

УДК 551.7 (268.6)

Н.Н. Жуков¹, А.М. Никишин², Е.И. Петров³, С.И. Фрейман⁴**РИФТОВЫЕ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ
КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,**119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), 125993, Москва, ГСП-3, ул. Б. Грузинская, 4/6**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1**The Federal Subsoil Resources Management Agency, 125993, Moscow, GSP-3, B. Gruzinskaya str., 4/6*

Проанализированы структуры и геологическая история шельфа Восточно-Сибирской континентальной окраины на основе интерпретации сейсмических данных в комплексе с геологической информацией. Приведено описание основных структурных элементов Восточно-Сибирского моря, сформированных в результате процессов рифтогенеза баррем-аптского возраста: Новосибирский рифт, Манский, Северо-Мельвилльский и Дремхедский рифты в северной части Восточно-Сибирского бассейна, а также Меллвилльский прогиб — в южной. Рифты рассматриваются в совокупности с вулканическими зонами и основными относительными поднятиями — Де-Лонга, Врангеля, Котельническим и Барановским поднятиями. Сделано предположение, что рифтинг повлиял на кору котловины Подводников, утончив ее, вследствие чего сформировался крупный внутриконтинентальный осадочный бассейн.

Ключевые слова: Восточная Арктика, Восточно-Сибирский бассейн, рифтовые системы, рифтинг, шельф, сейсмостратиграфия.

This paper presents an analysis of the structure and geological history of the shelf of the East Siberian continental margin, based on the interpretation of seismic data in conjunction with geological information. The article describes the main structural elements of the East Siberian Sea which formed as a result of rifting processes (barremian–aptian) — the Novosibirsky, the Mansky, North Melvillsky and Dremheadsky rifts in the northern part of the East Siberian basin, and the Mellvillsky rift in the southern part. Rifts are considered together with volcanic zones and the main relative elevations — De-Long, Wrangel, Kotelnichesky and Baranovsky elevations. It is assumed that the process of rifting thinned out the crust of the Podvodnikov basin. The sedimentary basin was formed by rifting.

Key words: Eastern Arctic, East Siberian basin, rift systems, rifting, shelf, seismostratigraphy.

Введение. Первые отрывочные сведения о геологии Восточно-Арктического региона были заложены в работах полярных исследователей, таких, как Э.В. Толль и К.А. Воллосович. Э.В. Толль предположил, что Новосибирские о-ва представляют собой «продолжение горной материковой части Сибири на восток от реки Лены или отторженную часть Верхоянской дуги, вся тектоника которой обуславливается двумя системами тектонических линий, разбивающих часть Сибири на ряд горстов и грабенов» [Толль, 1884]. А.К. Воллосович рассматривал о. Беннетта (находится северо-восточнее Новосибирских о-вов), в качестве продолжения Средне-Сибирского плоскогорья [Воллосович, 1905].

Системное изучение региона началось в 1927 г. со строительства на о. Б. Ляховский (мыс Шала-

рова) научно-исследовательской станции Академии наук СССР. В те годы сотрудник станции М.М. Ермолаев собирал материалы о геологии о-вов Б. Ляховский [Ермолаев, 1933], Жаннеты и Генриетты [Ермолаев, Спизарский, 1947].

Значительный вклад, который внес М.М. Ермолаев, а также информация Э.В. Толля и геологические наблюдения К.А. Воллосовича продолжительное время, вплоть до начала 1960-х гг., оставались единственным источником сведений о тектонике Восточной Арктики. С этого времени продолжается сбор и анализ фактических материалов, необходимых для реконструкции и понимания геологического строения и истории развития региона.

Интенсивное геолого-геофизическое изучение акватории Восточной Арктики началось на

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирант; *e-mail*: n.zhukov@ginras.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, профессор; *e-mail*: amnikishin@gmail.com

³ Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), советник руководителя, *e-mail*: epetrov@rosnedra.gov.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирант; *e-mail*: freimansgy@gmail.com



Рис. 1. Положение сейсмических профилей, пересекающих континентальную окраину, на топографической схеме Восточно-Арктического региона и основные морфологические элементы, Универсальная полярная стереографическая проекция

рубеже 1960–1970-х гг. в результате выполнения геофизических съемок, что позволило не только провести районирование шельфа, но и увязать геологические данные. На прилегающих территориях суши неоднократно проводилось площадное и маршрутное геологическое картирование разного масштаба, были выполнены гравиметрические и аэромагнитные работы.

Несмотря на многолетний опыт исследований бассейнов Восточно-Сибирского моря, многие вопросы геологии остаются неизученными. Сложные ледовые и суровые климатические условия затрудняют полевые работы в этом секторе Арктики, поэтому это наименее изученная часть акватории Восточной Арктики России.

Нарастающий интерес специалистов в различных областях наук о Земле к Восточно-Арктическому шельфу вызван одной из важнейших проблем настоящего времени — созданием тектонической модели для оценки углеводородного потенциала его акватории.

В связи с этим за последнее десятилетие изученность Восточно-Сибирского моря сейсмическим профилированием МОГТ возросла,

появились новые сейсмические данные, интерпретация которых дает ключ к пониманию структуры Восточно-Сибирской континентальной окраины.

Важное значение для уточнения геологического строения имеют новые современные высококачественные сейсмические данные, полученные в ходе полевых работ организациями МАГЭ, Севморгео, СМНГ и ассоциацией «Геослужба ГИН РАН–Арктика», выполненных по госконтрактам в пределах территории работ. Отсутствие скважин в пределах исследуемой области и надежных геологических реперов заставляет искать опорные разрезы на смежных площадях (рис. 1).

Материалы и методы исследования. Работа основана на интерпретации сети сейсмических профилей, выделении сейсмокомплексов, прослеживании тектонических нарушений и детализации новой тектонической карты Арктического региона.

При исследовании рифтовых систем Восточно-Сибирского бассейна авторы использовали следующие фактические материалы:

— данные Первой международной арктической экспедиции (Integrated Ocean Drilling Program 302, проект ACEX) по бурению группы скважин на

