

УДК: 551.242.056

## СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ И ЭТАПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО И ЧУКОТСКОГО МОРЕЙ И СОПРЯЖЕННОЙ ЧАСТИ АМЕРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА

А.М. Никишин<sup>1,\*</sup>, К.Ф. Старцева<sup>1</sup>, В.Е. Вержбицкий<sup>2</sup>, С. Клутиг<sup>3</sup>,  
Н.А. Малышев<sup>2</sup>, Е.И. Петров<sup>4</sup>, Х. Посамантиер<sup>5</sup>, С.И. Фрейман<sup>1</sup>,  
М.Д. Линева<sup>6</sup>, Н.Н. Жуков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, Россия

<sup>2</sup>ПАО НК «Роснефть», 117997, Москва, Софийская набережная, д.26/1, Россия

<sup>3</sup>Utrecht University, PO Box 80125, 3508 TC, Utrecht, The Netherlands

<sup>4</sup>Министерство природных ресурсов и экологии РФ,  
125993, Москва, Б. Грузинская ул., д.4/6, Россия

<sup>5</sup>Consultant, 25 Topside Row Drive, The Woodlands, TX 77380, USA

<sup>6</sup>ООО «Центр исследования геологических данных «ГеоГрид»,  
119071, Россия, г. Москва, ул. М. Калужская, д. 15, Россия

\*e.mail: nikishin@geol.msu.ru

Поступила в редакцию 27.05.2019г.; после исправления 23.07.2019г.; принята в печать 24.09.2019г.

Для шельфовых бассейнов Восточно-Сибирского и Чукотского морей и сопряженной глубоководной части Амеразийского бассейна разработана схема сейсмостратиграфии и выделены мегасеквенции или тектоностратиграфические единицы с условными возрастными 125–100, 100–80, 80–66, 66–56, 46–45, 45–34, 34–20, 20–0 млн лет. Между Новосибирскими островами и островами Де-Лонга выделен Жоховский краевой прогиб позднеюрско-неокомского возраста. В регионе на шельфах выделены три основных фазы рифтинга с возрастными 125–100, 66–56 и 45–37 млн лет. В бассейнах Подводников и Толля основная фаза континентального рифтинга состоялась 125–100 млн лет назад. Для интервала времени 66–20 млн лет назад происходило типичное клиноформное накопление осадков на краю шельфа. С учетом характера накопления осадков мы выделили три синтетектонические эпохи формирования клиноформных комплексов с возрастными 66–45, 45–34 и 34–20 млн лет. Около 66 млн лет назад была фаза воздымания и сжатия в районе острова Врангеля. 20 млн лет назад началась относительно однообразная тектоническая обстановка с одинаковыми толщами осадочного чехла.

**Ключевые слова:** Арктика, Северо-Чукотский бассейн, бассейн Восточно-Сибирского моря, бассейн Подводников, поднятие Менделеева, сейсмостратиграфия

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0016-853X201963-26>

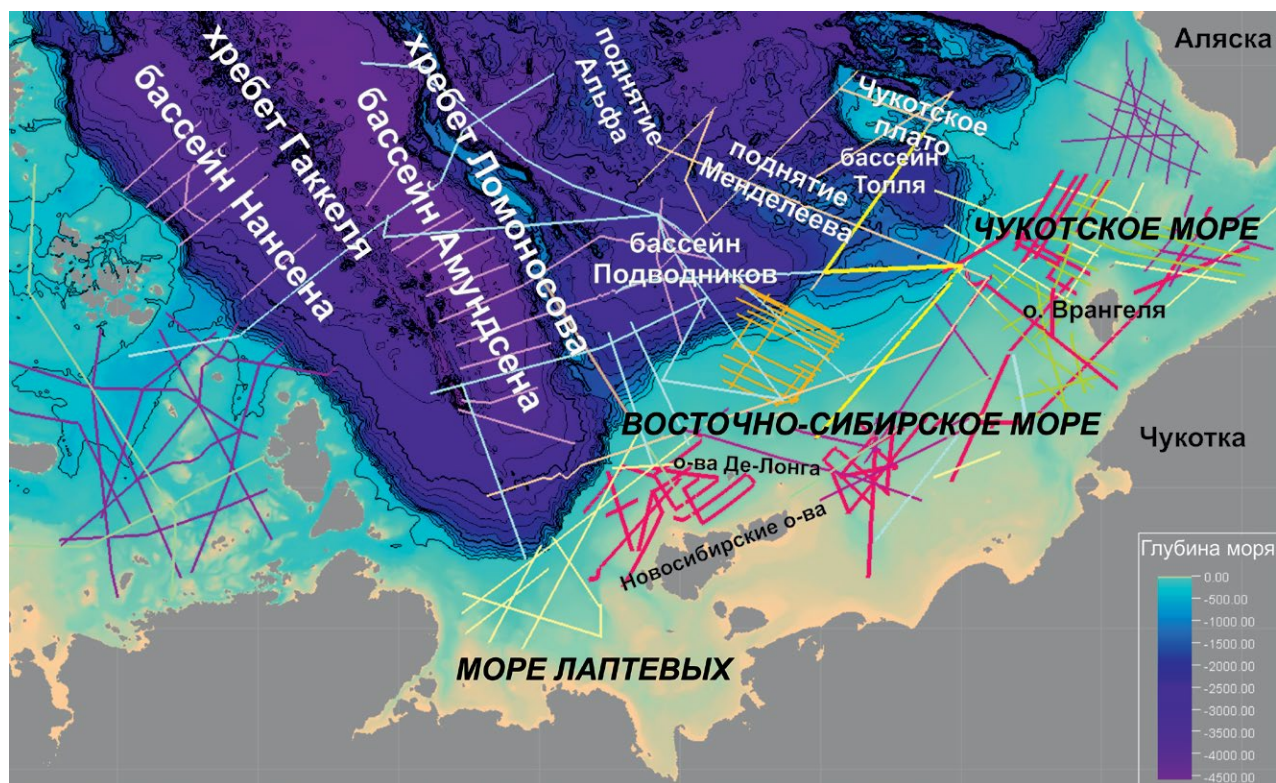
### ВВЕДЕНИЕ

Шельфы Восточно-Сибирского и Чукотского морей совместно с глубоководными бассейнами Подводников и Толля (Чукотской абиссальной равнины) и поднятием Менделеева традиционно относятся к области Восточной Арктики России и сопряженных территорий (рис. 1, рис. 2). В последние годы для этого региона было сделано большое количество сейсмических профилей (см. рис. 1), которые позволяют существенно уточнить геологическое строение огромной области.

В географическом плане территория охватывает сушу северной части Сибири, Чукотки и Аляски, Новосибирские острова и остров Врангеля. К севе-

ру располагается область континентального склона. Крупной геоморфологической структурой континентального склона является терраса Кучерова. В глубоководной части выделяются два крупных бассейна: Подводников и Толля, которые разделены поднятием Менделеева. К западу от бассейна Подводников расположен хребт Ломоносова, который разделяет Амеразийский и Евразийский глубоководные бассейны. К востоку от бассейна Толля расположено поднятие Чукотского плато.

На суше и на островах преобладают области верхояно-чукотской складчатости с завершением орогенических событий перед аптом (ранний мел)



**Рис. 1.** Батиметрическая карта Восточной Арктики. Показано (линии) расположение сейсмических профилей.

[1, 10, 13, 16, 50, 53, 58]. На шельфе выделяются крупные осадочные прогибы [7, 24, 48, 52, 53]. Северо-Чукотский (севернее острова Врангеля), Южно-Чукотский (южнее острова Врангеля), бассейн Восточно-Сибирского моря в одноименном море (Мельвилльский, Северо-Мельвилльский и Манский прогибы), Анисинский прогиб (севернее Новосибирских островов).

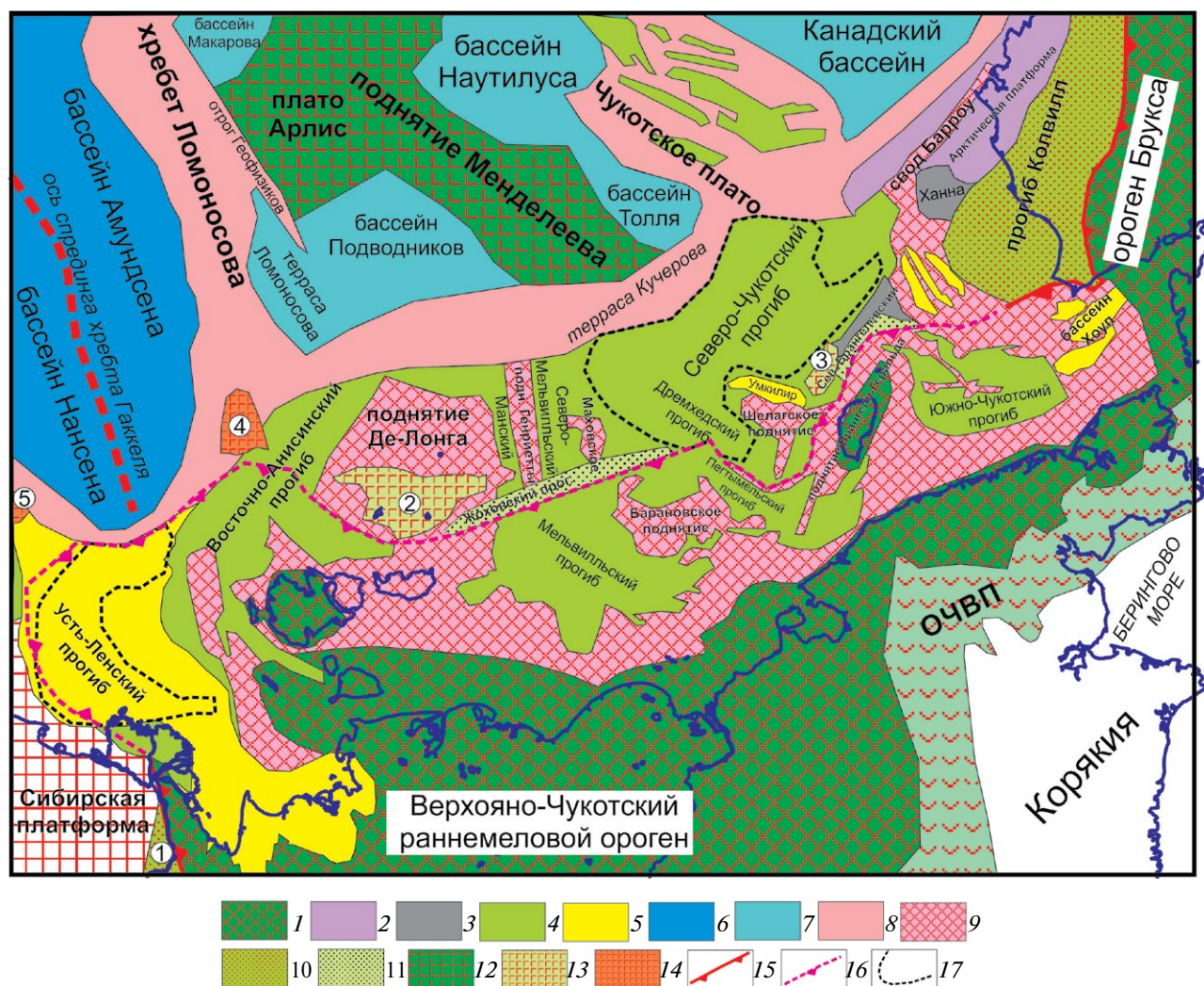
На шельфе морей выделен пояс надвигов Жохова–Врангеля–Геральда, который прослеживается севернее острова Врангеля и между Новосибирскими островами и островами Де-Лонга [8, 10, 24]. Южнее данного пояса надвигов располагается мезозойский (доаптский) Чукотско-Новосибирский ороген. К северу выделен крупный блок с домезозойской континентальной корой, который Н.С. Шатский назвал Гиперборейской платформой [13], Л.П. Зоненшайн – Арктидой [2, 40, 65]. Фрагментами этого крупного супертеррейна являются массив Де-Лонга в районе островов Де-Лонга и блок Чукотского плато [10, 24].

В глубоководной части Арктического океана выделяются хребет Ломоносова и Чукотское плато. Все исследователи считают, что эти террейны имеют континентальную кору [51, 53]. Для бассейнов Подводников и Толля имеются разные точки зрения. Одни исследователи считают, что под ними располагается мезозойская океа-

ническая кора, другие исследователи полагают, что под бассейнами находится сильно утоненная рифтингом континентальная кора [34, 35, 46, 49, 51, 53, 54].

Принято считать, что поднятие Менделеева является в значительной степени мезозойским вулканическим сооружением, при этом есть мнение, что это – океаническое плато с базальтовой корой [35], однако исследователи допускают, что фундаментом является сильно утоненная континентальная кора [2, 18, 36, 46, 49, 53, 57].

Для Восточной Арктики сохраняется много геологических проблем. Важнейшей проблемой является обоснование единой стратиграфической схемы для данного региона. В последние годы получено много новых региональных сейсмических профилей. На основании этих данных во многих организациях России составлены схемы сейсмостратиграфии Арктического региона. К основным исследованиям следует отнести работы, проведенные ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) [23, 53], ОАО «Дальморнефтегеофизика» (г. Южно-Сахалинск) [7], ОАО «МАГЭ» (г. Мурманск) [4, 5], ВНИИОкеангеология (г. Санкт-Петербург) [9, 54], МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет (г. Москва) [46, 49, 47, 61], ПАО НК «Роснефть», исследователей стран Европы и из США [21, 26, 29–32, 38, 45, 63].



**Рис. 2.** Тектоническая схема района Восточной Арктики (по [46, 49], с изменениями и дополнениями). Обозначены (цифры в кружках): 1 – Предверхооянский краевой прогиб, 2 – траппы Де-Лонга, 3 – Северо-Чукотские траппы, 4 – траппы Анисин-Ломоносов, 5 – траппы Фаддея. ОЧВП – Охотско-Чукотский меловой вулканический пояс.

1 – меловые орогенные; 2 – осадочные бассейны нерасчлененные, 3–5 – осадочные бассейны с рифтингом: 3 – карбовым, 4 – апт-альбским, 5 – кайнозойским; 6 – Евразийский бассейн с океанической корой; 7 – бассейны с гипер-растянутой континентальной корой; 8 – пассивные континентальные окраины и континентальные террасы; 9 – относительные поднятия, перекрытые осадочным чехлом; 10–11 – краевые прогибы: 10 – мезозойский, 11 – Жоховский позднеюрско–неокомский, перекрытый более молодыми осадками; 12 – меловое рифтово-вулканическое сооружение поднятия Менделеева; 13–14 – вероятные траппы под более молодыми осадками: 13 – апт-альбские, 14 – палеоцен-эоценовые; 15–16 – надвиговый пояс перед фронтом: 15 – мезозой, 16 – мезозой, перекрытый более молодыми осадками; 17 – наиболее глубокие области осадочных бассейнов с сильно утоненной континентальной корой

Целью статьи является обновление и дополнение региональной сейсмостратиграфии, основанные на интерпретации максимального объема полученных сейсмических данных.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходными данными является сеть региональных сейсмических профилей (см. рис. 1). Все приведенные профили образуют единый проект

в компьютерной системе Petrel, что позволяет делать любые композитные сейсмические профили и прослеживать все границы в системе всех профилей. В регионе отсутствуют глубокие скважины, поэтому единственным методом создания сеймостратиграфии является выделение сеймостратиграфических мегакомплексов (мегасеквенций), т.е. выделение тектоностратиграфических единиц по методике [48]. В системе тектоностратиграфии сейсмические профили интерпретируются в тер-

минах тектонических обстановок формирования разных сейсмостратиграфических мегакомплексов, например, выделяются синрифтовые, пострифтовые комплексы, сининверсионные комплексы, комплексы краевых прогибов и др.

