ГЕОТЕКТОНИКА, 2003, № 5, с. 57–72

УДК [551.3.051+551.24]:550.834.5(268.53)

СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ТЕКТОГЕНЕЗ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

© 2003 г. А. Л. Пискарев, И. В. Сорока, М. Ю. Чернышев

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана ВНИИОкеангеология, 190121 Санкт-Петербург, Английский просп., 1

Поступила в редакцию 14.08.2001 г.

Произведена компиляция сейсмических данных для центральной и восточной частей моря Лаптевых, полученных на более чем 30 профилях российскими и совместными германо-российскими экспедициями в период 1985–1997 гг. После увязки и оцифровки исходных данных рассчитана цифровая сейсмическая модель на площадь исследований и построены результирующие карты трех сейсмических горизонтов. На втором этапе работы построена трехмерная плотностная модель земной коры региона с помощью оригинальной авторской программы решения обратной задачи гравиразведки на основе сеточной аппроксимации GRAV-3D.

Существуют коренные различия структурных планов трех толщ, заключенных между опорными отражающими горизонтами. Структура верхней толщи связана с современным этапом рифтогенеза на шельфе моря Лаптевых и спрединга в глубоководном Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана, приведшего в течение последних 10–12 млн. лет к формированию хребта Гаккеля. Морфология средней осадочной толщи позволяет связывать начало ее формирования с раскрытием Евразийского бассейна на рубеже позднего мела и палеогена. Нижняя осадочная толща, накапливавшаяся главным образом вокруг дельты р. Лены и в прогибах, вытянутых в северо-западном и в северо-восточном направлениях, по-видимому, обязана своим происхождением стадии растяжения и рифтогенеза, предшествовавшей образованию Евразийского бассейна.

По результатам моделирования выполнено районирование акустического фундамента. Выделены области развития гранитно-метаморфического слоя континентальной земной коры платформенного типа, области развития складчатого акустического фундамента мезозойского возраста, область развития под мощным осадочным чехлом акустического фундамента, представленного редуцированным по мощности гранитно-метаморфическим слоем земной коры.

В плиоцен-четвертичное время формируется дивергентная граница плит в меридиональной зоне к западу от о-ва Бельковский. Признаков длительного существования в кайнозое дивергентной границы в земной коре шельфа моря Лаптевых нет.

ВВЕДЕНИЕ

Особый интерес к проблемам строения земной коры в море Лаптевых и их дискуссионность вызваны несколькими причинами. Первая причина та, что с трех сторон шельф моря Лаптевых окружен разновозрастными мезозойскими складчатыми поясами и докембрийскими платформенными блоками, границы которых на шельф однозначно не протягиваются. С четвертой, северной, стороны шельф через континентальный склон сопрягается с океанической котловиной и срединно-океаническим хребтом Гаккеля, в связи с чем остро стоит вопрос о воздействии на протяжении кайнозойской эпохи этой структуры на фундамент шельфа. Вторая причина – неясность как современного положения на шельфе моря Лаптевых дивергентной границы между двумя гигантскими плитами – Евразийской и Северо-Американской, так и положения этой границы на протяжении всего кайнозоя. Третьим остро дискуссионным вопросом является история формирования осадочного чехла моря Лаптевых, так как, несмотря на несомненно высокие перспективы нефтегазоносности этой акватории, глубокое картировочное бурение на ней до сих пор не проводилось. Решению этих трех основных вопросов и посвящена наша работа, основанная на компиляции новейших геофизических данных по региону, включающая обработку этих данных с помощью ряда специальных компьютерных программ и построение по гравиметрическим данным 3-D плотностной модели земной коры ключевой площади, охватывающей центральную и восточную часть моря.