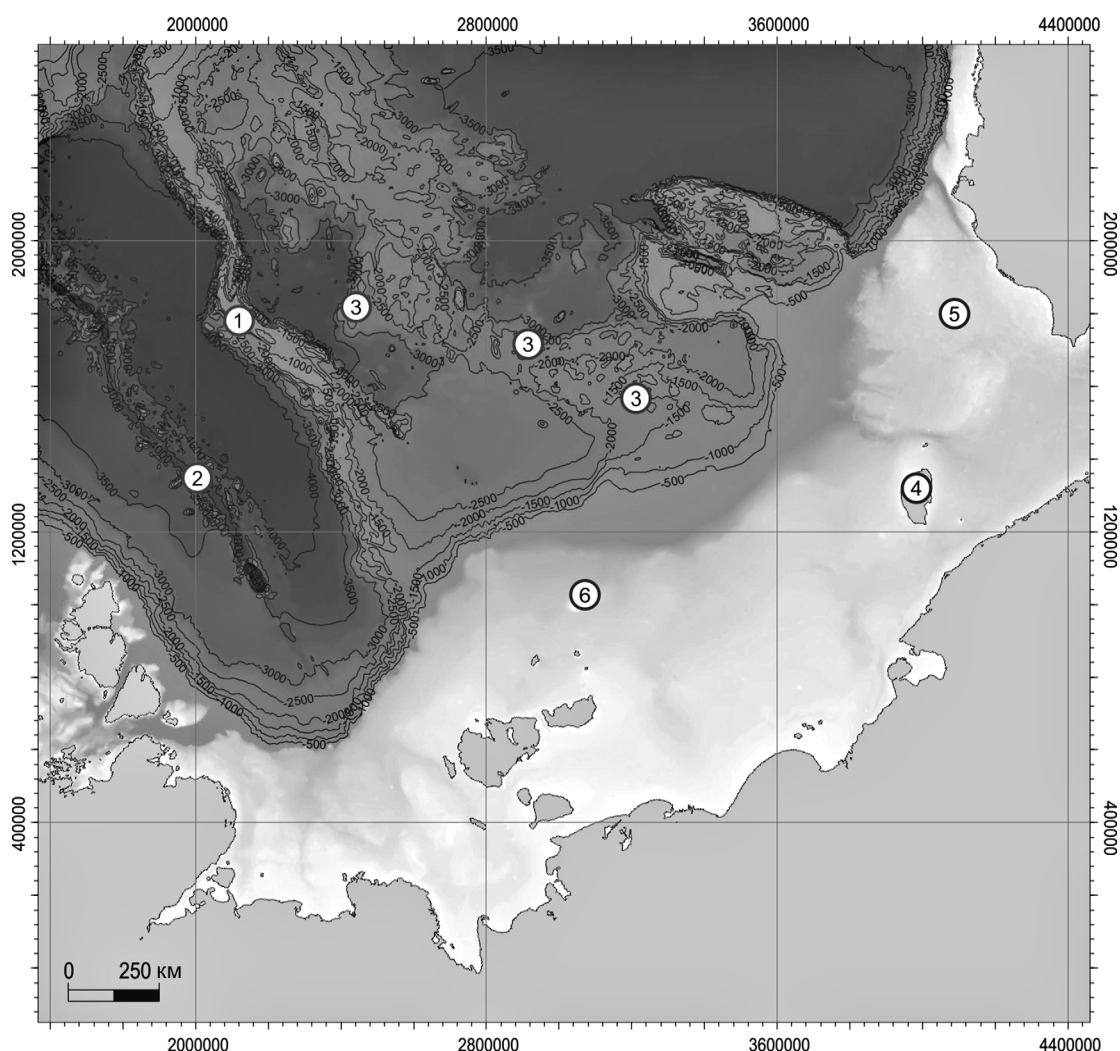


Рис. 2. Топографическая схема Восточно-Арктического региона. Кругами показаны фактические данные и сведения, на которых основана структурная интерпретация. Универсальная полярная стереографическая проекция.

хр. Ломоносова. В ходе экспедиции выявлена картина образования осадочных пород в центральной части Северного Ледовитого океана. Скважины пробурены до верхнемеловых отложений (~56 млн лет) [Moran et al., 2006; Backman et al., 2008];

- материалы международной группы ученых по созданию региональных сеточных моделей (гридов), карт магнитных и гравитационных аномалий Арктического региона. Непосредственный интерес здесь представляют данные о возрасте океанической коры под линейными магнитными аномалиями Евразийского бассейна [Gaina et al., 2011]. Интерпретация этих данных использована нами при сопоставлении с сейсмическими горизонтами 20, 45 и 56 Ма в бассейне Подводников и на шельфе Восточно-Сибирского моря (рис. 2, кружок № 1);

- изучение образцов, собранных на трех эскарпах поднятия Менделеева. На основании идентификации этих образцов, полученных при батиметрической съемке, данных видеонаблюдений и опробования дна с помощью технических средств с научно-исследовательской подводной лодки, выделены толщи палеозойских карбонатов

и кварцито-песчаников, интродуцированные раннемеловыми дайками и силлами, которые могут присутствовать только в коре континентального происхождения [Сколотнев, 2017];

- результаты изучения сейсмических профилей в Северо-Чукотском прогибе (проект компании «ТиДжиЭс/Интегратор» и Международной российско-шведско-американской геологической экспедиции-2006 на о-ве Врангеля и Северной Чукотке). В результате научно-исследовательских работ интерпретированы четыре основных угловых несогласия, предположительно доаптического, внутриальбского, позднемелового—раннекайнозойского и позднеолигоценового возраста. Сопоставление сейсмических профилей Восточно-Арктического региона с литолого-стратиграфическими единицами американского сектора Чукотского моря служит важнейшей информацией для понимания тектоники и выявления углеводородного потенциала Восточной Арктики [Вержицкий, 2010];

- скважины глубокого бурения в американском секторе Чукотского моря. Мезозойские отложения в пределах рифта Ханна вскрыты глубоким поисково-разведочным бурением в скважинах

Crackerjack, Popcorn и Burger. Хотя интерпретация сейсмических данных через поднятие Врангеля—Геральда носит дискуссионный характер, тем не менее, согласно нашей геологической модели, на сейсмических профилях в американском секторе отчетливо видно предаптское угловое несогласие (Brookian Unconformity), а также несогласие между отложениями мела и палеогена (Mid Brookian Unconformity), границы которых мы прослеживаем на российских сейсмических профилях [Kumar et al., 2011; Hegewald, Jokat, 2013; Nikishin et al., 2014; Ilhan, Coakley et al., 2018];

— сведения о возрасте базальтов магматического плато Де-Лонга, хр. Альфа—Менделеева и магматической провинции Врангеля—Геральда, которые входят в состав крупной, выполненной изверженными породами провинции Высокой Арктики (NALIP). Образование рифтовых систем морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского происходило синхронно с формированием глубоководных бассейнов Восточной Арктики и ознаменовалось началом процесса рифтинга, возраст которого датируется границей апта и альба и соответствует возрасту излияния базальтов на плато Де-Лонга. Одновременно с этим началось образование котловины Подводников и бассейна Толля. Рифтогенез апт-альбского времени произошел сразу после плюмового магматизма на плато Де-Лонга, Земле Франца Иосифа и в других местах. Бассейн Макарова, вероятно, сформировался позже, чем бассейн Подводников, между 78 и 56 млн лет назад [Drachev, Saunders, 2006; Grantz et al., 2011; Morozov et al., 2013; Nikishin et al., 2017].

Кроме того, в исследовании учитывались данные о строении и составе осадочных толщ разного возраста, изученных на арх. Де-Лонга, Новосибирских о-вов, Врангеля—Геральда [Вержбицкий, 2015; Kos'ko, Sobolev et al., 2013].

При интерпретации сейсморазведочных данных использованы принципы сейсмостратиграфии и сиквенс-стратиграфии.

При интерпретации тектонических нарушений к плоскостям сейсмических данных 2D был применен атрибутивный анализ с помощью программного обеспечения Petrel (марка Schlumberger). Библиотека насчитывает более 50 сейсмических атрибутов. Приводим алгоритм, который повышает эффективность выделения тектонических нарушений. В библиотеке атрибутов выбирается Trace AGC — усиление амплитуд, после реализации алгоритма усиления амплитуд применяется атрибут Frequency Filter, который усиливает разрешение сейсмической съемки. Следующее действие — применение атрибута Structural Smoothing (структурное сглаживание), после чего используется алгоритм Variance (дисперсия). По сути, это пример совместного использования амплитуд и когерентности для прослеживания тектонических нарушений по 2D данным.

Увязанная между собой в интерпретационную базу сеть региональных профилей, а также данные, на которых основана новая тектоническая модель Арктического региона, сформированы в единый цифровой сейсмогеологический проект. Синтез геологической информации в проекте позволяет более детально и конкретно описывать строение исследуемой территории. В проекте реализованы новые технологии трассирования тектонических нарушений, основанные на комплексном атрибутивном анализе в ПО Petrel.

Результаты исследований и их обсуждение.

Рассмотрим сейсмостратиграфическую характеристику осадочного чехла сектора Восточно-Сибирского бассейна по материалам сейсмических съемок, выполненных по госконтрактам в 2011, 2012 и 2014 г., а также коммерческим съемкам ION в 2011, 2012 и 2015 г. Вся интерпретация проводилась на временных разрезах без глубинных преобразований. Практически на всем протяжении профилей прослеживаются четко коррелируемые отражения, связанные с образованиями осадочного чехла бассейна (рис. 3).

Горизонт 125 Ma — кровля акустического фундамента — уверенно прослеживается на значительных по протяженности разрезах и выделяется в качестве регионального несогласия. Отражающий горизонт ярко выражен на ряде профилей, пересекающих поднятия Де-Лонга и Врангеля—Геральда, где в основаниях грабенов и горстов, фиксируется в виде высокоамплитудных пачек, предположительно отвечает излияниям базальтов, слагающих вулканическое плато Де-Лонга и Врангеля—Геральда, датируется в 125 млн лет, или раннемеловым возрастом [Nikishin et al., 2017].