В данной работе мы использовали Российские федеральные сейсмические профили в основном из серии «Арктика» [54], которые были сделаны для проекта по «Внешним границам Арктического шельфа России», а также федеральные сейсмические профили, сделанные компаниями ОАО «МАГЭ» (г. Мурманск), ОАО «Севморнефтегеофизика» (г. Мурманск) и ОАО «Дальморнефтегеофизика» (г. Южно-Сахалинск) и «ION-GXT».

### ОБОСНОВАНИЕ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

В данной работе мы опираемся на предлагаемую модифицированную схему сейсмостратиграфии Арктического региона [11, 27, 37, 40, 46, 47, 49]. В основу схемы заложена следующая группа данных:

- корреляция сейсмических горизонтов с возрастами линейных магнитных аномалий в Евразийском бассейне [12, 46, 47, 49];
- корреляция сейсмических горизонтов с данными бурения скважин АСЕХ на хребте Ломоносова [33, 17, 60];
- корреляция сейсмических горизонтов с результатами литологического и фаунистического опробования подводными аппаратами трех склонов в районе поднятия Менделеева [57];
- корреляция сейсмических горизонтов с данными бурения на шельфе Аляски [42, 44, 56].

В итоге нами были выделены сейсмические границы с примерным возрастом 125, 100, 80, 66, 56, 45, 34 и 20 млн лет. Наша схема, в некоторой степени, дополняет одну из первых сейсмостратиграфических схем для Восточной Арктики, разработанную С.Б. Секретовым [55]. В тектоническом плане наша модель является развитием одного из вариантов геологической истории Арктики, предложенного Э. Миллер и В.Е. Вержбицким [43]:

- Граница 125 млн лет основана на том, что в районе поднятия Де-Лонга в основании рифтовых бассейнов имеются пакеты ярких рефлексоров, которые могут соответствовать базальтам плато Де-Лонга с имеющимся изотопным возрастом в интервале 130–110 млн лет [46, 49]. Данная граница соответствует Брукскому (предаптскому) несогласию (Brookian Unconformity (BU)) на шельфе Аляски [32];
- Граница 100 млн лет примерно соответствует границе рифт–пострифт в районе бассейна Восточно-Сибирского моря [46, 49]. Данная граница соответствует Сеноманскому несогласию (Cenomanian Unconformity (CU)) на шельфе Аляски [32].

• Граница 80 млн лет примерно соответствует времени окончания вулканизма на поднятии Менделеева.

• Граница 66 млн лет соответствует границе Mid-Brookian Unconformity (MBU) на шельфе Аляски. Она привязана к данным бурения, прослежена на сейсмических профилях [32, 29, 49] и примерно соответствует подошве нижнего клиноформного комплекса Северо-Чукотского бассейна [46, 49].

• Граница 56 млн лет соответствует границе рифт–пострифт в западной части бассейна моря Лаптевых, эта граница Breakup Unconformity соответствует началу спрединга в Евразийском бассейне [27, 47].

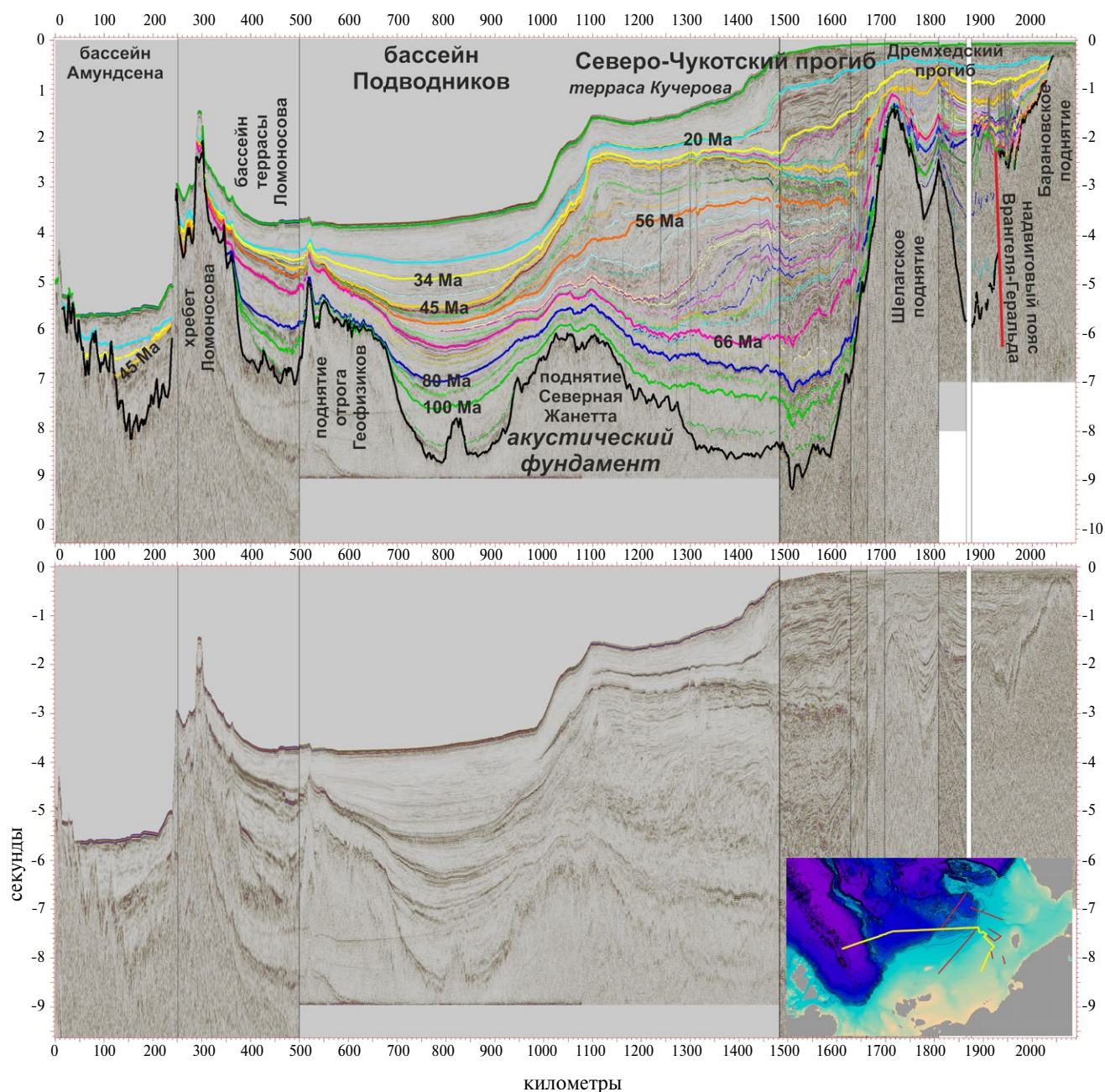
• Граница 45 млн лет соответствует началу ультрамедленного спрединга в хребте Гаккеля и четко коррелируется с возрастными магнитными аномалиями в Евразийском бассейне [46, 47]. Данная граница примерно соответствует среднеэоценовому несогласию (Mid-Eocene (MEu)) на шельфе Аляски [32] и соответствует подошве верхнего клиноформного комплекса Северо-Чукотского бассейна [49]. Граница 45 млн лет соответствует возрасту несогласия между отложениями эоцена и палеозоя по данным бурения в бассейне Хоуп в американской части Южно-Чукотского бассейна [44].

• Граница 34 млн лет выделена по корреляции сейсмических горизонтов с возрастными линейными магнитными аномалиями в Евразийском бассейне [46]. Данная граница пока недостаточно обоснована — она, вероятно, соответствует границе кровли эоцена (Тор Еocene (TE) — 33.9 млн лет, по [29]). Граница 34 млн лет соответствует несогласию между отложениями эоцена и складчатого олигоцена по данным бурения в бассейне Хоуп в американской части Южно-Чукотского бассейна [44].

• Граница 20 млн лет выделена по корреляции сейсмических горизонтов с возрастными линейными магнитными аномалиями в Евразийском бассейне [46, 47], но ее корректное положение по этим данным не однозначно. Этой границе соответствует возобновление седиментации на хребте Ломоносова после перерыва в процессе седиментации (18.2 млн лет) [17, 33] и фаза тектонической активности и эрозии на хребте Альфа (~14.5–22 млн лет) [19, 20].

• В эпоху между 18.2 и 17.5 млн лет водный бассейн Арктического океана через пролив Фрама полностью соединился с бассейном Северной Атлантике, и в Арктическом океане началась единая с Атлантикой циркуляция водных масс [33]. Наши исследования показывают, что около 18 млн лет регионально начали формироваться осадки, связанные с мощными общеокеаническими донными течениями [11].

Наша схема сейсмостратиграфии в целом соответствует схеме сейсмостратиграфии для шельфа Аляски и Северо-Чукотского бассейна, представленной в [32]. Единственным важным отличием



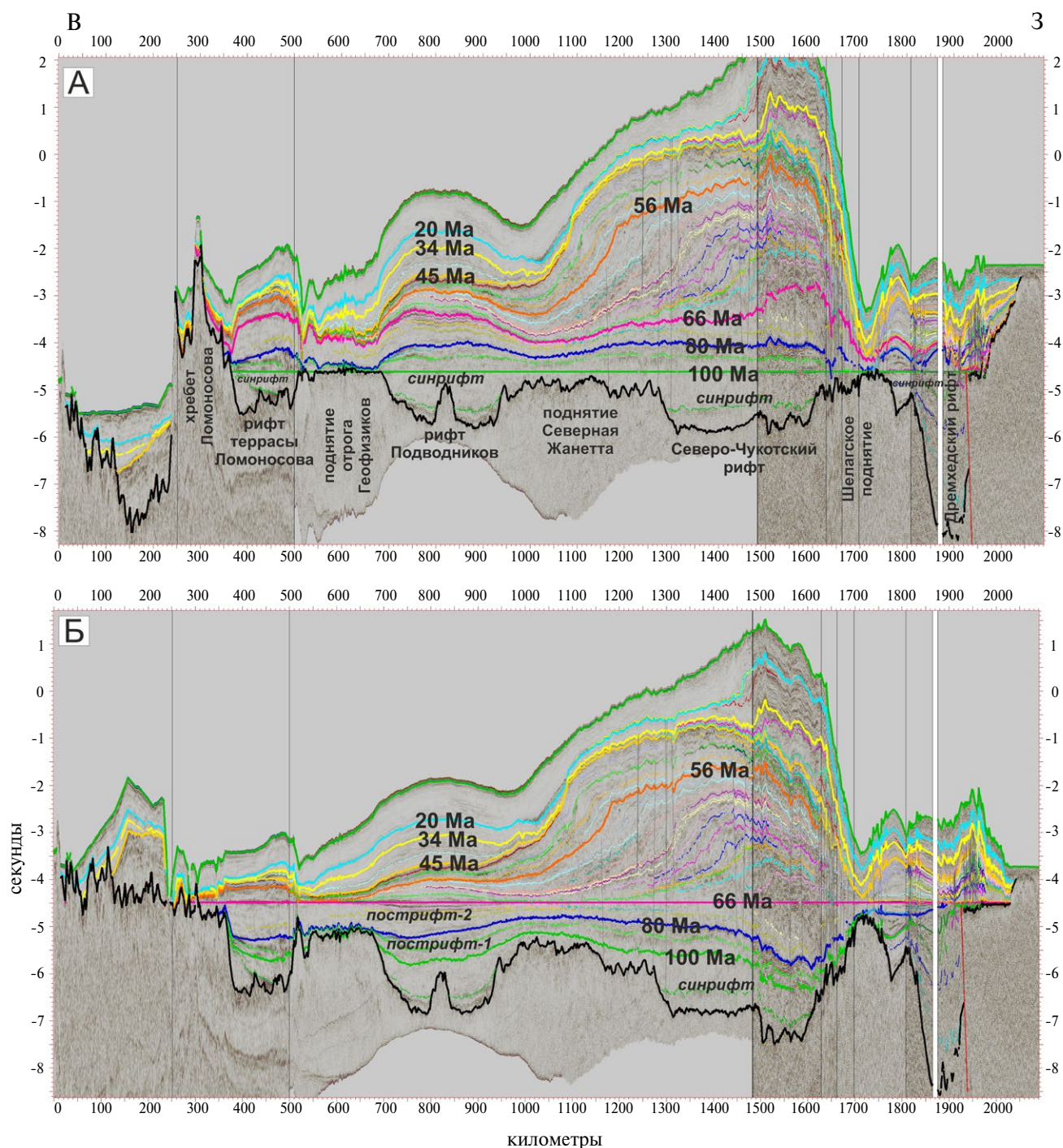
**Рис. 3.** Композитный сейсмический профиль-1.

Показано: положение профиля-1 (карта); условный геологический возраст, млн лет (цифры на границах); горизонтальный масштаб, км (цифры на горизонтальной шкале); вертикальный масштаб, сек (двойное время).

является то, что в данной работе американских исследователей предполагается, что в самых низах разреза Северо-Чукотского бассейна ниже горизонта ВU могут присутствовать отложения верхней юры (следует отметить, что наличие юрских отложений в бассейне Толля допускается и в работе [29]). В компании «Роснефть» (г.Москва) разработали схему сеймостратиграфии данного региона, сходную с нашей [8].

Наша схема сеймостратиграфии существенно отличается от аналогичных схем, составленных

исследователями ВСЕГЕИ (г.Санкт-Петербург), ОАО «МАГЭ» (г.Мурманск) и ВНИИОкеангеология (г.Санкт-Петербург) [4, 5, 23, 54]. В основу сеймостратиграфии данные исследователи заложили корреляцию сейсмических профилей со скважинами на шельфе Аляски. В итоге они получили, что в нижней части разрезов Северо-Чукотского, Подводником, Толля и других бассейнов имеется мощная толща отложений верхнего палеозоя—юры. Данная точка зрения имеет две ключевые проблемы. Первая проблема, это — корреляция сейсмиче-



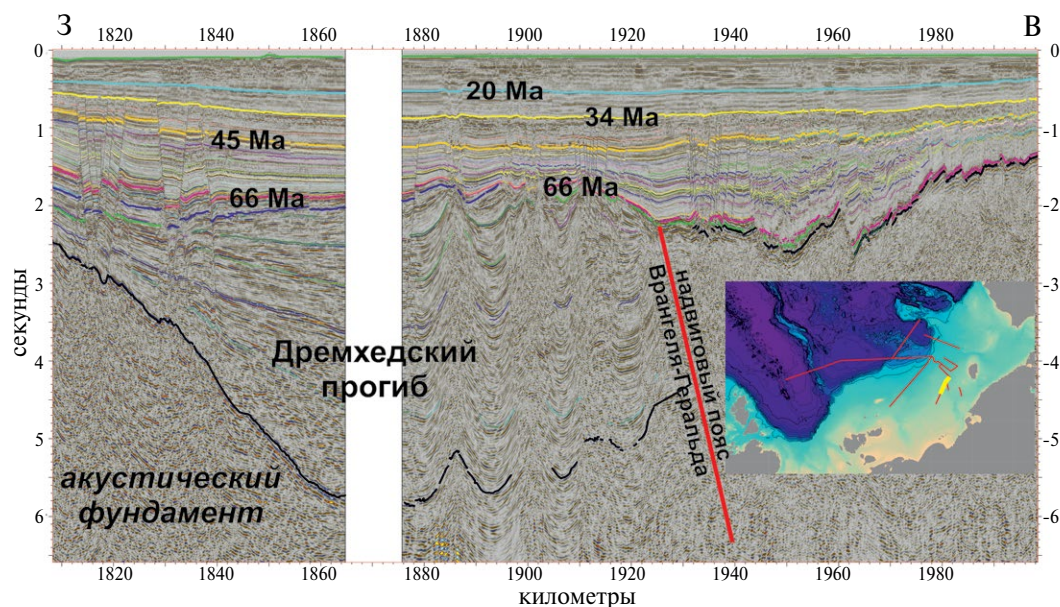
**Рис. 4.** Выравнивание на сейсмические границы 100 млн лет (А) и 80 млн лет (Б) для композитного профиля-1.