Примерно до середины 60-х годов понимание геологии и тектоники моря Лаптевых основывалось на данных, собранных на его побережье и островах. С расширением площадей геофизических съемок это понимание все больше и больше опиралось на геофизические данные. Особое значение имело открытие, сделанное А.М. Карасиком, когда на основании анализа магнитных аномалий в глубоководном Евразийском бассейне, была установлена принадлежность хребта Гаккеля к системе срединно-океанических спрединговых хребтов [16]. Первоначально предполагалось, что рифтовая долина хребта Гаккеля имеет прямое продолжение на шельфе моря Лаптевых в виде Омолойского грабена, а далее через дельту Лены соединяется с Момским рифтом [12]. Однако

впоследствии, ввиду отсутствия явных геофизических доказательств продолжения оси спрединга на Лаптевский шельф, тектоническая карта, выпущенная по завершении региональных геофизических съемок в регионе, обрисовала лишь докембрийские платформенные площади и мезозойские складчатые пояса [6].

Вместе с тем представлялось несомненным, что формирование современной структуры шельфа моря Лаптевых произошло не без воздействия процессов, приведших к образованию Северного Ледовитого океана. Хронологическая последовательность формирования глубоководных океанических бассейнов была предложена и принята большинством исследователей в начале 80-х годов. Результатом идентификации магнитных аномалий в Евразийском бассейне было предположение, что начало продолжающегося до настоящего времени спрединга имело место в палеоцене [17]. После аналогичной идентификации магнитных аномалий в котловине Макарова было решено, что спрединг в этой котловине имел место в период от позднего мела до эоцена [38]. Принятый как наиболее вероятный вариант интерпретации магнитных аномалий в Канадском бассейне показал, что бассейн образовался в результате спрединга, происходившего в позднеюрское – раннемеловое время (155–115 млн. лет) [39]. Тектонические события на шельфе связывались с указанными выше фазами спрединга. Хотя весь северо-восточный шельф России рассматривался как единая окраинно-континентальная плита, фундамент который содержит блоки, сформированные от протерозойского до мезозойского времени [3, 11], последние фазы тектонических событий и перестроек были отнесены к рубежу раннего и позднего мела и границе палеоцена и эоцена [9].

В то же время развивалась и альтернативная гипотеза, предполагающая формирование северо-восточного обрамления Сибирского континента путем аккреции [20]. В соответствии с этой гипотезой в середине юры Новосибирские острова, наряду с другими континентальными блоками, были оторваны при раскрытии Канадского бассейна от континента Арктиды и, отделяясь от Сибири Анюйским океаном, начали к ней приближаться. Южно-Анюйский шов – след закрытия Анюйского океанического бассейна.

Дальнейшее накопление геолого-геофизических материалов привело к выводу о торцовом замыкании структуры хребта Гаккеля на границе шельфа. Было высказано предположение о продолжении зоны спрединга в виде кайнозойских рифтогенных грабенов в восточной части моря Лаптевых [10]. Появились данные о кайнозойском сжатии в отложениях Новосибирских о-вов, компенсирующем, по-видимому, растяжение на шельфе моря Лаптевых [23]. Детальный анализ сейсмологической информации позволил Г.П. Аветисову [1, 2] сделать заключение о разрыве единой границы плит на Лаптевоморском шельфе на западную (вдоль Лено-Таймырской зоны поднятий) и восточную ветви. При этом анализ землетрясений показал, что если в восточной сейсмоактивной зоне преобладают механизмы растяжения, то в Лено-Таймырской зоне часто устанавливается преобладание субгоризонтального сжатия.

Оценка возраста осадочных толщ в море Лаптевых при отсутствии картировочного бурения базировалась преимущественно на сейсмических данных, интерпретированных на основании изучения береговых разрезов. В первоначальной интерпретации сейсмических материалов нижняя часть разреза (до 8 км) многокилометровых осадочных толщ в западной части шельфа моря Лаптевых рассматривалась как акваториальное продолжение разреза Сибирской платформы с возрастом от рифея до раннего мела, а верхняя часть (до 5 км, образовавшаяся, как предполагалось, синхронно с полным разрезом осадков в восточной части моря) – как отложения позднемелового–кайнозойского возраста [15, 27]. Однако в дальнейшем все чаще обосновывался позднемеловой – кайнозойский возраст всего осадочного чехла моря Лаптевых [14, 31].