Волновое поле, лежащее выше фундамента, расчленено на **8 сейсмокомплексов**, границами между которыми служат сейсмические региональные несогласия, или уверенно коррелируемые сейсмические отражающие горизонты с условным возрастом **125–100, 100–80, 80–66, 66–56, 56–45, 45–34, 34–20, 20–0** млн лет. Таким образом, эти сейсмостратиграфические комплексы можно интерпретировать как осадочные тела, отвечающие той или иной тектонической фазе развития региона [Никишин, 2019].

В основаниях грабенов и горстов интерпретируются комплексы синрифтовых осадочных отложений, имеющие характерную треугольную геометрию, выше которых прослеживается граница **100 Ma** [Nikishin et al., 2017]. Граница представляет собой среднеамплитудное отражение, выдержанное на всей площади Восточно-Сибирского бассейна, соответствует границе рифт—пострифт и датируется как несогласие сеноманского возраста (Cenomanian unconformity (CU)) на шельфе Аляски [Ilhan, Coakley, 2018].

80 Ma — стадия завершения субдукционных процессов в Охотско-Чукотском вулканическом

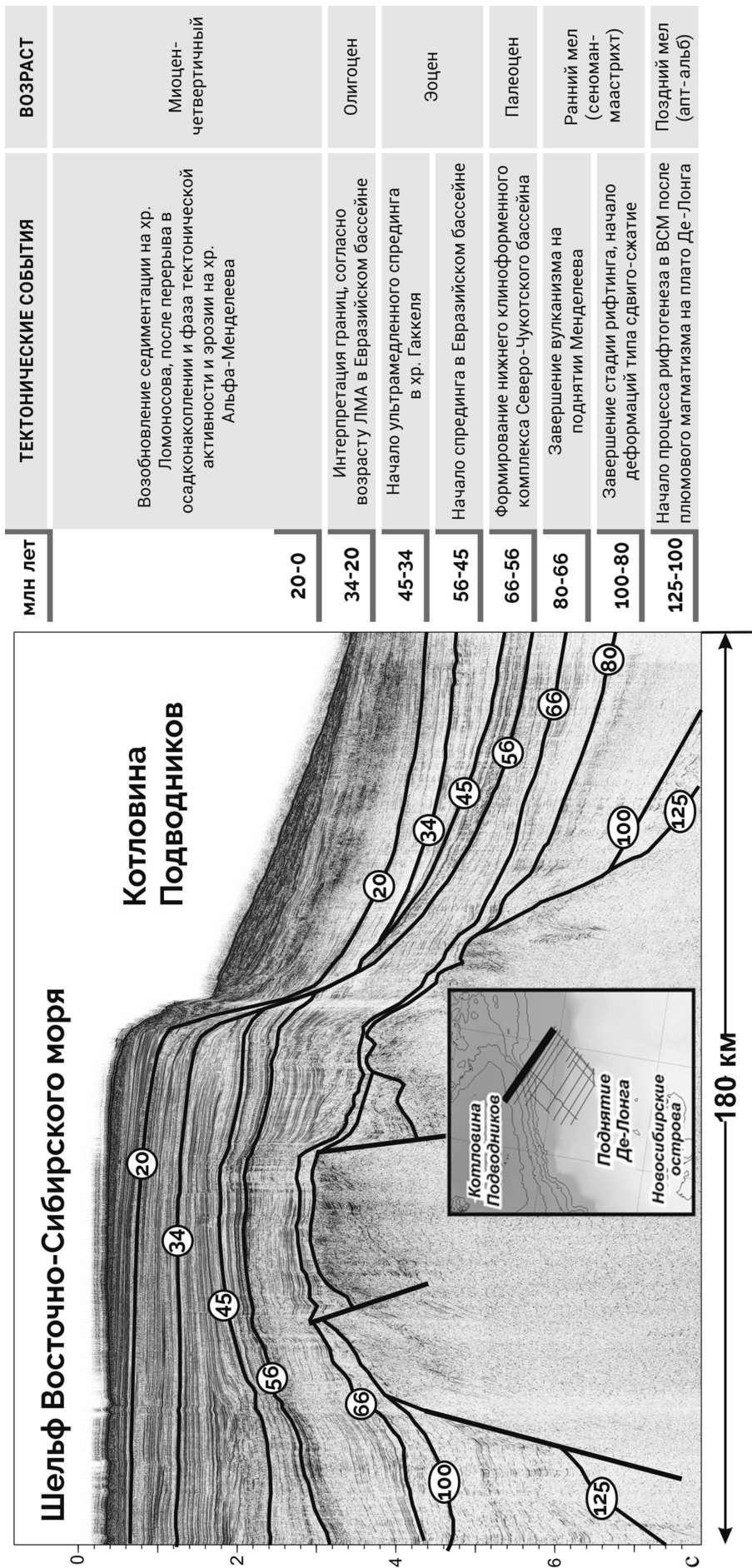


Рис. 3. Сейсмостратиграфия и возраст осадочного чехла Восточно-Сибирского бассейна

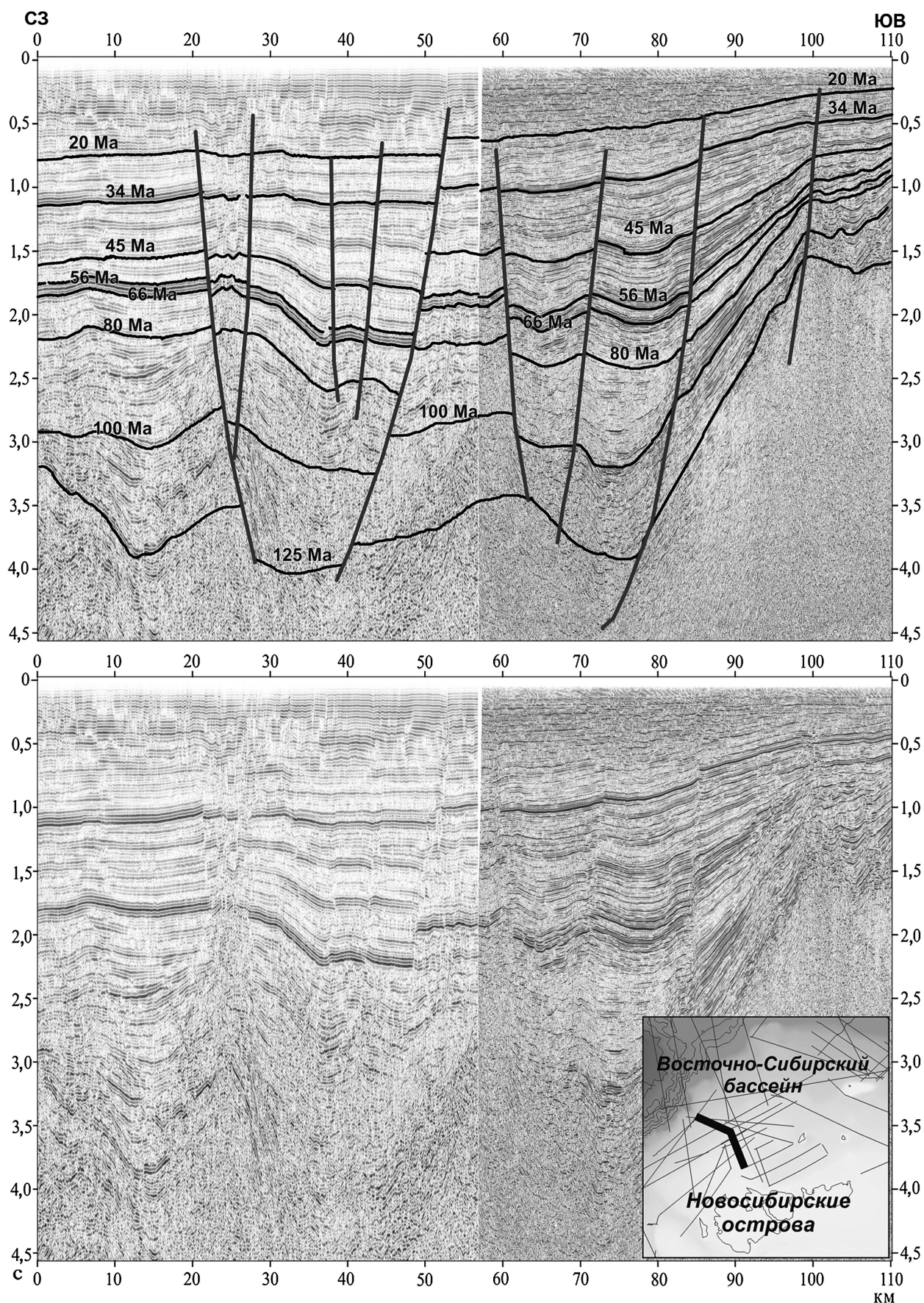


Рис. 4. Композитный сейсмический профиль BGR-97 через Новосибирский рифт. Показаны положение профиля (карта); условный геологический возраст (цифры на горизонтах, млн лет), масштаб горизонтальный — цифры на оси абсцисс, км; вертикальный — цифры на оси ординат, двойное время пробега волны, с