Показаны синрифтовые и пострифтовые комплексы.

ских профилей с удаленными скважинами является неоднозначной. Данная процедура также проводилась исследователями из США [32] и в компании «Роснефть» (г.Москва, Россия) [8]. При этом у них не получились варианты с возможным палеозойским чехлом в Северо-Чукотском бассейне. Вторая проблема, — бассейн Подводников имеет сильно утоненную континентальную кору (некоторые ис-

следователи допускают, что кора океаническая). Возраст коры по мнению большинства исследователей либо меловой, либо юрский. Варианты, при которых палеозойский горизонтальный чехол мог лежать на мезозойской коре, исключаются.

Мы приводим дополнительные аргументы для уточнения сейсмостратиграфии района Арктического океана. Границы 125, 100, 80, 66, 56,



**Рис. 5.** Фрагмент композитного сейсмического профиля-1.

Показано: положение профиля-1 (карта); угловое несогласие  $\approx 66$  млн лет (для Дремхедского прогиба); складки с конседиментационным ростом (ниже углового несогласия); диапироподобные тела (возможно, глиняные диапиры в антиклиналях); надвиговый пояс Врангеля–Геральда  $\approx 66$  млн лет.

45, 34 и 20 млн лет не рассматриваем, как точные и изохронные, т.к. некоторые границы могут быть не изохронными, особенно это относится к эрозионным поверхностям.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

Для уточнения сейсмостратиграфии Арктики мы провели интерпретацию сейсмических профилей (см. рис. 1) на основе наиболее информативных сейсмических данных.

#### Композитный сейсмический профиль-1

Показан композитный сейсмический профиль и его интерпретация (рис. 3). Профиль проходит от шельфа Восточно-Сибирского моря, через Северо-Чукотский прогиб и бассейн Подводников и пересекает хребт Ломоносова. Данный профиль является опорным для выделения основных сейсмостратиграфических единиц. Для данного профиля естественно выделяются следующие тектоностратиграфические единицы (сейсмокомплексы) с условными названиями:

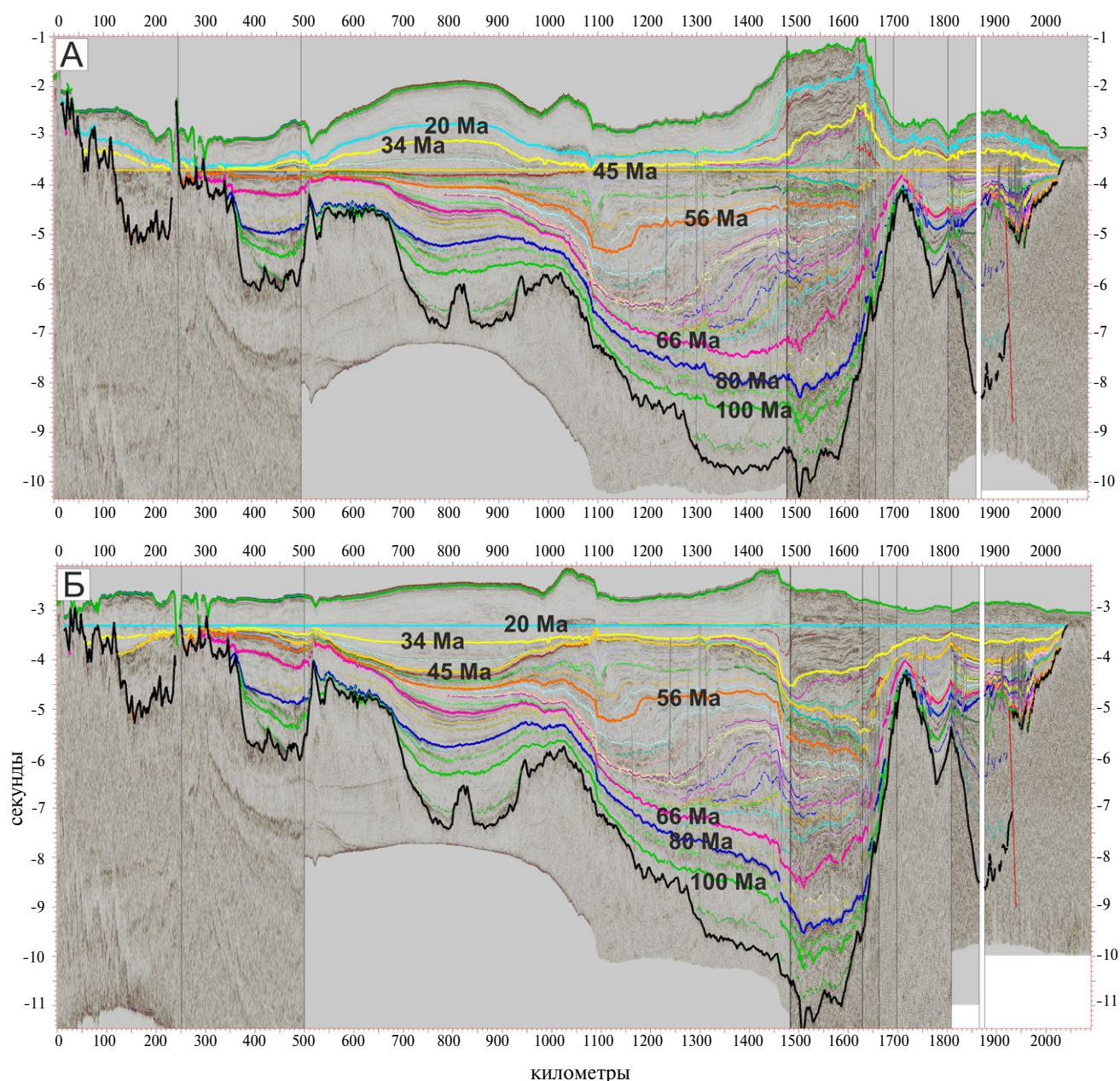
- синрифтовый комплекс (между акустическим фундаментом и горизонтом 100 млн лет),
- пострифтовый комплекс с примерно сходными толщинами (между горизонтами 100 и 66 млн лет),
- нижний клиноформный синтектонический комплекс с резким уменьшением толщин в сторону бассейна Подводников и поднятия Отрога Геофизиков (между горизонтами 66 и 45 млн лет),

- верхний клиноформный синтектонический комплекс с резким уменьшением толщин в сторону хребта Ломоносова (между горизонтами 45 и 20 млн лет),

- верхний трансгрессивный комплекс с примерно равными толщинами (между горизонтами 20 млн лет и дном моря).

Показан данный сейсмический профиль с выравниванием на границу рифт-пострифт, которая датируется как 100 млн лет (рис. 4, А). На профиле мы видим несколько систем вероятных рифтовых бассейнов: бассейны Восточно-Сибирского моря (Дремхедский бассейн), Северо-Чукотский бассейн, бассейн Подводников и бассейн террасы Ломоносова.

Бассейны Восточно-Сибирского моря (Дремхедский бассейн в частности) подобны типичным континентальным рифтовым прогибам. Их рифтовая природа не вызывает сомнений на основе геометрии бассейнов Северо-Чукотский бассейн имеет сильно утоненную континентальную кору [41, 53], но есть мнение, что в его пределах кора локально сложена эксгумированным мантийным веществом [25]. Дно бассейна имеет уплощенную геометрию кровли акустического фундамента. Такая кровля фундамента на сейсмических профилях типична для рифтовых бассейнов с гипер-растянутой континентальной корой; примеры гипер-растяжения приведены, например в [52]. Бассейн Подводников в целом подобен Северо-Чукотскому бассейну. В его осевой части расположено поднятие, которое может рассматриваться, как горст. Вероятно, в пределах бассейна Подводников име-

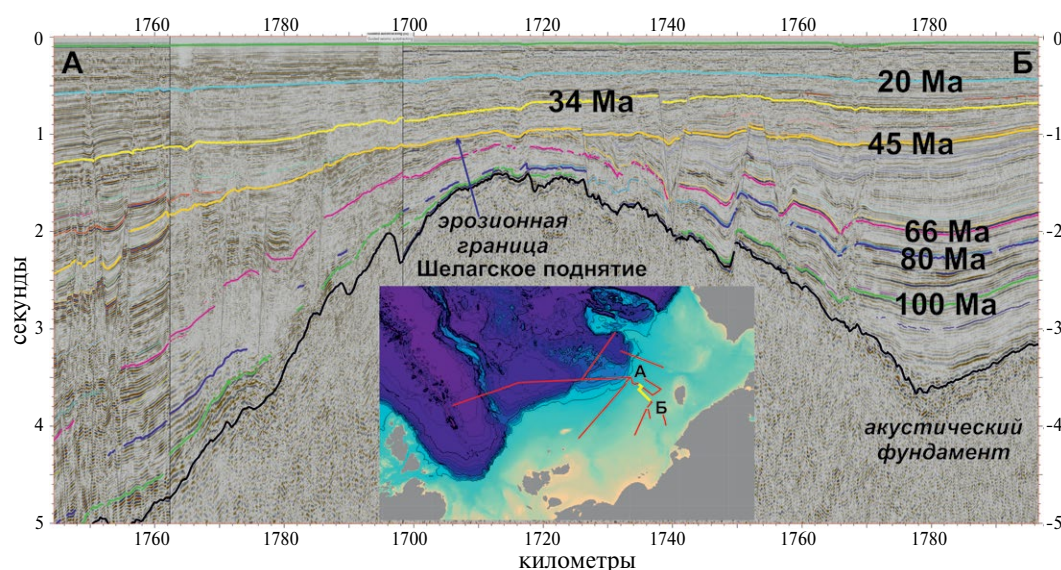


**Рис. 6.** Выравнивание на сейсмические границы 45 млн лет (А) и 20 млн лет (Б) для композитного профиля-1.

ется гипер-растянутая рифтингом континентальная кора. Это обосновывается имеющимися геофизическими данными [41, 53]. Между бассейном Подводников и Северо-Чукотским бассейном расположено относительное поднятие Северная Жанетта [49]. Рельеф его акустического фундамента похож на рифтовую горст-грабеновую структуру. Бассейн террасы Ломоносова представляет собой типичный континентальный рифт, имеющий континентальную кору [41, 53]. Поднятие Отрог Геофизиков расположено между бассейном террасы Ломоносова и бассейном Подводников, которое во время фазы рифтинга являлось плечевым поднятием.

По нашей схеме корреляций рифтинг закончился около 100 млн лет. Рифтинг мог начаться не одновременно, но мы считаем вероятным вариант, что рифтинг начался примерно на границе баррема и апта в связи с коллапсом Верхояно-Чукотского орогена и примерно синхронно с базальтовым трапповым магматизмом на плато Де-Лонга [49].

Показан данный сейсмический профиль с выравниванием на подошву нижнего клиноформного комплекса, которая датируется как 66 млн лет (МБУ) (см. рис. 4, Б). Ниже этой границы расположена структура рифтового и пострифтового



**Рис. 7.** Фрагмент композитного сейсмического профиля-1.

Показано: положение этого профиля (карта); эрозионная поверхность (для Шелагского поднятия, на границе 45 млн лет).

комплексов. В пострифтовом комплексе мы выделяем две тектонические единицы:

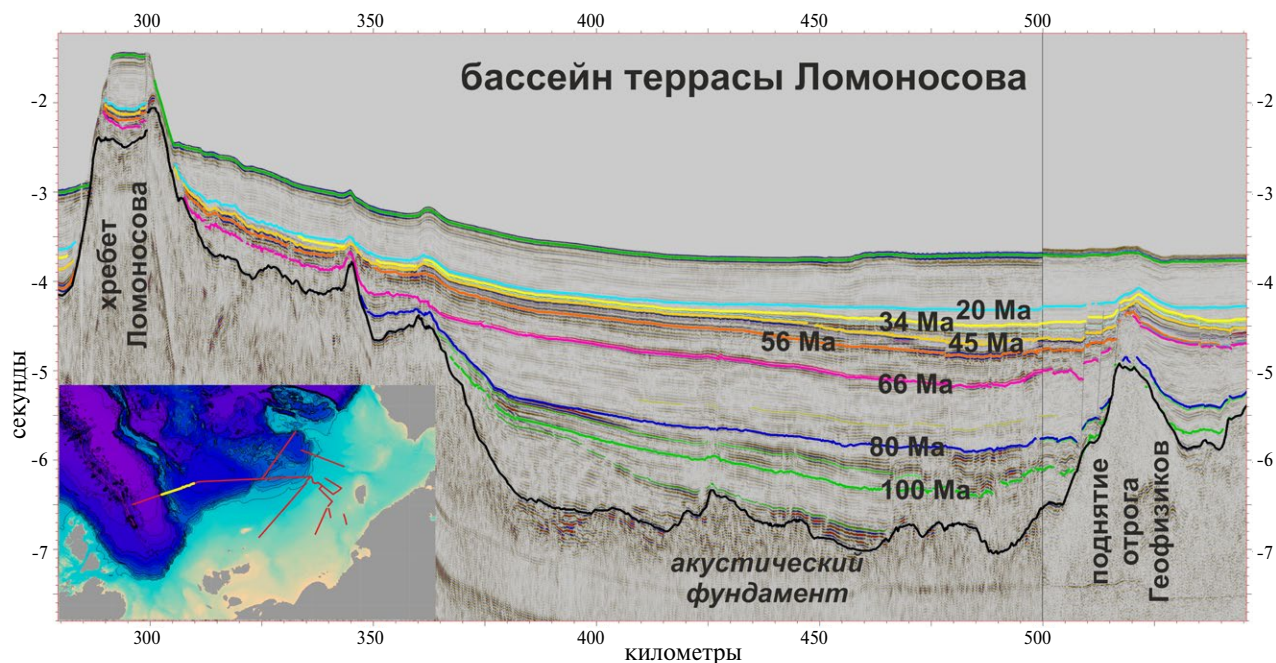
- нижняя,
- верхняя.

Нижняя пострифтовая единица характеризуется наличием пакета ярких рефлекторов. Ее возраст мы определяем примерно как 100–80 млн лет. Она формировалась, вероятно, в эпоху позднемиоценового климатического потепления [6]. Соответственно, возраст верхней пострифтовой единицы 80–66 млн лет. Пострифтовый комплекс имеет примерно равные толщины, что свидетельствует об относительно равномерном погружении территории со сходной седиментацией. Нижняя единица отсутствует или имеет малую толщину на поднятиях Острога Ломоносова и Шелагское. Из этого следует возможность того, что в районе этих поднятий 100–80 млн лет были дополнительные рифтовые тектонические движения.