Наращивание и углубление сейсмических исследований в последние годы способствовало появлению новых гипотез о стадийности спрединга в Евразийском бассейне, с одной стороны, и о протекании процесса осадконакопления в море Лаптевых – с другой. Анализ сейсмических данных МОВ, полученных в море Лаптевых в ходе совместных германо-российских работ, привели К. Хинца и др. [33] к заключению, что обусловленное растяжением рифтообразование (без полного разрыва земной коры) имело место в море Лаптевых преимущественно между палеоценом и миоценом. В то же время предполагается, что новая кора, начиная с олигоцена, формировалась частично в Хатангско-Ломоносовской зоне, являющейся юго-восточной границей Евразийского бассейна. На основании анализа сейсмических материалов в глубоководных котловинах самого Евразийского бассейна, С.Б. Секретов [24] пришел к выводу, что океаническая кора в них была сформирована в период времени 56–33 млн. лет, а затем после перерыва в 30 млн. лет спрединг возобновился 1–3 млн. лет назад. Однако Г. Резер после анализа структуры линейных магнитных аномалий отнес реактивацию хребта Гаккеля ко времени 12 млн. лет назад [36].

Продолжается дискуссия о строении фундамента моря Лаптевых. Районирование складчатого основания осадочного чехла, выполненное Б.И. Кимом [18, 19], предполагает существование области раннекиммерийской складчатости на западе, позднекиммерийской – на востоке и гренвиллской – в западной и центральной частях моря Лаптевых. В то же время в работе С.С. Драчева и В.А. Виноградова утверждается позднемезозой-

ский возраст складчатости в юго-западной части шельфа моря Лаптевых [7], а фундамент системы Южно-Лаптевских прогибов В.И. Устрицким рассматривается как реликт палеозойского океана [28]. В недавней нашей работе, написанной по результатам плотностного моделирования земной коры, было показано, что компенсация отрицательного гравитационного эффекта многокилометровой осадочной толщи в Южно-Лаптевских грабенах и прогибах достигнута не только за счет подъема границы Мохо и уменьшения общей мощности земной коры, но и за счет подъема границы базитового слоя земной коры с выходом его непосредственно под осадочный чехол [22].

При анализе дизъюнктивной тектоники и следов возможных горизонтальных перемещений блоков земной коры М.Л. Верба [5] обращает внимание на сходство геологического строения (и геофизических аномалий) Новосибирских о-вов и архипелага Северная Земля, образование которых из единого целого произошло, по мнению автора, в позднем триасе как следствие сдвиговых деформаций при возникновении Канадской котловины. Другая шовная структура, вероятно, унаследованная, – Хатангско-Ломоносовская зона является прямым продолжением триасовой рифтогенной структуры Енисей-Хатангской впадины [13].

Что же касается узких глубоких (до 5–7 км) грабенов, развитых в восточной части моря Лаптевых и заполненных осадками, относимыми к верхним толщам разреза осадочного чехла [32, 35], то Г.П. Аветисовым [2] установлено, что именно в них концентрируется современная сейсмическая активность в регионе.