поясе [Акинин, 2011]. После субдукционных процессов начался этап формирования Коряско-Западнокамчатского аккреционного орогена, образование которого завершилось 50–45 млн лет назад (л. н.). Завершение стадии субдукционных процессов вулканизма в Охотско-Чукотском вулканическом поясе, возможно, соответствует моменту значительной перестройки кинематики плит и окончанию формирования хр. Альфа-Менделеева.

На всей площади Восточно-Сибирского моря прослеживается высокоамплитудное отражение, которое представляет собой региональное угловое несогласие между мелом и палеогеном и отвечает возрасту в 66 млн лет (**66 Ma**). Отражающий горизонт входит в интервал времени от 80 до 56 млн л. н., во время которого происходили крупномасштабные сдвиговые деформации, что предположительно привело к формированию бассейна Макарова. Горизонт 66 Ma — подошва нижнего клиноформного комплекса Северо-Чукотского бассейна [Nikishin et al., 2017].

Горизонт 56 Ma определяется нами как отражающий горизонт, соответствующий началу спрединга в Евразийском бассейне. Граница трассируется от американских скважин на Аляске (breakup unconformity) [Gaina et al., 2015; Ilhan, Coakley, 2018].

По данным Первой международной арктической экспедиции (Integrated Ocean Drilling Program 302, проект ACEX) пробурена группа скважин, самая глубокая из которых вскрыла верхнемеловые отложения. Границы отражающих горизонтов по данным исследования скважин ACEX были прокоррелированы на Восточно-Сибирский бассейн.

По данным ACEX граница **45 Ma** — переходная между глинистыми (вышележащими) и кремнистыми (нижележащими) отложениями, что свидетельствует о смене климатических условий в то время. Отражающий горизонт имеет среднеэоценовый возраст и соответствует подошве верхнего клиноформного комплекса Северо-Чукотского бассейна.

В скважине ACEX выделяется перерыв в осадконакоплении между **18,2 и 44 млн лет**, который представляет собой эрозионную границу. В работе А.М. Никишина [2019] показано, что на сейсмическом профиле интервал между горизонтами 20 и 45 Ma срезается ближе к хр. Ломоносова и определяет вероятный возраст этого интервала между горизонтами 20 и 45 Ma.

Горизонты с возрастом **34 и 20 Ma** выделяются на основании корреляции сейсмических профилей, пересекающих линейных магнитных аномалий в Евразийском бассейне [Gaina et al., 2015; Nikishin et al., 2017]. Ниже горизонта 34 Ma осадки в некоторых местах полого деформированы. Горизонт 34 Ma — поверхность несогласия с возрастом на границе эоцена—олигоцена.

Верхний горизонт, обозначенный 20 Ma, выделяется на всей территории Восточно-Сибирского бассейна и образует непрерывный покровный сейсмогеологический этаж. Предположительно горизонт имеет позднемиоценовый возраст, не осложнен разрывными нарушениями. Мощность комплекса достигает 2000 мс. Сверху сейсмокомплекс ограничен дном моря.

Рифтовые системы. Новосибирский прогиб расположен между поднятиями Новосибирских о-вов и арх. Де-Лонга, имеет протяженность около 300 км и ширину до 100 км. Простирается в юго-восточном направлении от Восточно-Ансинского прогиба к о-вам Фадеевский и Новая Сибирь (рис. 1).

В 1990 г. северная часть Новосибирского рифта была впервые исследована профилем МАГЭ-90800, а впоследствии грабен интенсивно изучали в ходе совместных российско-германских геофизических экспедиций BGR в 1993, 1994 и 1997 г. [Hinz et al., 1997].

Низкокачественные сейсмические съемки BGR позволили выявить только очертания Новосибирского прогиба и некоторые локальные тектонические нарушения (рис. 4), однако в 2011 г. грабен был исследован региональной высококачественной сейсмической съемкой ION-GTX, с помощью которой уточнена сложная структура рифта, разбитая ансамблем тектонических нарушений и разрывов (рис. 5). На волновой картине видно наличие многочисленных сбросов на фоне прогибания бассейна, такие структуры формируются в результате деформаций сдвига-растяжения, а тип строения относится к классическим отрицательным цветковым структурам (рис. 6).

Структуру рифта осложняет узкий асимметричный горст, который делит рифт на два параллельных грабена — западный и восточный. Западный грабен представляет собой единичный асимметричный рифт, главный сброс которого локализован в восточном борту. Мощность отложений в осевой части достигает 3500 мс. Восточный рифт имеет ширину 50–60 км и представляет собой собственно Новосибирский прогиб, где мощность отложений в центральной части достигает 4500 мс.

Поднятие Де-Лонга представляет собой крупную положительную в плане структуру. Границы поднятия и внутренняя структура отчетливо проявлены как в гравитационном, так и в магнитном поле. Аномалия магнитного поля, выраженная в районе Де-Лонга, типична для областей развития вулканогенных образований и платобазальтов, реликты которых четко прослеживаются на сейсмических разрезах в виде ярких высокоамплитудных пакетов в разрезе фундамента.

По комбинации сейсмических данных с аномалиями магнитного поля выявлена серия небольших грабенов и горстов, осложняющих