Выше границы выравнивания 66 млн лет отчетливо выявляется нижний клиноформный синтетектонический комплекс с резким уменьшением толщин в сторону бассейна Подводников и Острога Геофизиков. Возраст данного комплекса мы датируем 66–45 млн лет. Границе 66 млн лет (МБУ), соответствует фаза тектонической орогении. Показан фрагмент композитного сейсмического профиля-1 (рис. 5). На этом фрагменте отчетливо выделяются угловое несогласие под горизонтом 66 млн лет и вероятная надвиговая структура. Фаза орогении примерно на границе мела и палеогена хорошо известна на Аляске, как среднебрукская складчатость [22, 56]. Это событие было установлено также для российской части Чукотского моря [3, 49, 62]. Примерно на границе мела и палеогена в районе

острова Врангеля произошло значительное тектоническое поднятие, синхронно с которым шло формирования пояса надвигов Врангеля–Геральда. Показан сегмент надвигового пояса (рис. 5). Соответственно, начало формирования нижнего клиноформного комплекса соответствует фазе среднебрукского воздымания территории района острова Врангеля. Очевидно, что это событие могло длиться миллионы лет, поэтому граница 66 млн лет является пока условной и, возможно, диахронной. Данные палеогеографии и седиментологии показывают, что в пределах Северо-Чукотского бассейна бровка шельфа и клиноформы постоянно двигались в сторону глубоководного бассейна, который находился в котловине Подводников. Для бассейна Подводников вероятна седиментация дистальных турбидитов. На поднятии Острога Геофизиков наблюдаются минимальные толщины отложений с возрастом 66–45 млн лет. Вероятно, там накапливались относительно глубоководные конденсированные осадки. В нижнем клиноформном комплексе мы прослеживаем горизонт 56 млн лет. Он проводится в бассейне Подводников по подошве сейсмической толщи с яркими рефлекторами. Толща с яркими рефлекторами с возрастом 56–45 млн лет является маркирующей для значительной территории глубоководной части Арктического океана. Ее формирование было синхронно с эпохой относительного потепления в Арктике [6], для данной толщи предполагается особая литология (например, присутствуют кремнистые осадки).

В пределах бассейна террасы Ломоносова видно заметное увеличение мощности толщи 66–56 млн лет. Вероятно, в то время там было



**Рис. 8.** Фрагмент композитного сейсмического профиля-1.

Показано: положение профиля-1 (карта);

Выделены: бассейн террасы Ломоносова; толща с возрастом 45–20 млн лет (постепенно выклинивается в сторону хребта Ломоносова).

палеоценовое рифтовое событие, которое предшествовало раскрытию Евразийского бассейна. Рифтовое событие этого возраста для района хребта Ломоносова было выделено нами ранее [46, 47, 49].

Данный сейсмический профиль показан с выравниванием на подошву верхнего клиноформного комплекса, которая датируется 45 млн лет (рис. 6. А). Показан фрагмент данного сейсмического профиля для района Шелагского поднятия (рис. 7). Мы рассматриваем следующие основные геологические события (см. рис. 3, см. рис. 6, А, см. рис. 7):

- бровка шельфа около 45 млн лет резко отодвинулась в сторону суши.
- в районе Шелагского поднятия на уровне этой границы выделяется небольшое угловое несогласие и эрозия подстилающей толщи.

Значит, Шелагское поднятие около 45 млн лет испытало фазу воздымания. Резкую палеогеографическую перестройку около 45 млн лет мы связываем с кратковременной фазой вертикальных движений. Показан фрагмент данного сейсмического профиля для района хребта Ломоносова (рис. 8). Толща 45–20 млн лет утоняется и выклинивается в сторону хребта Ломоносова. Мы полагаем, что данная толща формировалась синхронно с тектоническими движениями.

Показан данный сейсмический профиль с выравниванием на горизонт 20 млн лет (см. рис. 6, Б). Толща с возрастом 20–0 млн лет имеет примерно

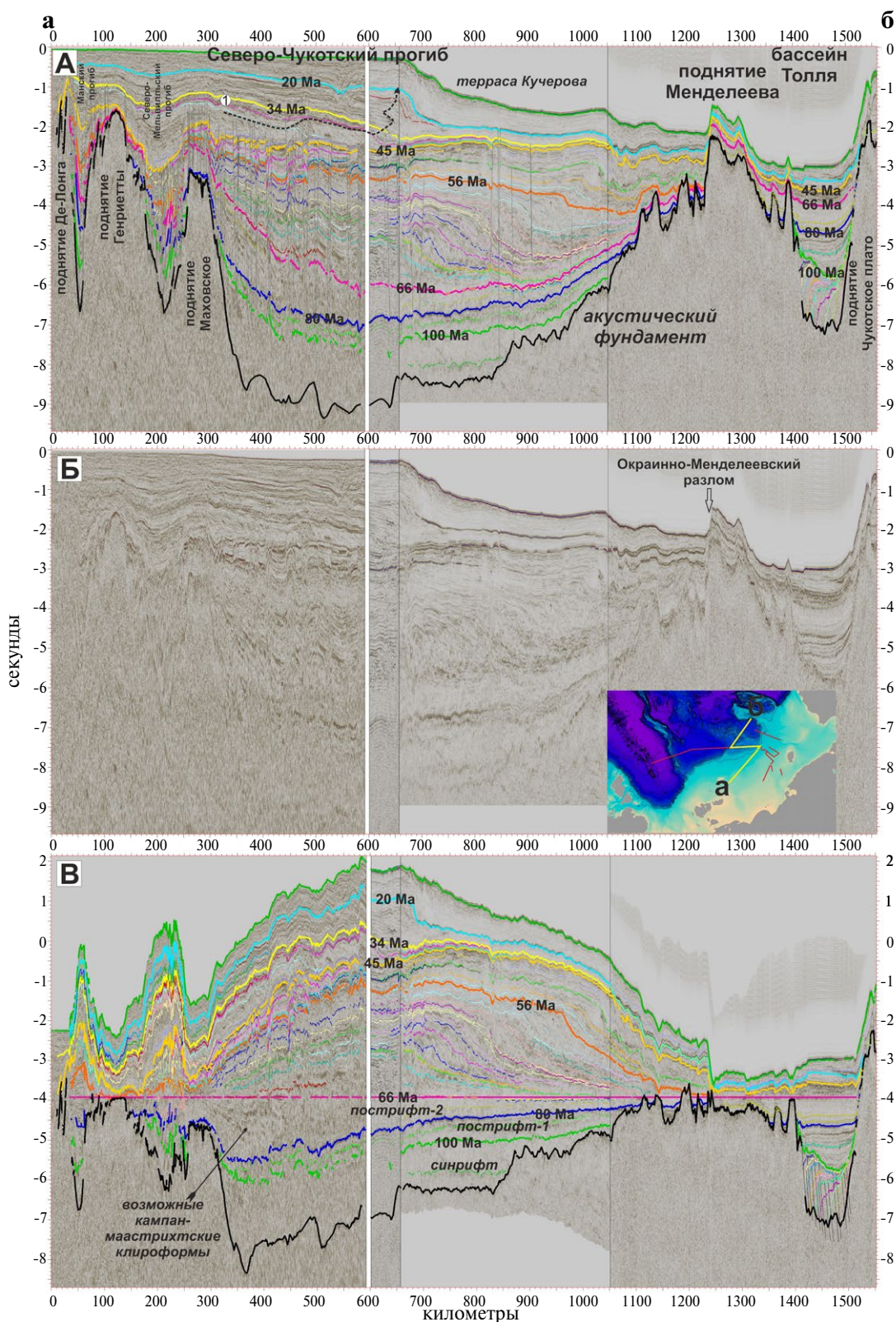
постоянную мощность. В районе хребта Ломоносова в ее подошве наблюдается вероятная эрозионная граница.

### Композитный сейсмический профиль-2

Показан композитный сейсмический профиль 2 и его интерпретация (рис. 9). Профиль проходит от шельфа Восточно-Сибирского моря, через Северо-Чукотский бассейн и край бассейн Подводников и пересекает хребт Менделеева и бассейн Толля. Профиль частично совпадает с профилем-1 в районе террасы Кучерова, что важно для увязки границ на разных профилях. Для профиля-2 выделяются следующие тектоно-стратиграфические единицы (сейсмокомплексы) с условными названиями:

- синрифтовый комплекс — между акустическим фундаментом и горизонтом 100 млн лет;
- пострифтовый комплекс — между горизонтами 100 и 66 млн лет;
- нижний клиноформный синтектонический комплекс и его продолжения в сторону поднятия Менделеева и поднятия Чукотского Плато — между горизонтами 66 и 45 млн лет;
- верхний клиноформный синтектонический комплекс и его продолжения — между горизонтами 45 и 20 млн лет;
- верхний трансгрессивный комплекс с примерно равными толщинами между горизонтами 20 млн лет и дном моря.

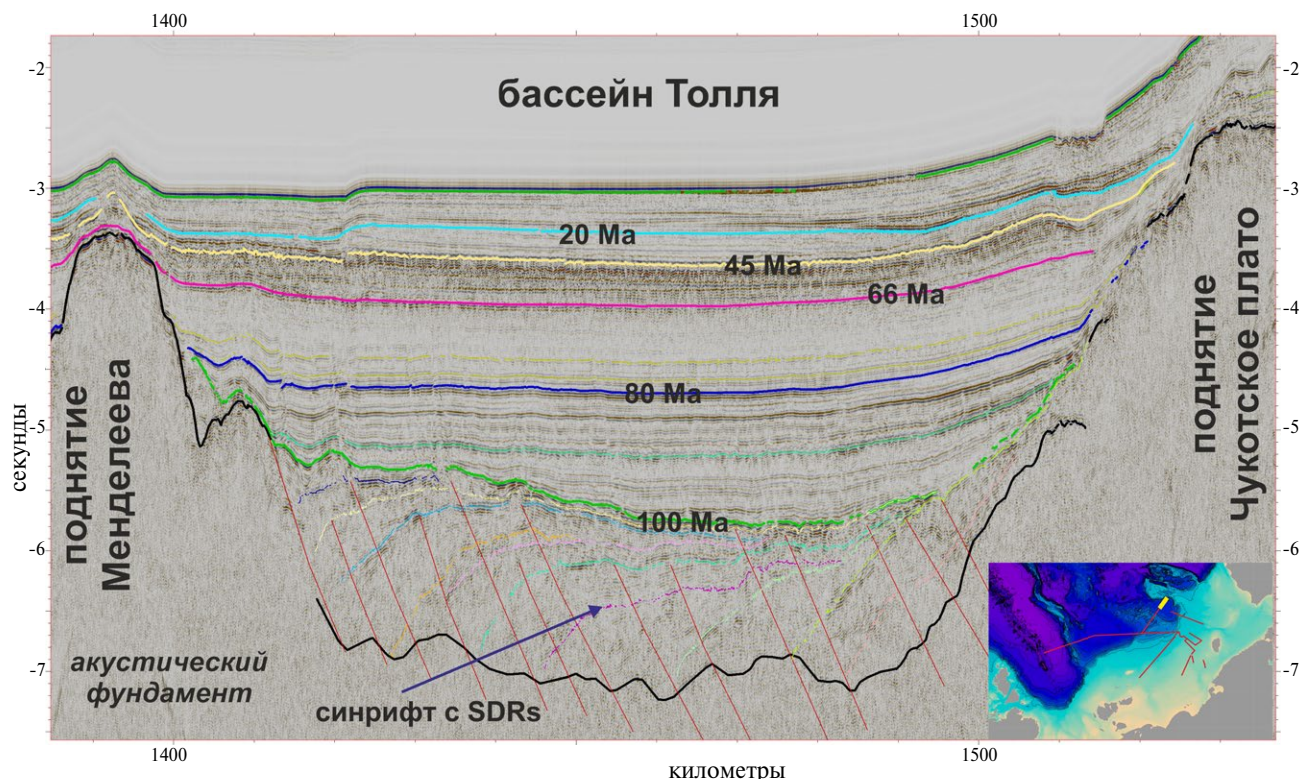
В нижнем синрифтовом комплексе четко выделяется четыре основных бассейна. С запада на восток



**Рис. 9.** Композитный сейсмический профиль-2.

А — профиль с интерпретацией (цифра 1 в белом круге соответствует хаотическому горизонту); Б — профиль без интерпретации; В — профиль-2 с выравниванием на границу 66 млн лет.

Показаны: положение профиля-2 (карта); условный геологический возраст, млн лет (цифры на границах); горизонтальный масштаб, км (цифры на горизонтальной шкале); вертикальный масштаб, сек (двойное время); положение бровки палеошельфа на основе геометрии клиноформ (пунктирная линия со стрелкой).



**Рис. 10.** Фрагмент композитного сейсмического профиля-2 для района бассейна Толля. Показаны рефлекторы (ниже границы 100 млн лет) с наклоном в одну сторону.

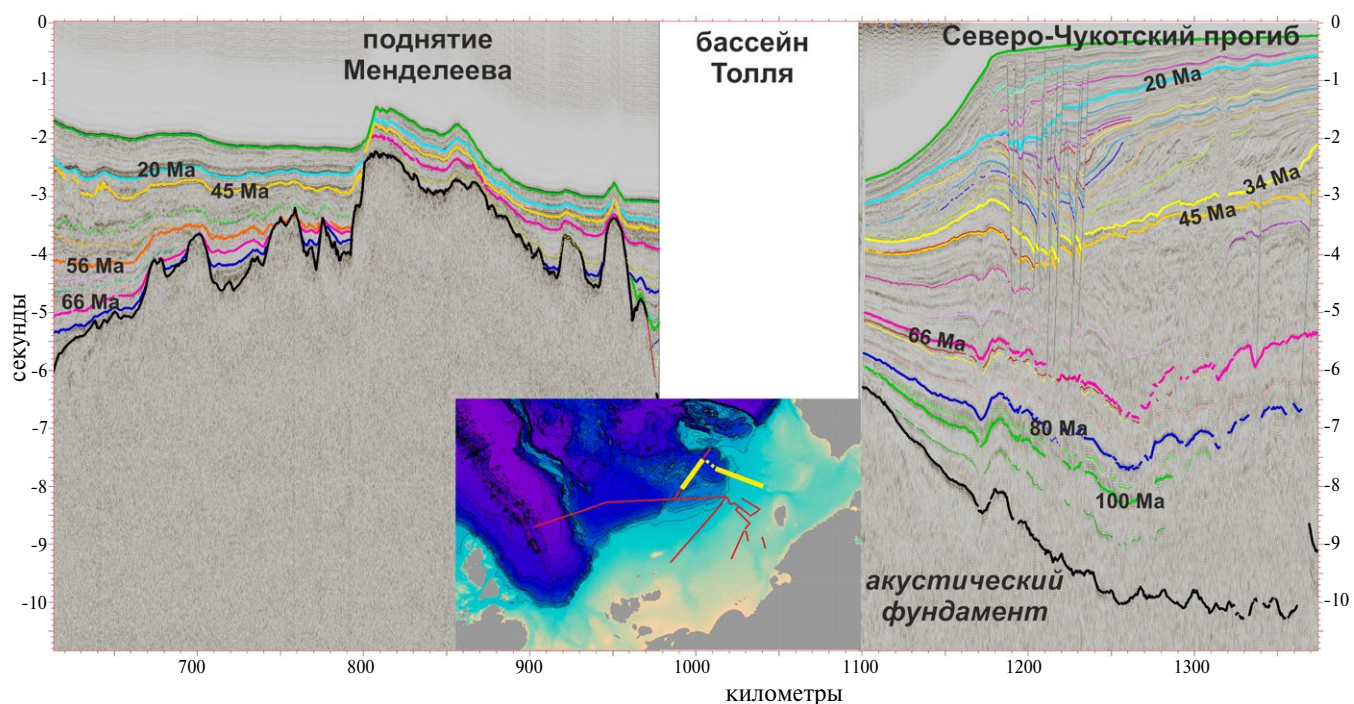
это бассейны Манский и Северо-Мельвилльский (бассейны Восточно-Сибирского моря), Северо-Чукотский и Толля. Бассейны Манский и Северо-Мельвилльский разделены поднятием Генриетты. Маховское поднятие разделяет бассейны Северо-Мельвилльский с Северо-Чукотский. Поднятие Менделеева разделяет Северо-Чукотский бассейн с краем бассейна Подводников и бассейн Толля.