Приведенный обзор показывает, что на сегодняшний день открытыми или остро дискуссионными остаются ключевые вопросы строения земной коры шельфа моря Лаптевых. Во-первых, неясно пространственное распределение толщ осадков, положение зон преимущественного осадконакопления на отдельных этапах формирования чехла, связь зональности осадконакопления с раскрытием Евразийского бассейна. Во-вторых, существуют противоречивые данные и концепции о том, какие породы залегают в основании осадочного чехла моря Лаптевых и где проходят границы платформенных блоков и складчатых поясов. Наконец, открытым остается вопрос о том, где проходила в кайнозое и где проходит сейчас на шельфе моря Лаптевых дивергентная граница Евразийской и Северо-Американской плит. Решение этих вопросов, в той мере, в которой это позволяют сделать имеющиеся в настоящее время данные, составляет цель нашей работы.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Задачи исследования решались путем подбора и построения трехмерной модели земной коры центральной и восточной частей моря Лаптевых, наилучшим образом удовлетворяющей множеству разнообразной геолого-геофизической информации, включая данные геологических, сейсмических, гравиметрических, магнитометрических съемок, сейсмологических исследований, как на самом шельфе моря Лаптевых, так и на его побережье и островах.

На первом этапе была произведена компиляция сейсмических данных, полученных на более чем 30 профилях российскими и совместными германо-российскими экспедициями в период 1985–1997 гг. После увязки и оцифровки исходных данных цифровая сейсмическая модель на всю площадь исследований была рассчитана с помощью пакета программ SURFER. Опции этого же пакета программ использованы и для построения результирующих карт сейсмических горизонтов. На втором этапе работы построена трехмерная плотностная модель земной коры региона с помощью оригинальной авторской программы решения обратной задачи гравиразведки на основе сеточной аппроксимации GRAV-3D. Программа позволяет производить подбор плотностей в заданных пределах при закрепленной геометрии всего нижнего полупространства, разделенного на прямоугольные призмы вдоль разрезов, количество которых в нашем случае равнялось 10. Пределы изменений плотностей отдельных толщ и тел, использованные в ходе итерационного подбора модели, взяты как на основе справочных данных, так и по результатам измерений, выполненных в ходе специальных исследований в регионе [21]. Основой для построения геометрии разреза послужили сейсмические данные, непрерывные для толщ осадочного чехла и фрагментарные для глубинных границ. Эти данные дополнялись результатами сейсмологических исследований, а также результатами расчетов глубин источников аномалий потенциальных полей [8].

СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Анализ сейсмических материалов в регионе осложнялся до недавнего времени тем обстоятельством, что сравнительно немногочисленные сейсмические профили были пройдены различными организациями и многократно переинтерпретировались и переувязывались. Однако в середине 90-х годов на протяжении трех полевых сезонов совместными германо-российскими экспедициями в центральной и восточной частях моря Лаптевых был выполнен большой объем сейсмопрофилирования МОВ ОГТ. По комплексу признаков в осадочном чехле моря Лаптевых было выделено три сейсмостратиграфических этажа, а залегающие в их основании отражающие горизонты получили обозначения LS-1, LS-2 и LS-3. Новая сеть профилей во многих точках пе-