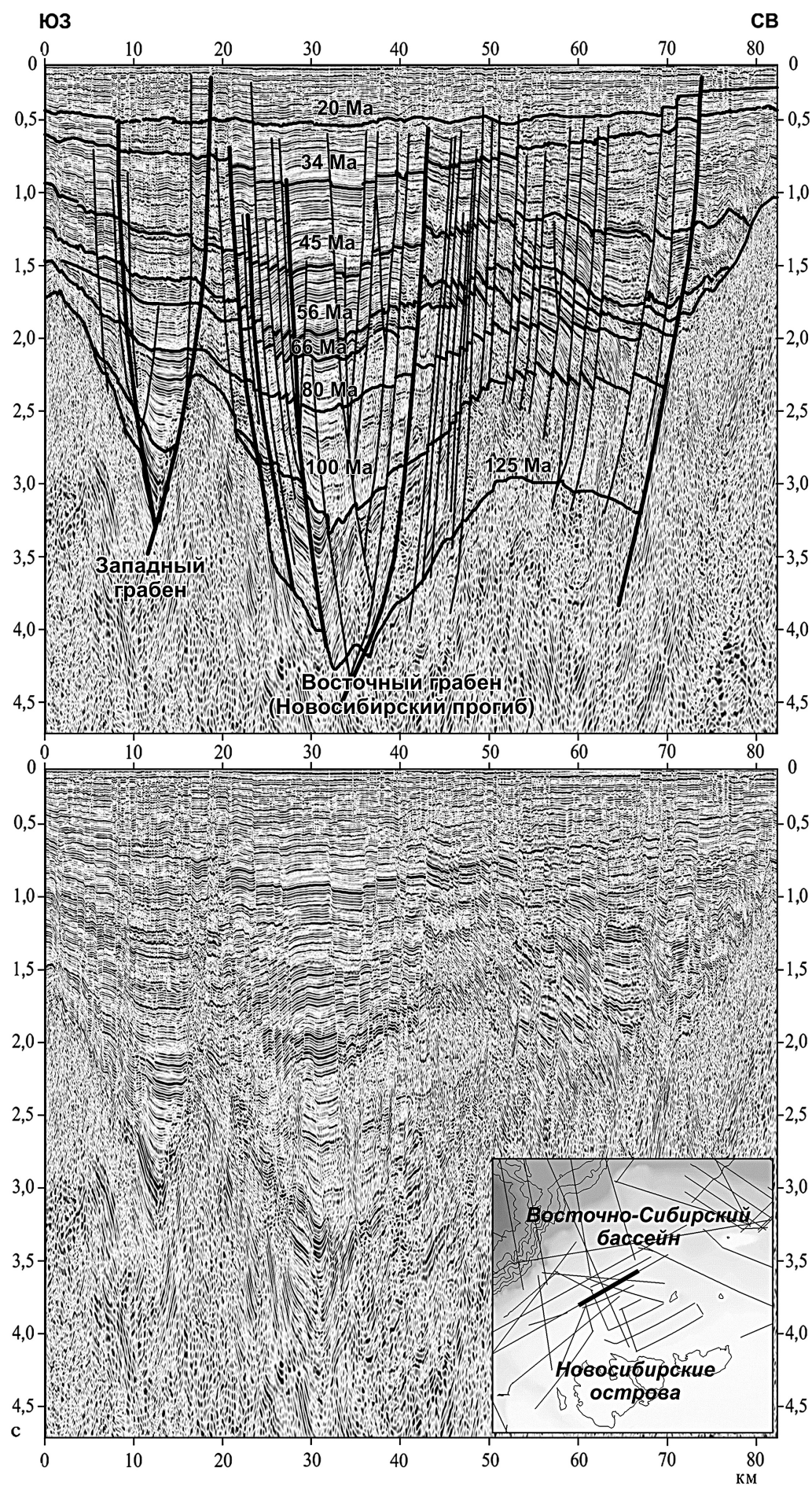


Рис. 5. Сейсмический профиль ION–GTX через Новосибирский рифт. Показаны положение профиля (карта); условный геологический возраст (цифры на горизонтах, млн лет), масштаб горизонтальный — цифры на оси абсцисс, км; вертикальный — цифры на оси ординат, двойное время пробега волны, с

внутреннюю структуру поднятия (рис. 7, 8). Ширина грабенов составляет 15–20 км, кровля акустического фундамента в грабенах опущена до 1,5–2,0 с, внутри которых выделяются сильные отражения. Вероятно, синрифтовое осадочное заполнение грабенов моложе аптских базальтов, которые предположительно входят в акустический фундамент. Видимо, серия грабенов на поднятии Де-Лонга сформировалась на начальных стадиях рифтинга Восточно-Сибирского бассейна.

В основании грабенов видны комплексы синрифтовых осадочных образований, имеющие характерную треугольную геометрию, выше которых прослеживается граница типа рифт–пострифт альб–сеноманского возраста (100 млн лет).

Поднятие Де-Лонга перекрыто маломощным кайнозойским осадочным чехлом (несколько сотен метров). При этом горизонт 125 млн лет (акустический фундамент) коррелирует вплотную к поверхности дна моря, вполне вероятно, что в подобных областях комплексы основания могут обнажаться.

Аналогичная картина отмечена в восточной части Восточно-Сибирского бассейна, где в соответствии с характером аномального магнитного поля, а также на основе сейсмических данных МОГТ 2D выделяются грабены, природу формирования которых можно рассматривать как рифтогенную структуру основания шельфа и определить как новую **рифтовую магматическую провинцию Врангеля** с возрастом фундамента, схожим с таковым на поднятии Де-Лонга (рис. 9). Для ряда профилей, пересекающих провинцию Врангеля, характерны высокоамплитудные пакеты отражений. Кровля акустического фундамента в основаниях рифтов колеблется в пределах 1–2,5 с, ширина грабенов соответствует 20 км.

Западная ветвь рифтовой системы расщепляет край Шелагского поднятия и, следуя в северо-восточном направлении, сочленяется с Северо-Чукотским бассейном.

Восточно-Сибирская система рифтов заполняет центральную часть континентальной окраины, простирается от поднятия Де-Лонга в северо-западной части до Северо-Чукотского бассейна в восточной части, включает в себя Манский рифт, поднятие Генриетты, Северо-Мельвилльский и Дремхедский прогибы в северной части Восточно-Сибирского бассейна (рис. 10), а также Мельвилльский рифт, Котельническое и Барановское поднятия — в южной (рис. 11).

Манский прогиб детально описан в статье [Никишин, Старцева, 2019], в осевой части он имеет глубину залегания фундамента до 6–6,5 с, осложнен тектоническими нарушениями с главным сбросом в северо-восточной части. В статье [Никишин, Старцева, 2019] показаны синрифтовые комплексы апт–альбского времени, структура прогиба имеет рифтовую природу.

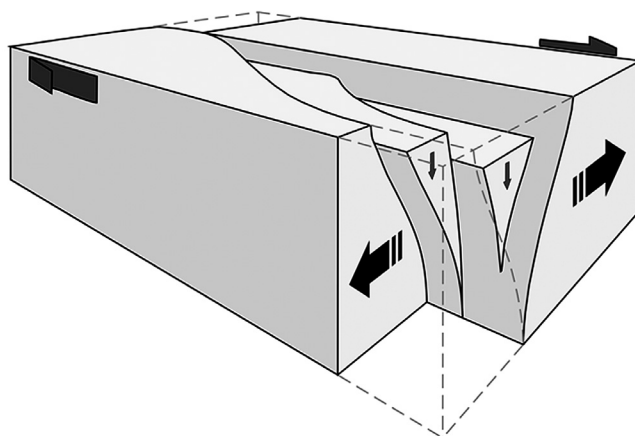


Рис. 6. Модель образования отрицательной цветковой структуры (сдвига–растяжение, транстенсия). Составлено на основе данных [Burg et al., 2018] с дополнениями

Северо-Мельвилльский прогиб представляет собой крупный грабен, кровля акустического фундамента которого достигает 8 с, имеет ширину 60–70 км. Толща синрифтовых осадков 2–2,5 мс (рис. 10).

Протяженность **Мельвилльского прогиба** составляет около 350–370 км при ширине 100–150 км. Симметричный прогиб состоит из двух узких рифтов, разделенных между собой поднятием. Мощность осадочного чехла в наиболее погруженной части прогиба составляет 4000 мс (рис. 10).

Восточная ветвь рифтовой системы Мельвилльского прогиба соединяется с **Барановским поднятием**. Поднятие имеет блоковое строение, геометрия которого схожа с блоковым строением поднятия Де-Лонга. На сейсмических разрезах в области фундамента прослеживаются высокоамплитудные пакеты платобазальтов, положительные структуры которых также хорошо интерпретируются на карте аномального магнитного поля. Мощность осадочного чехла Барановского поднятия варьирует от 200 до 600 мс.

Дремхедский рифт — переходная между Восточно-Сибирским и Северо-Чукотским бассейнами глубокая рифтовая структура, толщина осадочного чехла в осевой части достигает 7000 мс. Дремхедский рифт ограничен крупным разломом запад–северо-западного–восток–юго-восточного простирания, к которому приурочена область максимального погружения фундамента. В южном направлении происходит быстрое обмеление рифта, и он переходит в **Шелагское поднятие** [Линева, 2015].

Юго-восточная часть Шелагского поднятия сменяется **Врангель–Геральдским поднятием**, которое уверенно выделяется на карте аномального магнитного поля. В этой части бассейна практически отсутствует осадочный чехол, и фундамент выходит на поверхность.