Четко видно, что бассейны Манский и Северо-Мельвилльский имеют рифтовую природу (см. рис. 9, В). Главная фаза рифтинга была между границами 125 и 100 млн лет. Однако, сейсмические данные позволяют допускать, что в этих бассейнах было несколько фаз образования сбросов, вплоть до среднего-позднего эоцена. Характеристики для Северо-Чукотского прогиба и бассейна Подводников можно дать такие же, как и для композитного профиля-1. В северной части Северо-Чукотского прогиба возможно наличие клиноформ с возрастом около 80–66 млн лет (см. рис. 9, В).

Бассейн Толля в его нижней части имеет одну важную особенность: наблюдается вероятная граница рифт–пострифт (100 млн лет), ниже которой выделяются пакеты рефлекторов, падающие в одну сторону в направлении поднятия Менделеева [46] (рис. 10). Они известны, как Seaward Dipping Reflectors (SDR), и характерны для вулканических пассивных континентальных окраин [28]. Для района поднятия Менделеева они были выделены нами

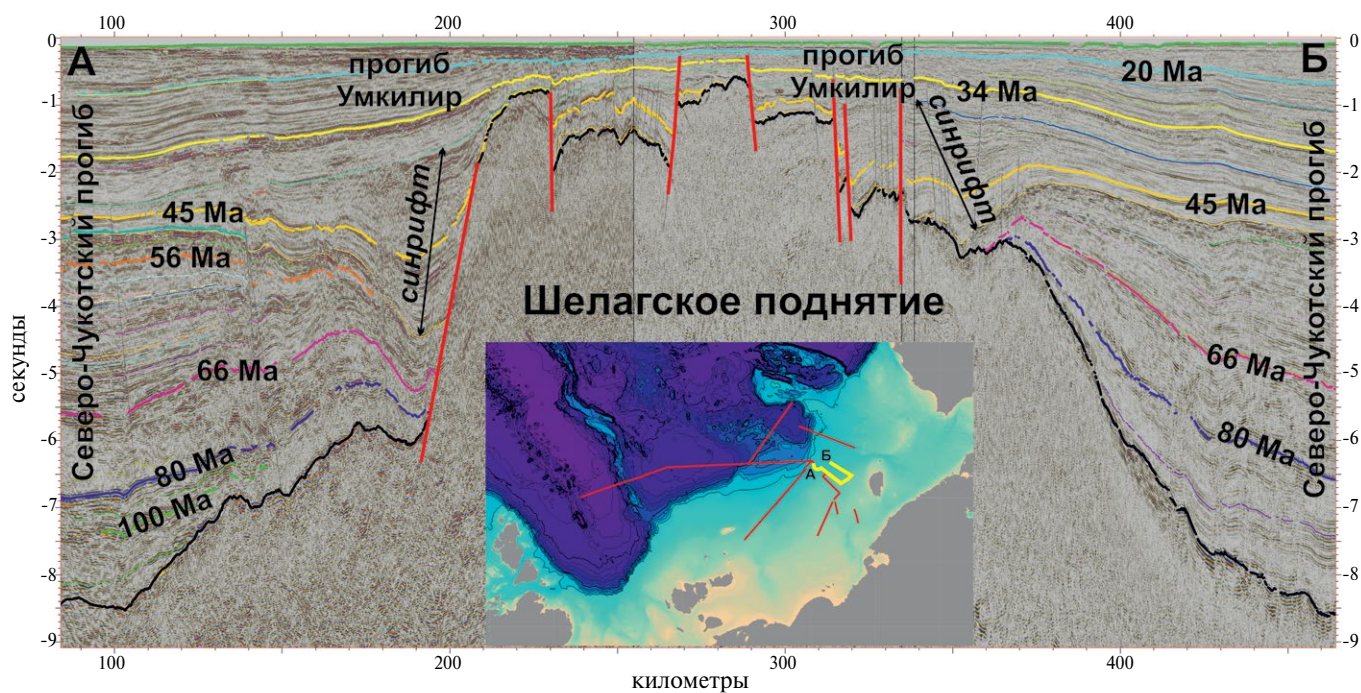
только на данном профиле [46], и мы не исключали, что это — артефакты обработки сейсмических данных. Недавно американские коллеги опубликовали профиль, который почти параллелен нашему профилю и располагается немного южнее [32]. На нем четко видны аналогичные SDRs с такой-же полярностью [32]. В основном SDRs сложены синрифтовыми базальтами, что происходит при континентальном рифтинге над мантийными плюмами [15, 28]. Наличие SDRs в бассейне Толля как минимум на двух профилях подтверждает нашу гипотезу, что это аптальбский континентальный рифтовый бассейн [46, 49]. Его простираание ортогонально простираанию оси спрединга в Канадском бассейне — это указывает на то, что Канадский бассейн и бассейн Толля формировались в разных геодинамических обстановках.

Поднятие Менделеева заслуживает специального исследования, и мы здесь ограничимся кратким обсуждением. На профиле рельеф фундамента имеет горст–грабеновую геометрию. Это допускает, как горст–грабеновую структуру коры поднятия, так и факт пересечения профилем вулканических построек. На склонах поднятия Менделеева перекрывается границами 80 млн лет и моложе. Для центральной части поднятия явно не хватает сейсмических данных для корректной сейсмической стратиграфии нижней части разреза. Имеющиеся данные опробования трех склонов поднятия Менделеева показывают, что в акустический фундамент



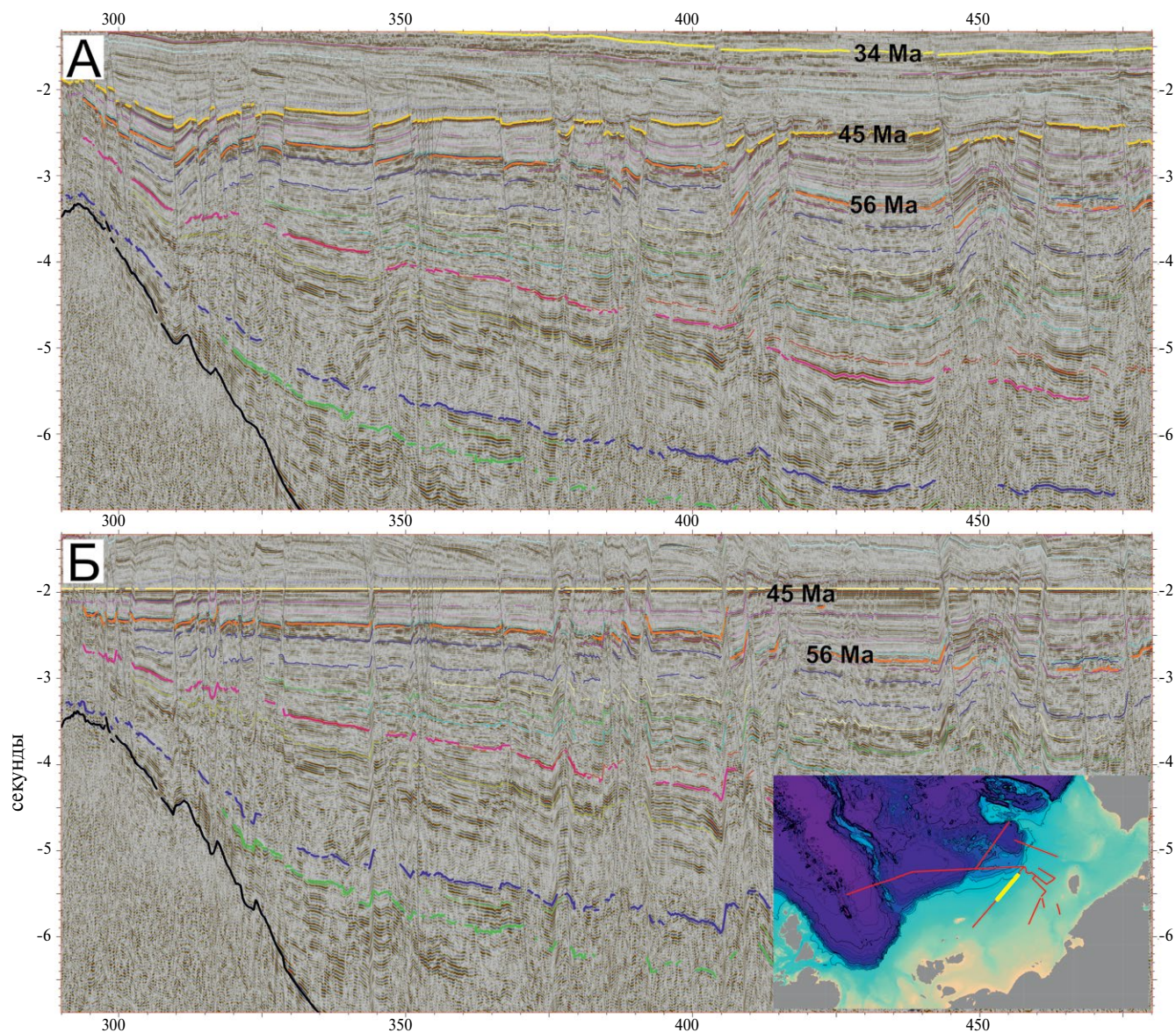
**Рис. 11.** Композитный сейсмический профиль-3.

Показано: положение профиля-3 (карта); условный геологический возраст, млн лет (цифры на границах); горизонтальный масштаб, км (цифры на горизонтальной шкале), вертикальный масштаб, сек (двойное время).



**Рис. 12.** Композитный сейсмический профиль-4.

Показано: положение профиля-4 (карта); условный геологический возраст, млн лет (цифры на границах); горизонтальный масштаб, км (цифры на горизонтальной шкале); вертикальный масштаб, сек (двойное время).

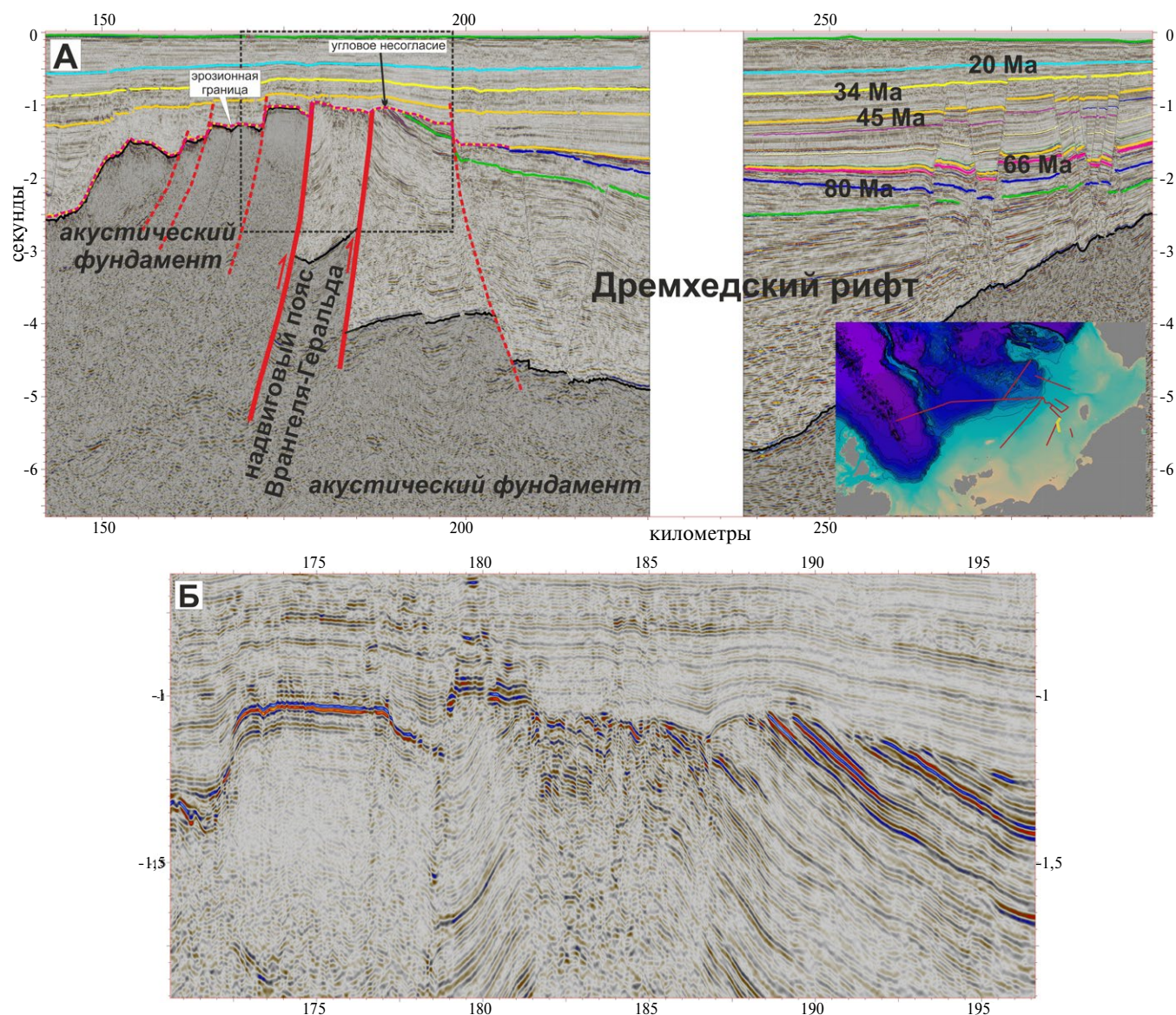


**Рис. 13.** Фрагмент композитного сейсмического профиля-1 (А) и выравнивание на границу 45 млн лет (Б). Показано (карта) положение профиля; большинство малоамплитудных сбросов с возрастом моложе 45 млн лет, пересекают границу 45 млн лет, но не пересекают границу 34 млн лет.

могут входить деформированные осадочные комплексы палеозоя с фауной от ордовика до девона, по данным С.Г. Сколотнева [57], субгоризонтальный осадочный чехол начинается с апта (баррема-апта) [57]. Палеозойские деформированные осадки пронизаны интрузиями типа даек с изотопными возрастными около 110–115 млн лет. Можно предполагать, что в апте-альбе в районе поднятия Менделеева происходил крупномасштабный континентальный рифтинг и плюмовый магматизм с пиком активности около 115–110 млн лет. Есть данные, что на поднятии Альфа-Менделеева вулканизм (по крайней мере локально) был  $\approx 90$ –80 млн лет назад [21, 64]. Наш профиль показывает, что поднятие

Менделеева имеют четко выраженную асимметрию, с более крутым склоном в сторону бассейна подводников. С запада поднятие Менделеева ограничено Окраинно-Менделеевским крупным сбросом [49]. Этот разлом, по крайней мере, как крутой склон в палеорельефе, существовал от 66 млн лет (или ранее) и существует до современного времени. Мы определенно полагаем, что он активизировался после границы 45 млн лет и был активен в позднем кайнозое после 20 млн лет.