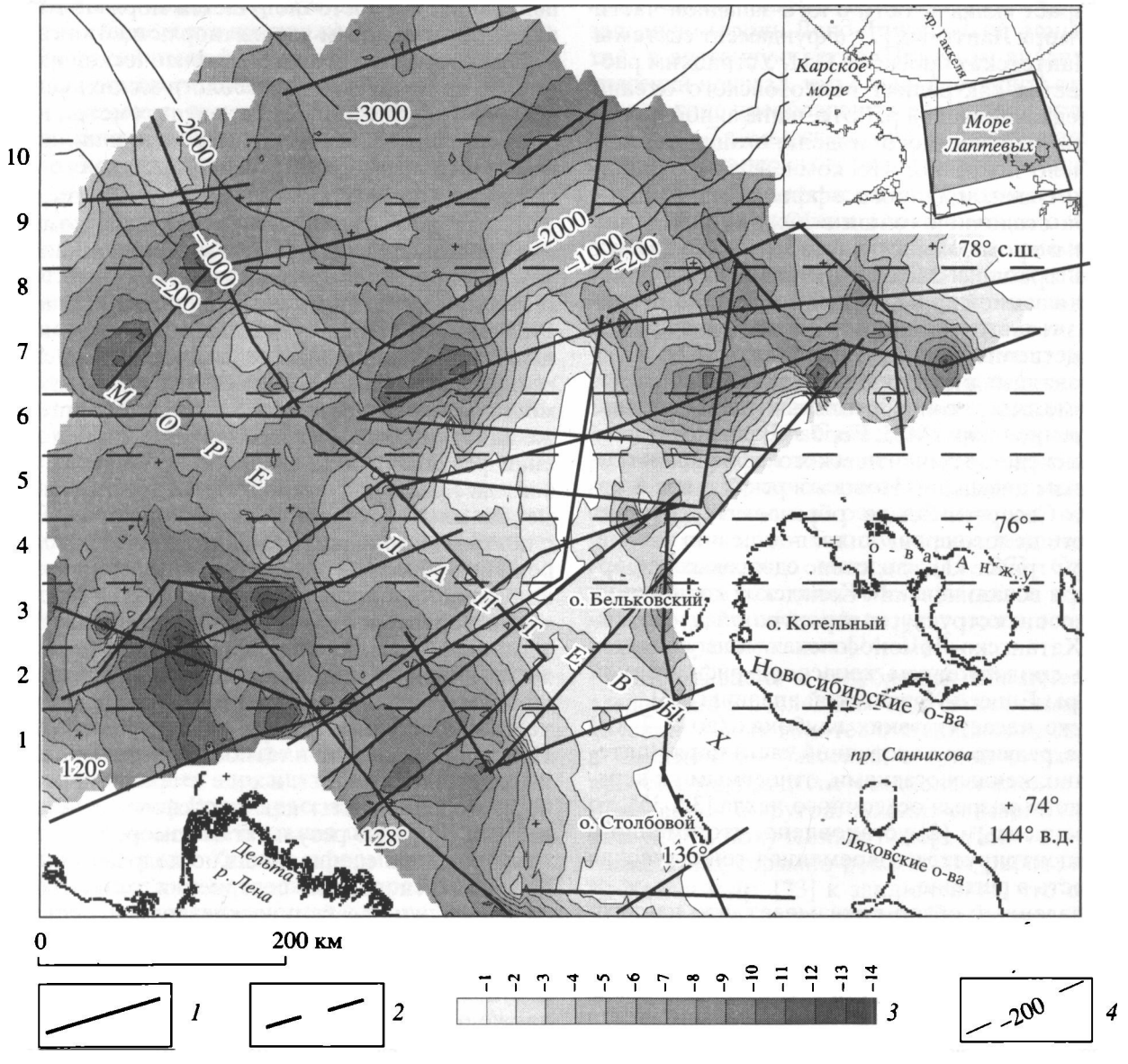

Рис. 1. Схематическая карта поверхности отражающего горизонта LS-1

1 – сейсмические профили; *2* – базовые профили трехмерной гравитационной модели; *3* – глубина до подошвы осадочной толщи, км; *4* – глубина моря, м

ресекает выполненные ранее Мурманской арктической геофизической экспедицией сейсмические профили. Таким образом, появилась возможность привязки зафиксированных на всех профилях отражающих границ к упомянутым трем горизонтам, что и было выполнено в рамках нашей работы.

Исходная возрастная привязка реперных горизонтов, проведенная авторами отчетов по упомянутым германо-российским работам МОВ ОГТ, основана на убеждении, что весь осадочный чехол моря Лаптевых отложился в рамках единого цикла прогибания, связанного с развитием спрединга в Евразийском бассейне, то есть на протяжении кайнозойской эры [31]. Поэтому в качестве возрастных границ были приняты рубежи наиболее значительных тектонических событий кайнозоя, установленных как при анализе глобальных перестроек, так и при изучении разрезов близлежащих территорий. Границе LS-1 присвоен возраст 65–56 млн. лет – время предполагаемого начала раскрытия Евразийского бассейна, открытия Норвежско-Гренландского бассейна, завершения отделения Гренландии от Евразии. Для границы LS-2 был принят возраст около 33 млн. лет (конец раннего олигоцена) – время прекращения спрединга в Лабрадорском море, отделения северо-восточной Гренландии от Шпицбергена. Позднемиоценовый возраст (9–10 млн. лет) был принят для границы LS-3 на основании датированной этим временем Индо-Азиатской коллизии, усилившей поступление свежих терригенных