Заключение. Мы проанализировали основные структурные элементы Восточно-Сибирской

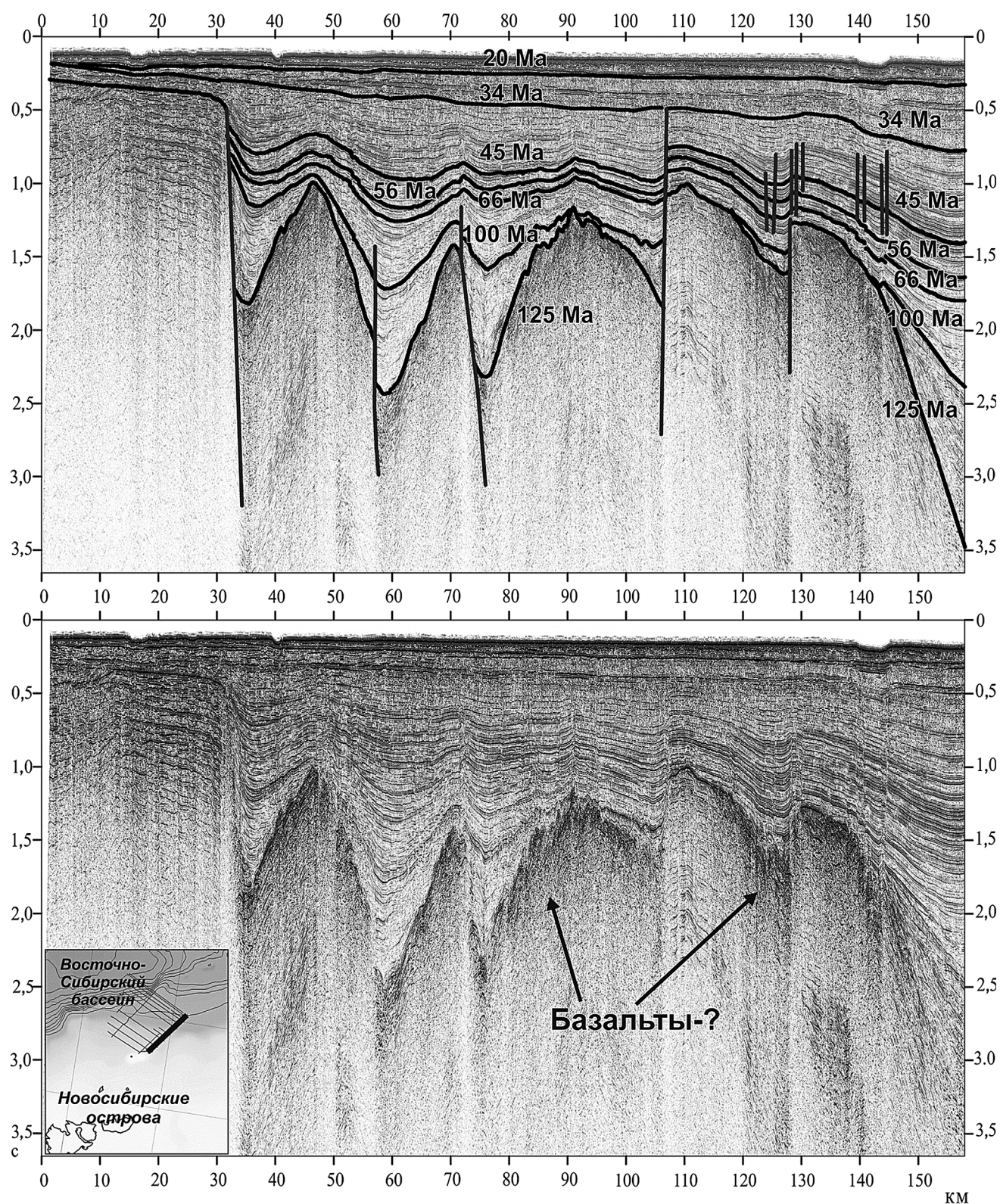


Рис. 7. Сейсмический профиль МАГЭ через поднятие Де-Лонга. Показаны положение профиля (карта); условный геологический возраст (цифры на горизонтах, млн лет), масштаб горизонтальный — цифры на оси абсцисс, км; вертикальный — цифры на оси ординат, двойное время пробега волны, с

континентальной окраины. Установлено сложное строение Новосибирского рифта, структура которого разбита ансамблем тектонических нарушений и определена как классический тип отрицательной цветковой структуры сдвига-растяжения, транс-тензии.

Все проанализированные рифтовые структуры Восточно-Сибирской континентальной окраины сформировались в результате процессов рифтогенеза баррем-аптского возраста — Северо-Мелльвильский, Мелльвильский, Манский, Дремхедский прогибы.

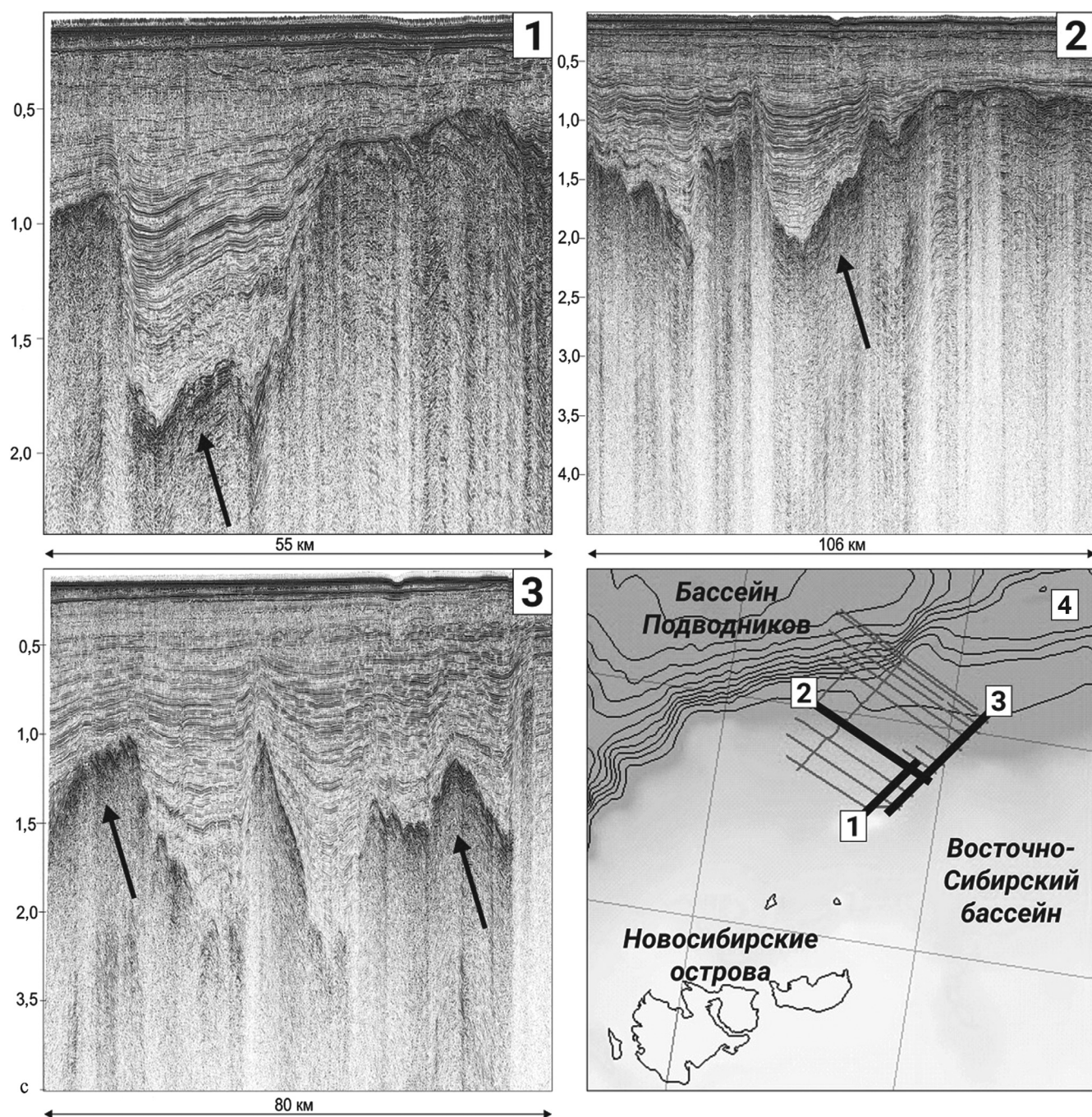


Рис. 8. Фрагменты сейсмических профилей через поднятие Де-Лонга (1–3) и их положение (4). Приведены яркоамплитудные отражения волновой картины, возможно, базальты с возрастом 125 млн лет. Масштаб горизонтальный — цифры на оси абсцисс, км; вертикальный — цифры на оси ординат, двойное время пробега волны, с

На серии сейсмических профилей в районах о-вов Де-Лонга и о-ва Врангеля, в основаниях рифтовых систем, четко выделяются характерные высокоамплитудные пачки, которые, вероятно, представляют собой базальты, возраст которых датируется барремом–аптом (или 125 млн лет).