Поднятие Менделеева имеет апт-альбский-позднемиоценовый (вероятно) возраст начала формирования. На сейсмических профилях не представлено доказательств спрединга океанической коры. На на-



**Рис. 14.** Композитный сейсмический профиль-5.

А — показан (квадрат) фрагмент профиля-5; Б — показано положение профиля-5.

Показано: условный геологический возраст, млн лет (цифры на границах); горизонтальный масштаб, км (цифры на горизонтальной шкале), вертикальный масштаб, сек (двойное время).

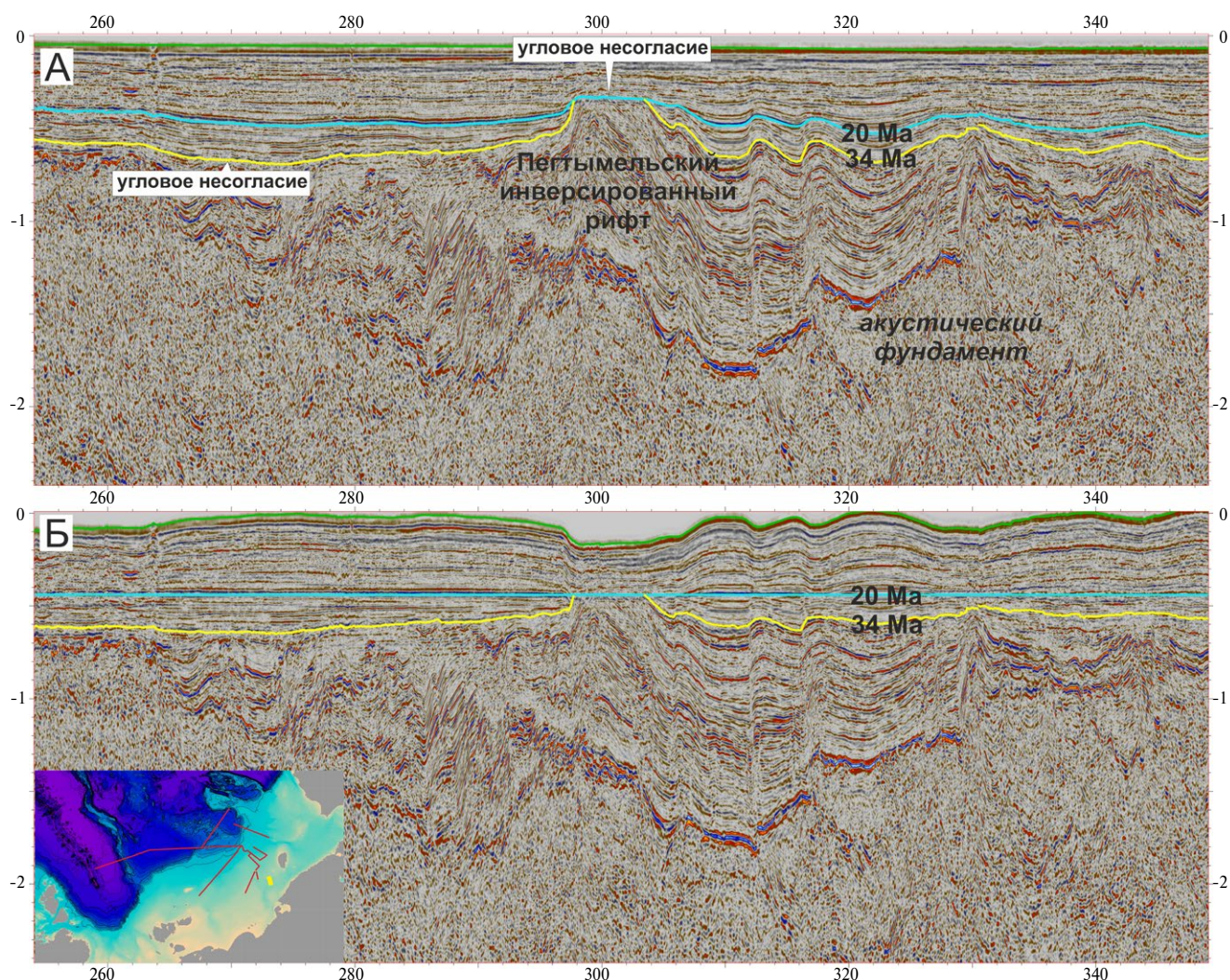
шем композитном профиле-2 показано, что нижний клиноформный комплекс с возрастом подошвы около 66 млн лет формировался после образования структуры поднятия Менделеева, что является аргументом в пользу нашей датировки этого комплекса.

Полученные нами данные не подтверждают аптский или более древний возраст основания клиноформного комплекса, предполагаемый в работах [23, 54]. На композитном профиле-2 на шельфе Восточно-Сибирского моря ниже горизонта 34 млн лет четко выделяется хаотический горизонт, который имеет региональное распространение и важен, как реперный горизонт для сейсмостратиграфии региона. Условный возраст горизонта по положе-

нию в разрезе 37–34 млн лет. Ниже хаотического горизонта над границей 45 млн лет наблюдается четкая быстрая проградация клиноформного комплекса, а на уровень хаотического горизонта приходится резкий переход в агградацию клиноформного комплекса (см. рис. 9). Из этого следует большая вероятность того, что на время формирования хаотического горизонта приходится региональное тектоническое событие с изменением палеогеографии.

### Композитный сейсмический профиль-3

Показан композитный сейсмический профиль 3 и его интерпретация (рис. 11). Профиль проходит от бассейна подводников, через поднятие



**Рис. 15.** Композитный сейсмический профиль-6.

А — профиль с интерпретацией; Б — профиль с выравниванием на границу 20 млн лет.

Показано: положение профиля-6 (карта); условный геологический возраст, млн лет (цифры на границах); горизонтальный масштаб, км (цифры на горизонтальной шкале), вертикальный масштаб, сек (двойное время); угловое несогласие (34 млн лет, 20 млн лет).

Менделеева и бассейн Толля и уходит в Северо-Чукотский бассейн. Профиль-3 приводится для увязки сеймостратиграфии на композитных профилях — профиль-1 и профиль-2. Приведенные композитные профили подтверждают, что наши границы согласуются для разных бассейнов и поднятий Восточной Арктики.

#### Композитный сейсмический профиль-4

Севернее острова Врангеля был выделен Умкилирский прогиб как кайнозойская структура [42, 46, 49]. Для выяснения его природы и возраста нами построен композитный сейсмический профиль, который начинается в Северо-Чукотском прогибе, пересекает Умкилирский прогиб, заходит на Шелагское поднятие и по другой линии через Умкилирский прогиб возвращается в Се-

веро-Чукотский прогиб (рис. 12). Сейсмические горизонты на профиле-4 проведены по сети профилей с других разрезов. Наличие большого количества разломов и выклинивания отдельных горизонтов пока не позволяют сделать однозначные привязки, но все корреляции показывают, что Умкилирский прогиб является полуграбеном кайнозойского возраста. В нем выделяется нижний и верхний синрифтовые комплексы, расположенные ниже и выше условной границы 45 млн лет. Рифтинг определенно закончился до границы 34 млн лет (время окончания рифтинга  $\approx 37$  млн лет). Мы определили, что Умкилирский прогиб является рифтом с возрастом около 45 млн лет. На Американском шельфе Чукотского моря возле Аляски находится бассейн Хоуп. Для него обоснованы рифтовая природа и эоценовый

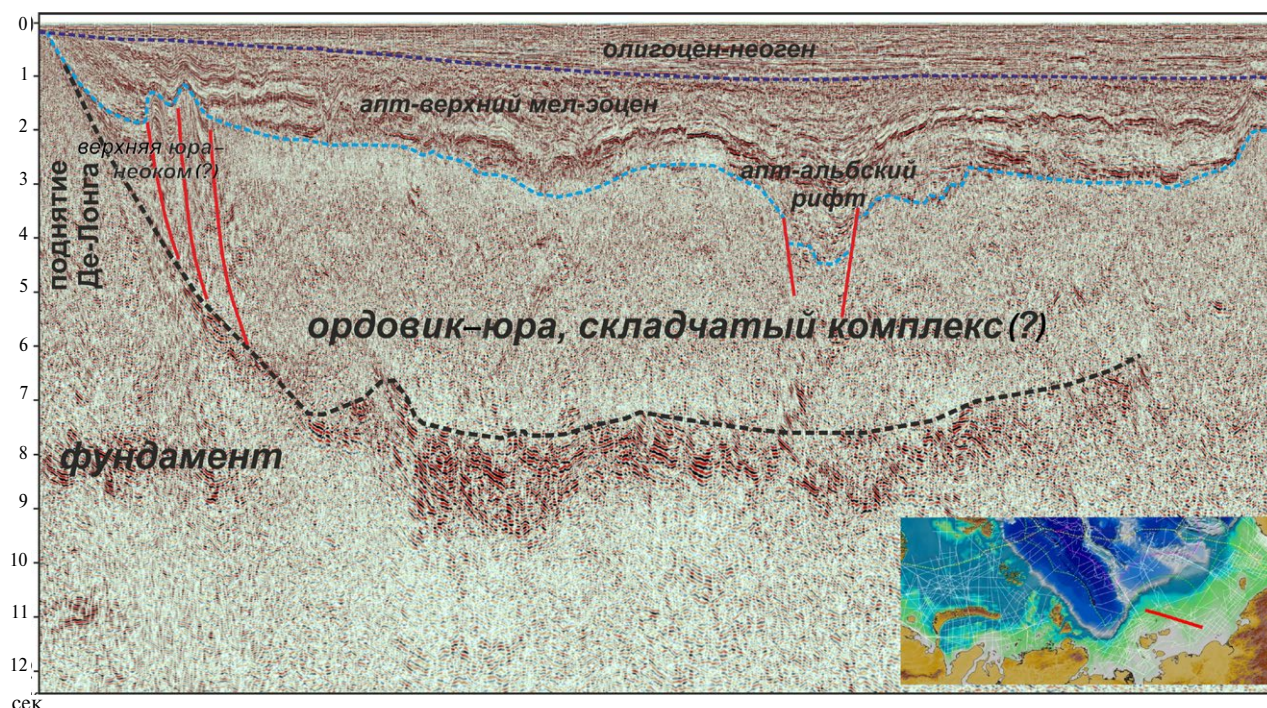


Рис. 16. Сейсмический профиль-7.

возраст [44]. В нижней части разреза бассейна по данным бурения имеются вулканиты с возрастом 42.3 млн лет [44]. Вероятно бассейны Хоуп и Умкилир формировались одновременно.

#### СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ СБРОСОВ ≈45 МЛН ЛЕТ

В районе Северо-Чукотского прогиба и прогибов Восточно-Сибирского моря нами выявлено большое количество малоамплитудных сбросов, которые были активны около 45 млн лет (см. рис. 3, см. рис. 7, см. рис. 9). Показан фрагмент профиля с такими сбросами (рис. 13). Большинство сбросов пересекают границу 45 млн лет и не доходят до границы 34 млн лет. Из этого следует, что фаза регионального растяжения или трансенсии происходила ≈45 млн лет. Время формирования Умкилирского прогиба также соответствует ≈45 млн лет.

#### Композитный сейсмический профиль-5

Показан композитный профиль-5 и его интерпретация (рис. 14). Профиль ориентирован параллельно композитному профилю-1 и расположен в районе Пегтымельского и Дремхедского прогибов. На профиле-5 выделен надвиг (часть надвигового пояса Врангеля–Геральда) и связанное с ним угловое несогласие. В районе надвига толща с подошвой несколько древнее 45 млн лет с угловым несогласием лежит на отложениях мела и на фундаменте. В районе Дремхедского

прогиба горизонты 66 млн лет и некоторые другие почти сливаются в направлении к главному надвигу. На композитном профиле-1 (см. рис. 3, см. рис. 5) показано, что основная фаза складчатости была близка к 66 млн лет (МВU). Можно считать, что для композитного профиля-5 главная фаза надвигообразования соответствует несогласию МВU и имеет возраст 66 млн лет. Надвинутый блок перекрывается отложениями несколько древнее 45 млн лет, тем самым подтверждается вероятность того, что данный блок в интервале времени после 66 млн лет был приподнят и подвергался эрозии. На данном профиле также показано, что граница 45 млн лет сечется многочисленными сбросами, которые древнее границы 34 млн лет, и доказывает, что ≈45 млн лет в районе надвига было активно сбросообразование. Эпоха сбросообразования ≈45 млн лет синхронна времени образования грабена Умкилир.

#### Фрагмент сейсмического профиля-6

Показан фрагмент сейсмического профиля в оригинале и с выравниванием на сейсмический горизонт 20 млн лет, что является примером инверсированного мелового Пегтымельского рифта (рис. 15). Границы для профиля-6 увязаны с нашими границами на других приведенных нами профилях. Показаны два основных угловых несогласия на границах:

- 34 млн лет,
- 20 млн лет.

Сжатие палеорифта началось ≈34 млн лет и завершилось ≈20 млн лет. Зона сжатия приурочена



**Рис. 17.** Раннемеловые, неокомские (берриас–барремские) основные тектонические единицы на современной географической основе.

Показано: раннемеловой надвиговый фронт (красная линия); Жоховский и Северо-Врангелевский краевые прогибы (на основе интерпретации сейсмических данных)

к полосе надвигов Врангеля–Геральда и ее западного продолжения, что позволило выделить фазу олигоцен-раннемиоценового сжатия в данном регионе, которая широко проявилась в Южно-Чукотском бассейне [3].