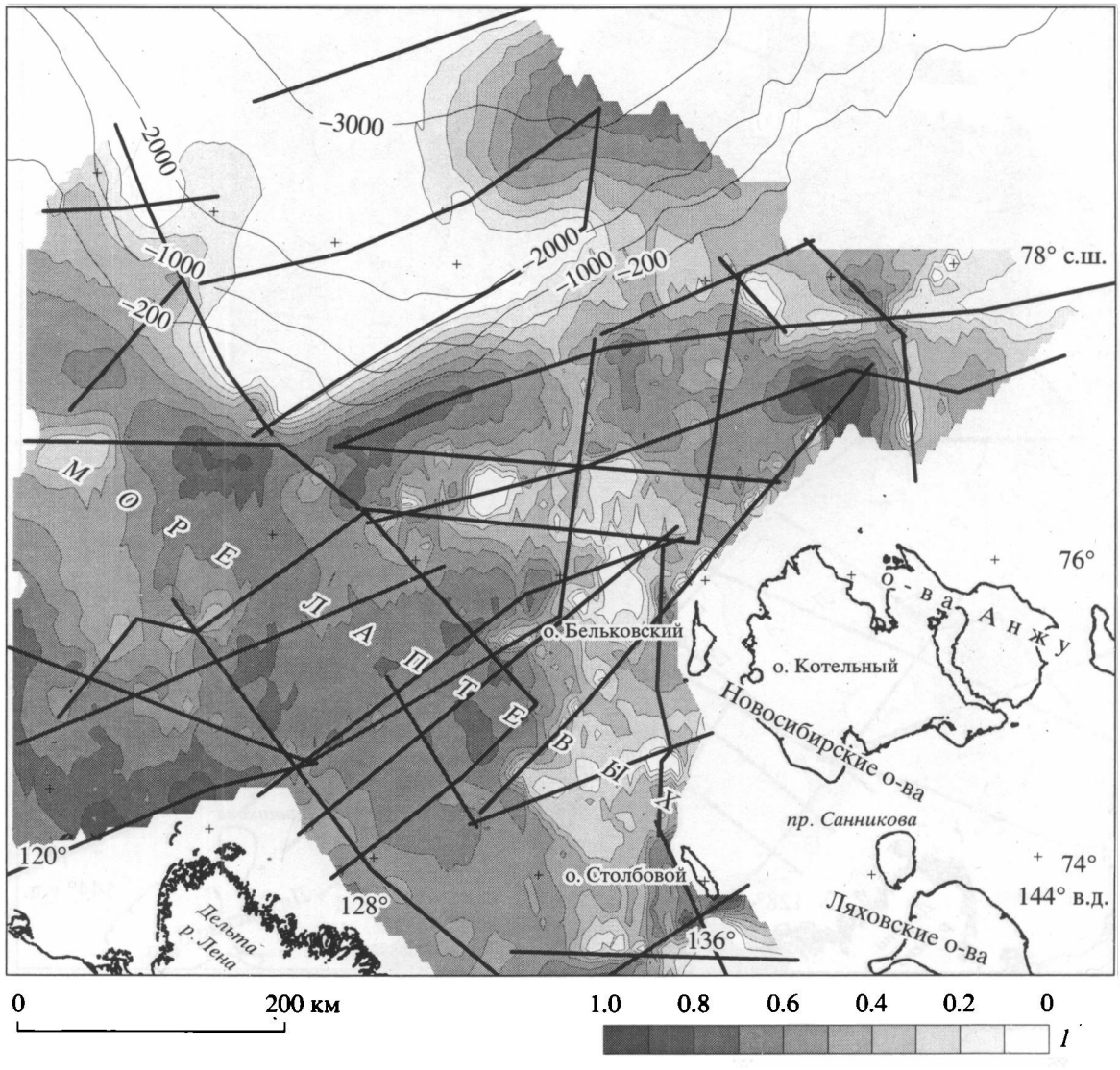

Рис. 2. Схематическая карта относительной мощности нижней толщи осадочного чехла, заключенной между отражающими горизонтами LS-1 и LS-2

1 – относительная мощность нижней осадочной толщи. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

осадков с Сибирской платформы через дельту Лены. Последняя граница особенно четко выражена в береговых разрезах о-вов Котельный и Ляховский и мыса Буорхая.

В выполненной нами работе была поставлена задача произвести анализ режима и положение зон преимущественного осадконакопления на протяжении трех этапов, ограниченных упомянутыми границами LS-1, LS-2 и LS-3, – анализ, который был бы независим от изначальной возрастной привязки этих опорных горизонтов.

После оцифровки границ и последующего создания на основе гридирования по сети 5 × 10 км цифровой сейсмической модели региона были построены схематические карты глубин горизонтов и карты изопахит трех заключенных между отражающими горизонтами толщ. Карты охватывают центральную и восточную части моря Лаптевых – площадь наибольшей концентрации профилей сейсмических исследований. Анализ построенных карт позволяет говорить о существенном изменении обстановки тектогенеза на каждом из трех выделенных этапов формирования осадочного чехла.

Карта глубины залегания подошвы осадочного покрова центральной и восточной части дна моря Лаптевых представлена на рис. 1. Максимальные глубины, до 14 км осадков, наблюдаются к северу от дельты Лены. Следует отметить, что вся область, окружающая дельту р. Лены, выглядит как единая депрессия. Некоторое увеличение общей мощности осадков наблюдается также в зоне северо-западного простирания на выходе к континентальному склону Новосибирского прогиба, расположенного к северо-востоку от Ново-