Время излияния базальтов, как мы полагаем, связано с началом рифтогенеза и, соответственно, с формированием рифтовых структурных элементов. Процессы растяжения охватили всю область

Восточно-Сибирского шельфа, что привело к накоплению мощных синрифтовых комплексов, геометрия которых типична для континентального рифтинга. Континентальные отложения накапливались в обстановке посторогенного растяжения, заполняя рифтогенные впадины в апт-альбское время.

Финансирование. Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ (проекты № 18-05-70011 и №18-35-00133).

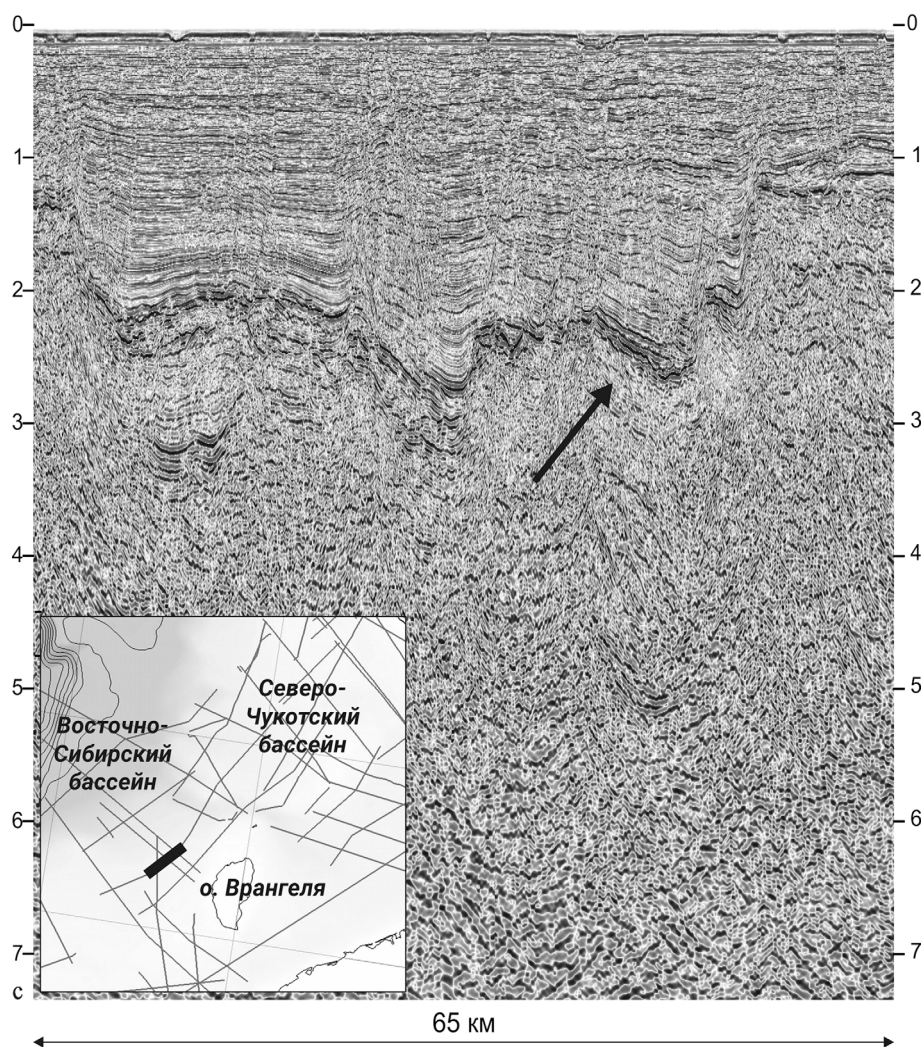


Рис. 9. Фрагмент сейсмического профиля, пересекающего провинцию Врангеля. Приведены высокоамплитудные отражения волновой картины, возможно, это базальты с возрастом 125 млн лет. Показано положение профиля (карта); условный геологический возраст (цифры на границах, млн лет), масштаб горизонтальный — км; вертикальный — двойное время пробега волны, с

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Франтцен Э.М. и др. Тектоническая структура, осадочные бассейны и перспективы нефтегазоносности шельфа Чукотского моря (Российская Арктика) // Газовая промышленность. 2010. Т. 14. С. 32–37.

Волосович К.А. О геологическом строении Новосибирских островов и Земли Беннетта // Зап. Минер. об-ва. 1905. Сер. 2. Ч. 43, кн. 2.

Ермолаев М.М. Геология и полезные ископаемые Новосибирского архипелага. Л.: Изд-во АН СССР, 1933. С. 157–182.

Ермолаев М.М., Спизарский Т.Н. Острова Де Лонга. Геология СССР. Т. XXVI. М.; Л.: Гос. Изд-во геол. лит-ры Мингео СССР, 1947. С. 366–387.

Никишин А.М., Старцева К.Ф., Вержбицкий В.Е. и др. Сейсмостратиграфия и этапы геологической истории осадочных бассейнов Восточно-Сибирского и Чукотского морей и сопряженной части Американо-Азиатского бассейна // Геотектоника. 2019. № 6. С. 3–26.

Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Корнийчук А.В. Новые данные о геологическом строении юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Докл. РАН. 2017. Т. 476, № 2. С. 190–196.

Толль Э.В. Об экспедиции на Новосибирские острова и побережье Ледовитого океана от Святого Носа до Хатангской губы // Зап. Акад. наук. 1894а. Т. 75, кн. 1.

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 // Pale-oceanography. 2008. Vol. 23, N 1. PA1S03.

Burg J.P. Script to Tectonics. Geological Institute. ETH Zurich, Switzerland. 2018. 365 p. DOI.org/10.3929/ethz-b-000279495

Drachev S., Saunders A.D. The Early Cretaceous Arctic Lip: its geodynamic setting and implications for Canada Basin opening // Proceed. Fourth Intern. conf. on Arctic Margins ICAM IV. US Department of the Interior. 2006. P. 216–223.

Gaina C., Nikishin A.M., Petrov E.I. Ultraslow spreading, ridge relocation and compressional events in the East Arctic region: A link to the Eureka orogeny? // Arktos. 2015. Vol. 1. 16 p. DOI.org/10.1007/s41063-015-0006-8.

Gaina C., Werner S.C., Saltus R. et al. Circum-Arctic mapping project: new magnetic and gravity anomaly maps of the Arctic. CAMP-GM GROUP // Petroleum Geology. Geological Soc. London. Mem. 2011. Vol. 35. P. 39–48.

Grantz A., Scott R.A., Drachev S.S. et al. Chapter 2 Sedimentary successions of the Arctic Region (58–64° to 90° N) that may be prospective for hydrocarbons // Arctic Petrol. Geol. Geol. Soc., Lond. Mem. 2011. Vol. 35. P. 17–37.

Hegewald A., Jokat W. Tectonic and sedimentary structures in the northern Chukchi region, Arctic Ocean // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2013. Vol. 118, N 7. P. 3285–3296.