#### Фрагмент сейсмического профиля-7

Показан фрагмент сейсмического профиля, который расположен восточнее Новосибирских островов и пересекает западное продолжение надвигового пояса Врангеля–Геральда [8, 24, 46, 49] (рис. 16). Севернее надвигового пояса выделен Жоховский краевой прогиб мелового возраста [24, 25], который показан на профиле-7. По нашей корреляции сети сейсмических профилей данный краевой прогиб перекрывается толщей отложений апт–альба, аналогичные выводы представлены в [8]. Вполне вероятно, что краевой прогиб имеет позднеюрско-неокомский возраст и что этот краевой прогиб примерно одновозрастен Предверхоянскому краевому прогибу и Раучуанской синорогенной впадине Чукотки. Южнее прогиба на сейсмическом профиле виден подаптский складчатый комплекс, который,

вероятно обнажается на Новосибирских островах и представлен отложениями от ордовика до юры [8, 46]. На профиле-7 показаны апт–альбские рифты. Рифтинг начался в Восточной Арктике после завершения верхояно-чукотской складчатости.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Мы определили естественно выделяющиеся сейсмокомплексы (мегасеквенции) или тектоно-стратиграфические единицы, для шельфа Восточно-Сибирского и Чукотского морей и сопряженных глубоководных частей Арктического океана. Выделены следующие основные тектоно-стратиграфические единицы с условными возрастами, которые могут уточняться:

- 164–125 млн лет — комплекс краевого прогиба (форланда);
- 125–100 млн лет — комплекс синриффт-1;
- 100–80 млн лет — комплекс пострифт-1;
- 80–66 млн лет — комплекс пострифт-2;
- 66–45 млн лет — синтектонический комплекс-1 (66–56 млн лет — нижней части синтек-



**Рис. 18.** Типы апт-альбских сейсмокомплексов на современной географической основе.

1–2 – синрифтовые комплексы на коре: 1 – континентальной, 2 – гипер-растянутой континентальной; 3 – рифтово-вулканические комплексы поднятия Менделеева; 4 – вероятные базальтовые траппы; 5 – Охотско-Чукотский меловой вулканический пояс; 6 – области мелового орогенеза; 7 – положение доаптского (неокомского) фронта надвигов

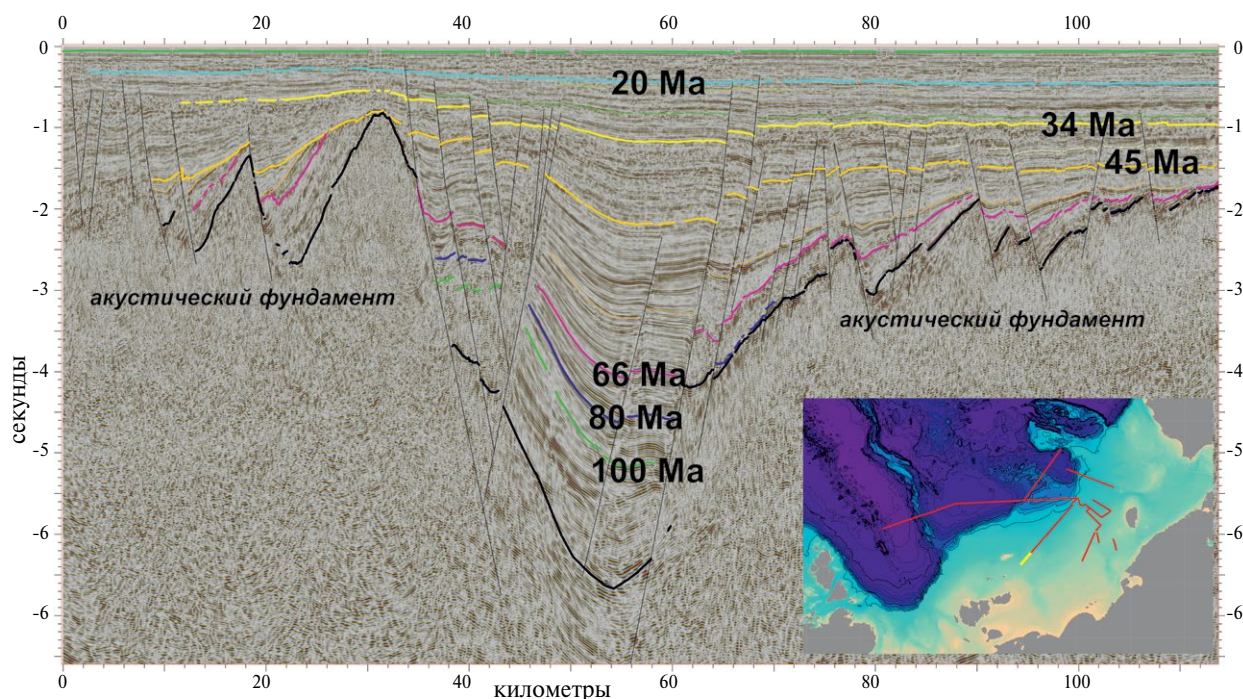
тонического комплекса-1 соответствует комплекс синрифт-2);

- 45–34 млн лет – синтектонический комплекс-2 (или синрифт-3);
- 34–20 млн лет – синтектонический комплекс-3;
- 20–0 млн лет – комплекс регионального чехла.

Нами выделен комплекс Жоховского краевого прогиба, который расположен между Новосибирскими островами и островами Де-Лонга, т.е. между мезозоидами Новосибирских островов и поднятием Де-Лонга с тиманским и каледонским фундаментом. Предполагается, что Жоховский краевой прогиб проходит к северу от пояса надвигов Врангеля–Геральда [24]. Жоховский краевой прогиб отображен на наших сейсмических профилях, он перекрывается осадками, которые

по нашим корреляциям и согласно [8], имеют апт-альбский возраст, поэтому вероятно, что возраст краевого прогиба – поздняя юра–неоком. В районе Ляховских островов и на о. Столбовой выделены отложения волжско–неокомского краевого прогиба [39]. Мы предполагаем, что Жоховский краевой прогиб одновозрастен синтектоническим осадкам Ляховских островов. Мы предполагаем, что Жоховский прогиб является продолжением позднеюрско–мелового Предверхоаянского краевого прогиба. Намечается единый пояс краевых прогибов, которые ограничивают мезозойды Верхояно-Чукотской области и орогена Брукса (рис. 17). Он включает в себя такие известные фрагменты, как Предверхоаянский краевой прогиб, Жоховский прогиб, Северо-Врангелевский прогиб и прогиб Колвилл на Аляске. Соответственно, к западу и к северу от мезозойд Верхояно-Чукотской об-

### Манский прогиб



**Рис. 19.** Фрагмент композитного сейсмического профиля-2 для района Манского прогиба. Показана рифтовая структура бассейна.

ласти в поздней юре и в раннем мелу был непрерывный континентальный массив, в который входили Сибирская платформа и Гиперборейский континент [10, 13].

Комплекс синриффт-1 (125–100 млн лет) строго выделяется на шельфах Восточно-Сибирского и Чукотского морей (прогибы Северо-Чукотский, Северо-Мельвилльский, Манский и др.). Он также выражен в глубоководных бассейнах Подводников, террасы Ломоносова и Толля (рис. 18). Начало рифтинга по времени соответствует трапповому магматизму на поднятии Де-Лонга. Геометрия рифтовых бассейнов показывает, что в северо-Чукотском прогибе во время рифтинга сформировалась гипер-растянутая континентальная кора. Гипер-растяжение определено было и в бассейнах Подводников и Толля. Наличие пакетов рефлекторов типа SDR в бассейне Толля указывает на то, что континентальный рифтинг был над мантийным плюмом. Время окончания рифтинга нами определено 100 млн лет.

Комплексы постриффт-1 и постриффт-2 регионально перекрывают все области с апт–альбским рифтингом и имеют примерно одинаковые толщины. Это свидетельствует о том, что весь регион испытал термальное постриффтовое погружение. Возможно, некоторые рифтовые разломы были активны 100–80 млн лет.

Синтектонический комплекс-1 (66–45 млн лет) лучше всего выражен в Северо-Чукотском бассейне.

Этот комплекс определенно является единой мегасеквенцией и связан с фазой воздымания и значительной эрозии территории южнее Северо-Чукотского прогиба. Угловое несогласие MBU (~66 млн лет) четко видно вдоль полосы надвигов Врангеля-Геральда и ее западного продолжения. Угловое несогласие MBU в Дремхедском прогибе указывает на конседиментационный рост складок (см. рис. 5). Это свидетельствует о том, что эпоха складчатых деформаций могла длиться какое-то время (первые миллионы лет). Данный синтектонический комплекс имеет явно сильно меняющиеся толщины и фации. Можно считать, что континентальные осадочные отложения фациально переходят в шельфовые толщи в районе Северо-Чукотского прогиба с юга на север и далее – в склоновые и глубоководные, включая турбидиты, и в районе бассейна Подводников находился относительно глубоководный морской бассейн (палеоцен).

Комплекс синриффт-2 (66–56 млн лет) выделен на восточном склоне хребта Ломоносова в бассейне терраса Ломоносова (см. рис. 3, см. рис. 4, см. рис. 6). Фаза рифтинга широко проявилась в районе бассейна Лаптевых и вдоль хребта Ломоносова [27, 46, 47, 49,] и предшествовала раскрытию Евразийского океанического бассейна.

Синтектонический комплекс-2 (или синриффт-3) (45–34 млн лет) отделен от синтектонического комплекса-1 резким перескоком края шельфа (края

клиноформного комплекса) в сторону континента. Эта быстрая трансгрессия с возрастом около 45 млн лет может быть объяснена либо резким повышением уровня моря, либо быстрыми вертикальными тектоническими движениями. Грабен Умкилир на юге Северо-Чукотского прогиба сформировался около 45 млн лет (см. рис. 12). К этому времени приходится кратковременная фаза малоамплитудного регионального сбросообразования в Северо-Чукотском прогибе и в прогибах Восточно-Сибирского моря (см. рис. 3, см. рис. 9, см. рис. 13). По южному краю Северо-Чукотского бассейна фиксируется фаза воздымания и эрозии  $\approx 45$  млн лет (см. рис. 7). Время формирования рифтового бассейна Хоуп, вероятно, соответствует эпохе 45–34 млн лет по данным его бурения [22]. В районах шельфа Чукотского и Восточно-Сибирского морей была региональная тектоническая фаза растяжения или сдвига-растяжения (транстенсии) около 45 млн лет.

В районе Восточно-Сибирского моря в Манском и Мельвилльском прогибах наблюдается несколько вероятных эпох рифтинга. Мы пока не можем сделать корректную интерпретацию сейсмических данных, но вероятные фазы сбросообразования были 125–100 млн лет и в кайнозой, включая событие  $\approx 45$  млн лет (см. рис. 9, рис. 19). Синтектонический комплекс-3 (34–20 млн лет) локально подстилается «хаотическим» горизонтом (см. рис. 9) и примерно к его подошве приурочена смена геометрии клиноформного комплекса (см. рис. 9). В подошве и кровле данного комплекса имеются угловые несогласия (см. рис. 15). Вероятно, данный комплекс формировался на фоне деформаций сжатия. Примером мелового рифта с главной фазой сжатия и инверсии около 34–20 млн лет является Пегтымельский прогиб (см. рис. 15).

В сторону хребта Ломоносова комплекс с возрастными 45–20 млн лет уменьшается в толщине и, возможно, выклинивается. Возможно, этому времени соответствует фаза относительного поднятия хребта Ломоносова.

Комплекс регионального чехла (20–0 млн лет) характеризуется плавными изменениями толщин. К его подошве часто приурочены эрозионные границы, проявления гравитационной тектоники (оползни, каналы, эрозионные границы), что свидетельствует о том, что  $\approx 20$  млн лет резко изменился режим морских течений в Арктическом океане.

## ВЫВОДЫ

В работе получены следующие основные выводы:

1. В районе Чукотского и Восточно-Сибирского шельфовых морей и сопряженных глубоководных бассейнов выделены основные сейсмические мега-секвенции или тектоностратиграфические единицы,

прослеженные нами в регионе исследования, с условным возрастом 125–100, 100–80, 80–66, 66–56, 46–45, 45–34, 34–20, 20–0 млн лет.

2. Между Новосибирскими островами и островами Де-Лонга нами подтверждено выделение Жоховского краевого прогиба доаптического возраста, который формировался между Верхояно-Чукотским орогеном и Гиперборейским континентом. С большой долей вероятности, краевой прогиб имеет позднеюрско–неокомский возраст и синхронен по времени формирования Предверхоянскому краевому прогибу:

– В апте–альбе (125–100 млн лет) была основная фаза рифтинга в пределах Чукотского и Восточно-Сибирского морей, а также в бассейнах Подводников и Толля;

– Для интервала времени 100–66 млн лет выявлено типичное пострифтовое погружение с примерно равномерным накоплением осадочного чехла;

– Для интервала времени 66–20 млн лет выявлено типичное клиноформное накопление осадков на краю шельфа, при этом выделяются три синтектонических эпохи формирования клиноформных комплексов с возрастом 66–45, 45–34 и 34–20 млн лет;

– Около 66 млн лет произошла среднебрукская орогения в районе острова Врангеля, с этим событием связаны фазы надвигообразования, воздымания и начало формирования клиноформного комплекса в Северо-Чукотском прогибе;

– Выделена рифтовая фаза с возрастом 66–56 млн лет для склона хребта Ломоносова;

– Выделена рифтовая фаза с возрастом около 45 млн лет, которая регионально проявилась в пределах Чукотского и Восточно-Сибирского морей. Во время этой рифтовой фазы формировались многочисленные грабены, но особенность данного рифтинга связана с тем, что на больших территориях формировались системы малоамплитудных сбросов;

– Между 34 и 20 млн лет была фаза сжатия, в частности инверсию испытал Пегтымельский прогиб;

– В интервале времени 20–0 млн лет наблюдается относительно однообразная тектоническая обстановка с примерно одинаковыми толщинами осадочного чехла.

**Благодарности.** Авторы благодарны сотрудникам ПАО «Роснефть» Е.А. Булгаковой, А.Б. Поповой, И.В. Мазаевой, О.С. Маховой, М.В. Скарятину, А.А. Бородулину, Б.И. Ихсанову и другим за обсуждение наших материалов. Многочисленные дискуссии с коллегами из Москвы, Санкт-Петербурга и Новосибирска способствовали более глубокому обсуждению затронутых в работе проблем. Мы благодарны ОАО «Морская арктическая геолого-разведочная экспедиция» (МАГЭ, г. Мурманск), ОАО «Севморнефтегеофизика» (СМНГ, г. Мурманск) и ОАО «Дальморнефтегеофизика» (СМНГ, г. Юж-

