drilling results on the Lomonosov Ridge // *Doklady Earth Sciences*. 2011. V. 440(2). P. 1372–1376.
5. *Nikishin A.M., Malyshev N.A., Petrov E.I.* Geological Structure and History of the Arctic Ocean. Netherlands: EAGE Publ., 2014.
6. *Nikishin A.M., Gaina C., Petrov E.I. et al.* Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultraslow spreading and continental rifting revealed by new seismic data // *Tectonophysics*. 2018. V. 746. P. 64–82.
7. *Skolotnev S.G., Fedonkin M.A., Korniyuchuk A.V.* New Data on the Geological Structure of the Southwestern Mendeleev Rise, Arctic Ocean // *Doklady Earth Sciences*. 2017. V. 476. № 1. P. 1001–1006.
8. *Skolotnev S., Akeksandrova G., Isakova T. et al.* Fossils from seabed bedrocks: implication to the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (the Arctic Ocean) // *Marine and Petrol. Geol.* 2019. V. 407. P. 148–163.
9. *Ilhan I., Coakley B.J.* Meso-Cenozoic evolution of the Chukchi Shelf and North Chukchi Basin, Arctic Ocean // *Marine and Petrol. Geol.* 2018. V. 95. P. 100–109.
10. *Nikishin A.M., Startseva K.F., Verzhbitsky V.E. et al.* The sedimentary basins of the East Siberian Sea and Chukchi Sea and the adjacent area of the Amerasian Basin: seismic stratigraphy and the stages of geological history // *Geotectonics*. 2019. V. 53. № 6. P. 635–657.
11. *Glebovsky V.Yu., Kaminsky V.D., Minakov A.N. et al.* Formation of the Eurasia Basin in the Arctic Ocean as Inferred from Geohistorical Analysis of the Anomalous Magnetic Field // *Geotectonics*. 2006. V. 40. № 4. P. 263–281.
12. *Knudsen C., Hopper J.R., Bierman P.R. et al.* Samples from the Lomonosov Ridge place new constraints on the geological evolution of the Arctic Ocean // *Circum-Arctic Lithosphere Evolution* / Eds. V. Pease, B. Coakley. London: The Geological Society of London, 2017.
13. *Rekant P., Sobolev N., Portnov A. et al.* Basement segmentation and tectonic structure of the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean: Insights from bedrock geochronology // *Journal of Geodynamics*. 2019. V. 128. P. 38–54.
14. *Hutchinson D.R., Jackson H.R., Houseknecht D.W. et al.* Significance of northeast-trending features in Canada Basin, Arctic Ocean // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2017. V. 18. P. 4156–4178.
15. *Petrov O., Morozov A., Shokalsky S. et al.* Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // *Earth Sci. Rev.* 2016. V. 154. P. 29–71.
16. *Kashubin S.N., Petrov O.V., Artemieva I.M. et al.* 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. V. 119. P. 107–122.

17. *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 // *J. Geol. Soc. London*. 2016. V. 173. № 6. P. 967–987.
18. *Vernikovskiy V.A., Dobretsov N.L., Metelkin D.V. et al.* Concerning tectonics and the tectonic evolution of the Arctic // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. V. 54. P. 838–858.
19. *Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Karyakin Yu.V. et al.* Mesozoic-Cenozoic volcanism and geodynamic events in the Central and Eastern Arctic // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. V. 54. P. 874–887.
20. *Nikishin A.M., Petrov E.I., Cloetingh S. et al.* Geological structure and history of the Arctic Ocean based on new geophysical data: Implications for paleoenvironment and paleoclimate. Part 2. Mesozoic to Cenozoic geological evolution // *Earth-Science Reviews*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103034>
21. *Shipilov E.V.* Basaltic magmatism and strike-slip tectonics in the Arctic margin of Eurasia: evidence for the early stage of geodynamic evolution of the Amerasia Basin // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57. P. 1668–1687.
22. *Lobkovskiy L.I.* Deformable plate tectonics and regional geodynamic model of the Arctic region and Northeastern Asia // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57. P. 371–386.
23. *Somme T.O., Doré A.G., Lundin E.R., Tørudbakken B.O.* Triassic–Paleogene paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill // *AAPG Bulletin*. 2018. V. 102. № 12. P. 2481–2517.
24. *Stein R.* Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies, and Paleoenvironment. N.Y.: Elsevier Science, 2008.