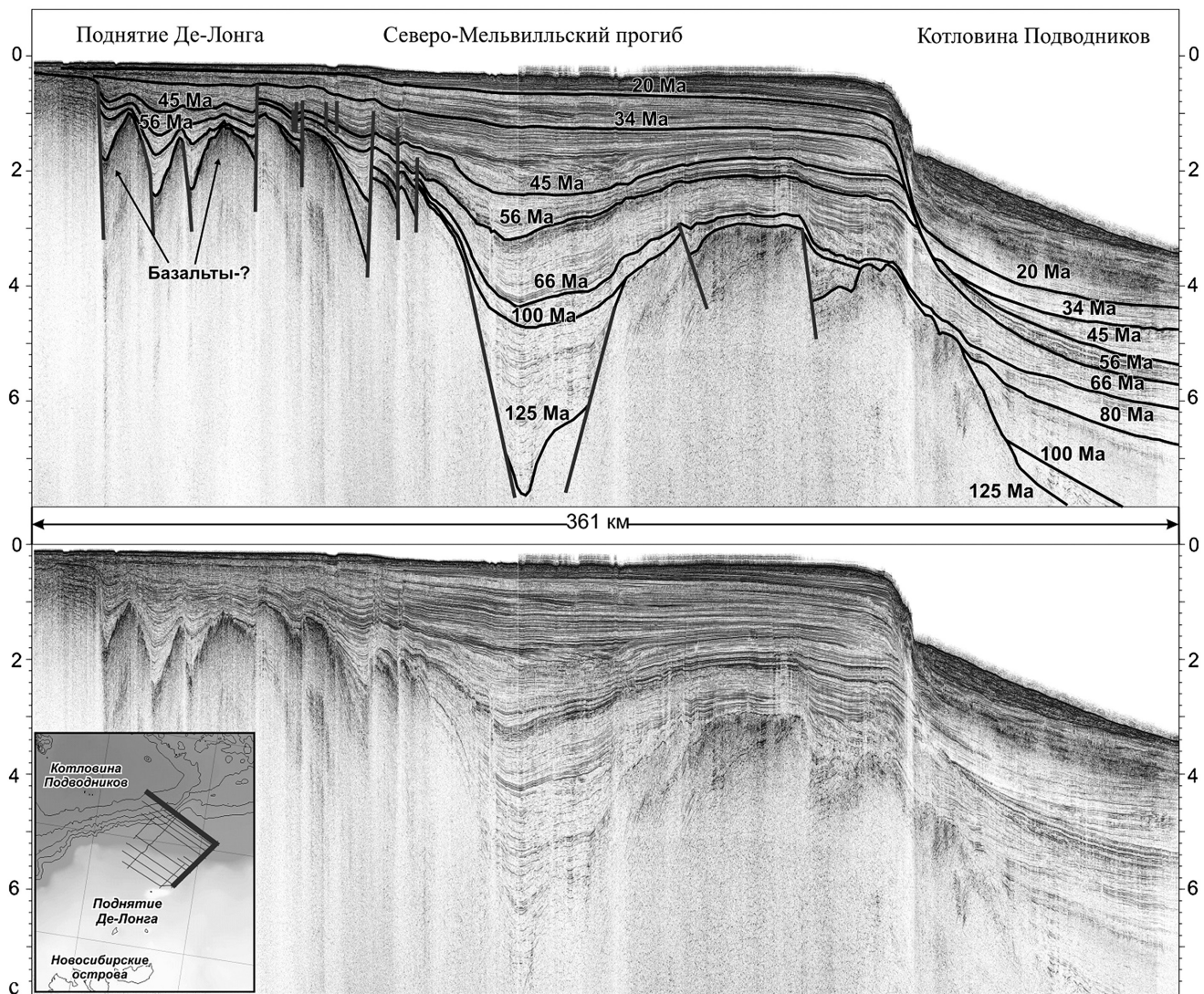


Рис. 10. Композитный сейсмический профиль через Северо-Мельвилльский рифт. Показано положение профиля (карта); условный геологический возраст (цифры на границах, млн лет), масштаб горизонтальный — км; вертикальный — двойное время пробега волны, с

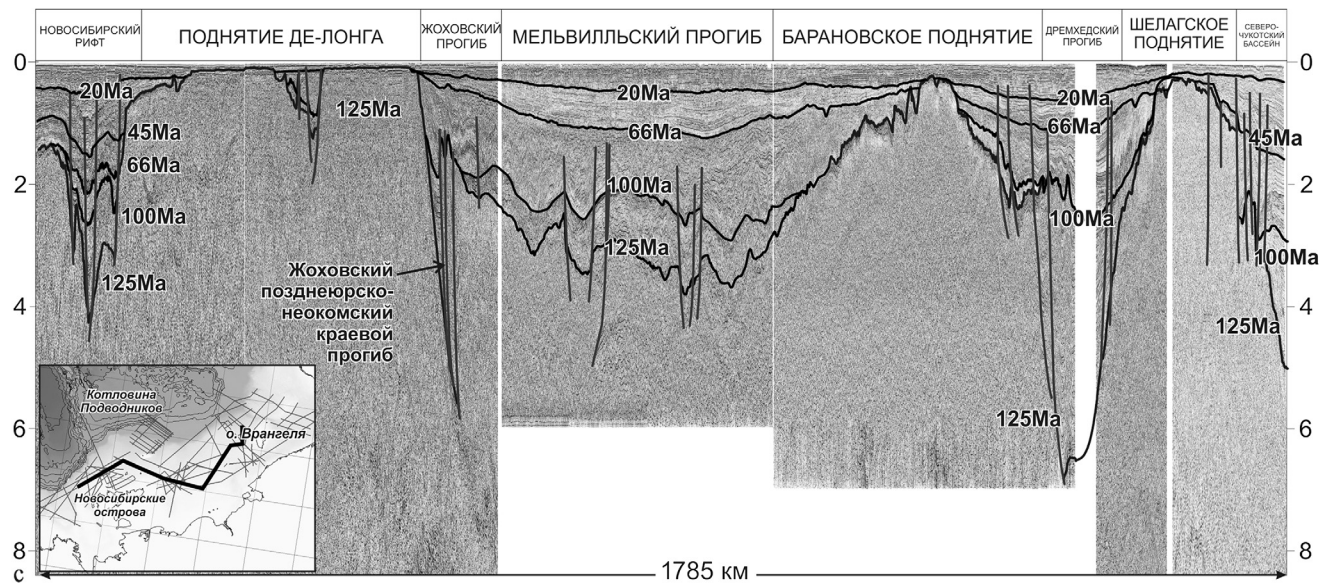


Рис. 11. Композитный сейсмический профиль через основные структуры Восточно-Сибирской континентальной окраины. Показаны положение профиля (карта); условный геологический возраст (цифры на горизонтах, млн лет), масштаб горизонтальный — км; вертикальный — цифры на оси ординат, двойное время пробега волны, с

Hinz K., Delisle G. Marine seismic measurements and geoscientific studies on the shelf and slope of the Laptev Sea and East Siberian Sea with M.V. Akademik Lasarev and I.B. Kapitän Dranitsin. Initial Report: Part II — Preliminary scientific results. Bundesanstalt fuer Geowissenschaften und Rohstoffe. 1997. 160 p.

Ilhan I., Coakley B.J., Houseknecht D.W. Meso—Cenozoic evolution of the Chukchi Shelf and North Chukchi Basin, Arctic Ocean // *Marine and Petroleum Geology*. 2018. Vol. 95. P. 100–109.

Kos'ko M.K., Sobolev N.N., Korago E.A. et al. Geology of Novosibirskian Islands — a basis for interpretation of geophysical data on the Eastern Arctic shelf of Russia // *Neftegazovaya Geol. Teoriya i Praktika*. 2013. Vol. 8, N 2. 36 p.

Kumar N., Granath J.W., Emmet P.A. et al. Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey // *Arctic Petrol. Geol. Geol. Soc. Lond. Mem.* 2011. Vol. 35. P. 501–508.

Morozov A.F., Petrov O.V., Shokalsky S.P. et al. New geological data substantiating continental nature of region of Central-Arctic rises // *Regional'naya Geol. i Metallogeniya*. 2013. Vol. 53. P. 34–55.

Nikishin A.M., Malyshev N.A., Petrov E.I. Geological structure and history of the Arctic Ocean // *EAGE Publications* by Houten. The Netherlands, 2014. 88 p.

Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A. et al. Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. Vol. 8, N 1. P. 11–43.

Verzhbitsky V.E., Sokolov S.D., Tuchkova M.I. Present-day structure and stages of tectonic evolution of Wrangel Island, Russian eastern Arctic Region // *Geotectonics*. 2015. Vol. 49, N 3. P. 165–192.

Поступила в редакцию 04.03.2020

Поступила с доработки 30.06.2020

Принята к публикации 30.06.2020