но-Сахалинск) за предоставленную возможность использовать сейсмические данные.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-05-70011 и 18-05-00495.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Н.А. Тектоническое развитие в палеозое Колымского массива и Восточной Арктики / А.В. Пейве, Ю.М. Пушаровский (ред.). М.: Наука, 1963. 239 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 99).
2. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В. и др. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1083–1107.
3. Ихсанов Б.И. Позднемезозойские и кайнозойские деформации в осадочных бассейнах акватории Чукотского моря. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, геол. факультет, 2014. 22 с.
4. Казанин Г.С., Барабанова Ю.Б., Кириллова-Покровская Т.А., Черников С.Ф., Павлов С.П., Иванов Г.И. Континентальная окраина Восточно-Сибирского моря: геологическое строение и перспективы нефтегазоносности // Разведка и охрана недр. 2017а. № 10. С. 51–55.
5. Казанин Г.С., Поселов В.А., Заяц И.В., Иванов Г.И., Макаров Е.С., Васильев А.С., Смирнов О.Е. Комплексные геофизические исследования в районе центральной глубоководной части Северного ледовитого океана // Разведка и охрана недр. 2017б. № 10. С. 25–30.
6. Никишин А.М., Петров Е.И., Гайна К., Малышев Н.А., Фрейман С.И. Тектонические реконструкции Арктического региона для позднеюрско-кайнозойского времени. В кн.: Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания 2 февраля 2019, г. Москва. М.: ГЕОС, 2019. Т. 2. С. 83–86.
7. Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегаз. геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 3. С. 1–26.
8. Попова А.Б., Махова О.С., Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Обметко В.В., Бородулин А.А. Построение комплексной сейсмогеологической модели шельфа Восточно-Сибирского моря // Нефтяное хозяйство. 2018. №4. С. 30–34.
9. Поселов В.А., Аветисов Г.П., Буценко В.В., Жолондз С.М., Каминский В.Д., Павлов С.П. Хребет Ломоносова как естественное продолжение материковой окраины Евразии в Арктический бассейн // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 12. С. 1662–1680.
10. Пушаровский Ю.М. Некоторые общие проблемы тектоники Арктики // Известия АН СССР. Сер. геол. 1960. № 9. С. 15–28.
11. Фрейман С.И., Никишин А.М., Петров Е.И. Кайнозойские клиноформные комплексы и геологическая история Северо-Чукотского бассейна // Вестник МГУ. Сер. Геология. 2019. В печати.
12. Черных А.А., Крылов А.А. Седиментогенез в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения на хребте Ломоносова // ДАН. 2011. Том 440. № 4. С. 516–520.
13. Шатский Н.С. О тектонике Арктики // Геология и полезные ископаемые Севера СССР / А. Д. Архангельский (ред.). Л.: Главсевморпуть, 1935. С. 149–165.
14. Шипилов Э.В. Базальтоидный магматизм и сдвиговая тектоника Арктической континентальной окраины Евразии в приложении к начальному этапу геодинамической эволюции Американо-Азиатского бассейна // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 12. С. 2115–2142.
15. Abdelmalak M.M., Meyer R., Planke S., Faleide J.I., Gernigon L., Frieling J., Sluijs A., Reichert G.-J., Zastrow D., Theissen-Krah S., Said A., Myklebust R. Pre-breakup magmatism on the Vøring Margin: Insight from new sub-basalt imaging and results from Ocean Drilling Program Hole 642E // Tectonophysics. 2016. Vol. 675. P. 258–274.
16. Amato J.M., Toro J., Akinin, V.V., Hampton B.A., Salnikov A.S., Tuchkova M.I. Tectonic evolution of the Mesozoic South Anyui suture zone, eastern Russia: A critical component of paleogeographic reconstructions of the Arctic region // Geosphere. 2015. Vol. 11. No. 5 doi: 10.1130/GES01165.1.
17. Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Lovlie R., Pålke H., Spofforth D., Gattacecca J., Moran K., King J., Heil C. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // Paleoceanography. 2008. Vol. 23. No. 1. P. 1–15.
18. Brumley K. Geologic history of the Chukchi Borderland, Arctic Ocean. Ph.D. Thesis. Stanford Univ. Dep. Geol. Kalifornia, USA, 2014 <http://purl.stanford.edu/hz857zk1405>
19. Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B.J., Hopper J.R. Hemipelagic deposits on the Mendeleev and northwestern Alpha submarine Ridges in the Arctic Ocean: acoustic stratigraphy, depositional environment and an inter-ridge correlation calibrated by the ACEX results // Marine Geophys. Res. 2010. Vol. 31. P. 149–171.
20. Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B.J., Hopper J.R., Planke S., Kandilarov A. The nature of the acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean // Tectonophysics. 2012. Vol. 514–517. P. 123–145.
21. 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. Vol. 173. No. 6. P. 967–987.
22. Craddock W.H., Moore T.E., O'Sullivan P.B., Potter C.J., Houseknecht D.W. Late Cretaceous-Cenozoic exhumation of the western Brooks Range, Alaska, revealed from apatite and zircon fission track data // Tectonics. 2018. Vol. 37. No. 14. P. 4714–4751.
23. Daragan-Sushchova L.A., Petrov O.V., Sobolev N.N., Daragan-Sushchov Yu.I., Grin'ko L.R., Petrovskaya N.A. Geology and Tectonics of the Northeast Russian Arctic Region, Based on Seismic Data // Geotectonics. 2015. Vol. 49. No. 6. P. 469–484.
24. Drachev S., Malyshev N., Nikishin A. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview / Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers – Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference. B.A. Vining, S.C. Pickering (eds.). Geol. Soc. London. 2010. Vol. 7. P. 591–619. DOI: 10.1144/0070591.
25. Drachev S.S., Mazur S., Campbell S., Green C., Tishchenko A. Crustal architecture of the East Siberian

Arctic Shelf and adjacent Arctic Ocean constrained by seismic data and gravity modeling results // *J. Geodynamics*. 2018. Vol.119. P.123–148.

26. *Evangelatos J., Mosher D.C.* Seismic stratigraphy, structure and morphology of Makarov Basin and surrounding regions: tectonic implications // *Marine Geol.* 2016. Vol.374. P.1–13.

27. *Gaina C., Nikishin A. M., Petrov E.I.* Ultraslow spreading, ridge relocation and compressional events in the East Arctic region – A link to the Eurekan orogeny? // *Arktos*. 2015. Vol.1. No.16. 11p.

28. *Geoffroy L.* Volcanic passive margins // *Comptes Rendus Geosci.* 2005. Vol.337. P.1395–1408.

29. *Hegewald A., Jokat, W.* Tectonic and sedimentary structures in the northern Chukchi region, Arctic Ocean // *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 2013. Vol. 118. P.3285–3296.

30. *Houseknecht D.W., Bird K.J.* Geology and petroleum potential of the rifted margins of the Canada basin // *Arctic Petroleum Geology / A. Spencer (ed.). Geol. Soc. London. Memoirs*. 2011. Vol. 35. P.509–526.

31. *Houseknecht D.W., Bird K.J., Schenk C.J.* Seismic analysis of clinoform depositional sequences and shelf-margin trajectories in Lower Cretaceous (Albian) strata, Alaska North Slope // *Basin Research*. 2009. Vol.21. P.644–654.

32. *Ilhan I., Coakley B.J.* Meso–Cenozoic evolution of the Chukchi Shelf and North Chukchi Basin, Arctic Ocean // *Marine Petrol. Geol.* 2018. Vol.95. P.100–109.

33. *Jakobsson M., Backman J., Rudels B., Nycander J., Mayer L., Sangiorgi F., Brinkhuis H., O'Regan M., Jokat W., Frank M., King J., Morane K.* The Early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean // *Nature*. 2007. Vol.447. P.987–990.

34. *Jokat W., Ickrath M., O'Connor J.* Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev Ridges: Constraints on the geological evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean // *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. P.1–5.

35. *Jokat W., Ickrath M.* Structure of ridges and basins off East Siberia along 81°N, Arctic Ocean // *Marine Petrol. Geol.* 2015. Vol.64. P.222–232.

36. *Kashubin S.N., Petrov O.V., Artemieva I.M., Morozov A.F., Vyatkina D.V., Golyseva 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” // *J. Geodynamics*. 2018. Vol.119. P.107–122.

37. *Khoroshilova M.A., Franke D., Kirillova T., Mouly B., Nikishin A.M.* Dating and correlation of reference seismic horizons in the Laptev Sea Basin // *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2014. Vol. 69. No.5. P.271–280.

38. *Kumar N., Granath J. W., Emmet P. A., Helwig J. A., Dinkelman M. G.* Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey // *Arctic Petroleum Geology / A. Spencer (ed.). Geol. Soc. London. Memoirs*. 2011. Vol. 35. P.501–508.

39. *Kuzmichev A. B.* Where does the South Anyui suture go in the New Siberian islands and Laptev Sea? Implications for the Amerasia basin origin // *Tectonophysics*. 2009. Vol.463. P.86–108.

40. *Laverov N.P., Lobkovsky L.I., Kononov M.V., Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Sokolov S.D., Shipilov E.V.* 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. Vol.47. No.1. P.1–30.

41. *Lebedeva-Ivanova N., Gaina C., Minakov A., Kashubin S.* ArcCRUST: Arctic crustal thickness from 3D gravity inversion // *Geochem. Geophys. Geosystems*. 2019. doi: 10.1029/2018GC008098

42. *Lineva M.D., Malyshev N.A., Nikishin A.M.* The structure and seismostratigraphy of the sedimentary basins of the East Siberian Sea // *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2015. Vol.70. No.1. P.1–7.

43. *Miller E., Verzhbitsky V.* Structural studies near Pevek, Russia: implications for formation of the East Siberian Shelf and Makarov Basin of the Arctic Ocean // *Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov. EGU Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.* 2009. Vol.4. P.223–241.

44. Mineral Management Service (MMS). Chukchi Sea Province Summary, 2006, Assessment- Alaska Region // World Wide Web Address: Seismic Framework US Chukchi Shelf 13, 2006. <http://www.mms.gov/alaska/reports/2006Asmt/CHGA/chga.HTM>.

45. *Moore T.E., O'Sullivan P.B., Potter C.J., Donelick R.A.* Provenance and detrital zircon geochronologic evolution of lower Brookian foreland basin deposits of the western Brooks Range, Alaska, and implications for early Brookian tectonism // *Geosphere*. 2015. Vol.11. P. 93–122.

46. *Nikishin A.M., Kopaevich L.F.* Tectonostratigraphy as a basis for paleotectonic reconstructions // *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2009. Vol. 64. No.2. P.65–74.

47. *Nikishin A. M., Malyshev N. A., Petrov E.I.* Geological Structure and History of the Arctic Ocean. DB HOUTEN, the Netherlands: EAGE Publ., 2014. 88 p.

48. *Nikishin A.M., Gaina C., Petrov E.I., Malyshev N.A., Freiman S.I.* Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultraslow spreading and continental rifting revealed by new seismic data // *Tectonophysics*. 2018. Vol.746. P.64–82.

49. *Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A., Ershova V.P.* Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics // *Geodynam. Tectonophysics*. 2017. Vol.8. No.1. P.11–43.

50. *Parfenov L.M., Natal'in B.A.* Mesozoic tectonic evolution of Northeastern Asia // *Tectonophysics*. 1986. Vol.127. Is.3-4. P.291–304.

51. *Pease V., Drachev S., Stephenson R., Zhang X.* Arctic lithosphere – A review // *Tectonophysics*. 2014. Vol.628. P.1–25.

52. *Peron-Pinvidic G., Osmundsen P.T.* The Mid Norwegian - NE Greenland conjugate margins: Rifting evolution, margin segmentation, and breakup // *Marine Petrol. Geol.* 2018. Vol.98. P.162–184.

53. *Petrov O., Morozov A., Shokalsky S., Kashubin S., Artemieva I.M., Sobolev N., Petrov E., Ernst R.E., Sergeev S., Smelror M.* Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // *Earth Sci. Rev.* 2016. Vol.154. P.29–71.

54. A. Piskarev A., Poselov, V. Kaminsky V. Geologic structures of the Arctic Basin. N.Y.: Springer, 2019. 380 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77742-9>
55. Sekretov S.B. Northwestern margin of the East Siberian Sea, Russian Arctic: seismic stratigraphy, structure of the sedimentary cover and some remarks on the tectonic history // *Tectonophysics*. 2001. Vol.339. P.353–383.
56. Sherwood K. W., Johnson P. P., Craig J. D., Zerwick S. A., Lothamer R. T., Thurston D. K., Hurlbert S.B. Structure and stratigraphy of the Hanna Trough, U.S. Chukchi Shelf, Alaska // *Tectonic Evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Arctic Margin and Adjacent Landmasses* / E. L. Miller, A. Grantz, and S.L. Klemperer (eds.). Boulder, Colorado, USA: Geol. Soc. Am. Spec. Paper. 2002. P.39–66.
57. Skolotnev S., Akeksandrova G., Isakova T., Tolmacheva T., Kurilinko A., Raevskaya E., Rozhnov E., Petrov E., Korniyuchuk A. Fossils from seabed bedrocks: implication to the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (the Arctic Ocean) // *Marine Petrol. Geol.* 2019. Vol.407. P.148–163.
58. Sokolov S.D. Tectonics of Northeast Asia: An Overview // *Geotectonics*. 2010. Vol. 44. No.6. P.493–509.
59. Stein R. Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies, and Paleoenvironment. N.Y.: Elsevier Sci., 2008. 1<sup>st</sup> edn. Vol.2. 608 p. <https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-marine-geology/vol/2>
60. Stein R., Jokat W., Niessen F., Weigelt E. Exploring the long-term Cenozoic Arctic Ocean Climate History – A challenge within the International Ocean Discovery Program (IODP) // *Arktos*. 2015. Vol.1. No.3. 25 p.
61. Stoupakova A. V., Henriksen E., Burlin Yu.K., Larsen G. B., Milne J. K., Kiryukhina T. A., Golynchik P. O., Bordunov S. I., Ogarkova M. P., Suslova A. A. The geological evolution and hydrocarbon potential of the Barents and Kara shelves // A. Spencer (ed.). *Geol. Soc. London. Memoirs*. 2011. Vol. 35. P.325–344.
62. Verzhbitsky V.E., Sokolov S.D., Tuchkova M.I., Frantzen E.M., Little A., Lobkovsky L.I. The South Chukchi Sedimentary Basin (Chukchi Sea, Russian Arctic): Age, Structural Pattern, and Hydrocarbon Potential // *Tectonics and sedimentation: Implications for petroleum systems* / D. Gao (ed.). AAPG Memoir. 2012. Vol.100. P. 267–290.
63. Weigelt E., Franke D., Jokat W. Seismostratigraphy of the Siberian Arctic Ocean and adjacent Laptev Sea Shelf // *J. Geophys. Res.* 2014. Vol.119. No.7. P.5275–5289.
64. Williamson M.-C., Kellett D., Miggins D., Koppers A., Carey R., Oakey G., Dominique W., Jokat W., Massey E. Age and Eruptive Style of Volcanic Rocks Dredged from the Alpha Ridge, Arctic Ocean // *EGU General Assembly Geophys. Res. Abstr.* 2019. Vol. 21. EGU2019-6336.
65. Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. *Geology of the USSR: a plate tectonic synthesis*. 1990. AGU. *Geodynam.Ser.* Vol. 21. 242 p.

## Sedimentary Basins of the East Siberian Sea and the Chukchi Sea Region and the Adjacent Area of Amerasia Basin: Seismic Stratigraphy and Stages of Geological History

A.M. Nikishin<sup>a,\*</sup>, K.F. Startseva<sup>a</sup>, V.E. Verzhbitsky<sup>b</sup>, S. Cloetingh<sup>c</sup>, N.A. Malyshev<sup>b</sup>, E.I. Petrov<sup>d</sup>, H. Posamentier<sup>e</sup>, S.I. Freiman<sup>a</sup>, M.D. Lineva<sup>f</sup>, N.N. Zhukov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Geological Faculty, Moscow State University, 119991, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Rosneft, OLC, 117997, Moscow, Russia*

<sup>c</sup>*Utrecht University, PO Box 80125, 3508 TC, Utrecht, The Netherlands*

<sup>d</sup>*Ministry of Natural Resources and Environment of Russian Federation, 125993, Moscow, Russia*

<sup>e</sup>*Consultant, 25 Topside Row Drive, The Woodlands, TX 77380, USA*

<sup>f</sup>*Center for the Study of Geological Data (GeoGrid), 119071, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*e.mail: nikishin@geol.msu.ru*

Received May 27, 2019; Revised July 23, 2019; Accepted September 24, 2019

**Abstract** – The seismic stratigraphy scheme for the shelf basins of the East Siberian Sea and the Chukchi Sea region and the adjacent deep-water part of the Amerasia basin has been developed, and mega-sequences (or tectonostratigraphic units) with proposed age of 125–100, 100–80, 80–66, 66–56, 46–45, 45–34, 20–0 Ma are distinguished. Zhokhov foredeep basin of the Late Jurassic–Neocomian age is distinguished between the New Siberia and De Long islands. Three main phases of rifting are identified on the shelves in the region with ages of 125–100, 66–56 and 45–37 Ma. The main phase of continental rifting occurred in the Podvodnikov and Toll basins 125–100 Ma. The typical clinoform accumulation of sediments occurred at the edge of the shelf 66–20 Ma. We identified three syntectonic epochs of the formation of clinoform complexes with ages of 66–45, 45–34 and 34–20 Ma. The phase of uplifting and compression in the region of Wrangel Island happened ≈66 Ma. The relatively monotonous tectonic setting with approximately the same thickness of the sedimentary cover began from 20 Ma.

**Keywords:** Arctic, North Chukchi Basin, East Siberian Sea Basin, Podvodnikov Basin, Mendeleev Ridge, seismic stratigraphy