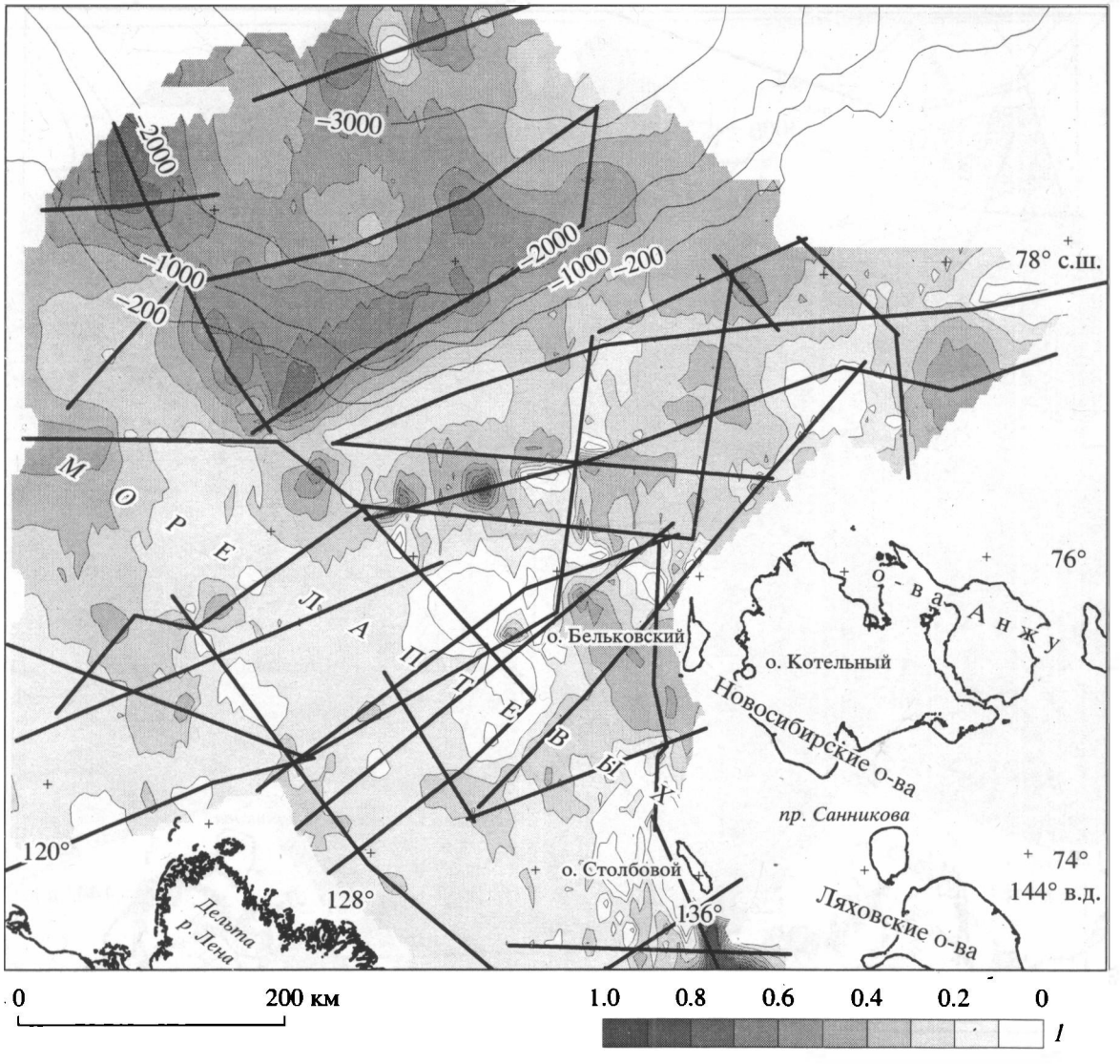

Рис. 3. Схематическая карта относительной мощности средней толщи осадочного чехла, заключенной между отражающими горизонтами LS-2 и LS-3

1 – относительная мощность средней осадочной толщи. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

сибирских о-вов, и в ряде других вытянутых разнонаправленных прогибах.

При анализе строения отдельных заключенных между отражающими границами толщ осадков удобно рассматривать не карты глубин горизонтов или изопахит, а карты относительной мощности толщ (мощность толщи, деленной на общую мощность осадочного чехла). В этом случае легче определить роль каждого горизонта в формировании всей толщи осадочного чехла моря Лаптевых и проследить в плане зоны, повышенное осадконакопление в которых связано с тектоническими факторами растяжения и прогибания.

На рис. 2 представлена карта относительной мощности нижней толщи осадочного чехла. По сравнению с картой на рис. 1 в области большой мощности осадков вокруг дельты Лены более четко проявляется северо-западная и северо-восточная ориентировка отдельных расположенных внутри этой области прогибов, свидетельствующих о наличии на этом этапе осадконакопления соответствующих зон растяжения и прогибания в фундаменте. Отметим также субширотный прогиб вблизи континентального склона, но не согласный с его современными контурами. Прогиб рассекается узкими субмеридиональными горстами и отделен поднятием от впадины, окружающей дельту Лены.

Рис. 3 иллюстрирует положение зон преимущественного осадконакопления, соответствующего времени формирования толщи, заключенной между отражающими горизонтами LS-2 и LS-3. Как видно из схематической карты (см. рис. 3), именно в это время интенсивное накопление осадков происходило в зонах, расположенных вдоль современного континентального склона, а также на океаническом ложе у его подножия.

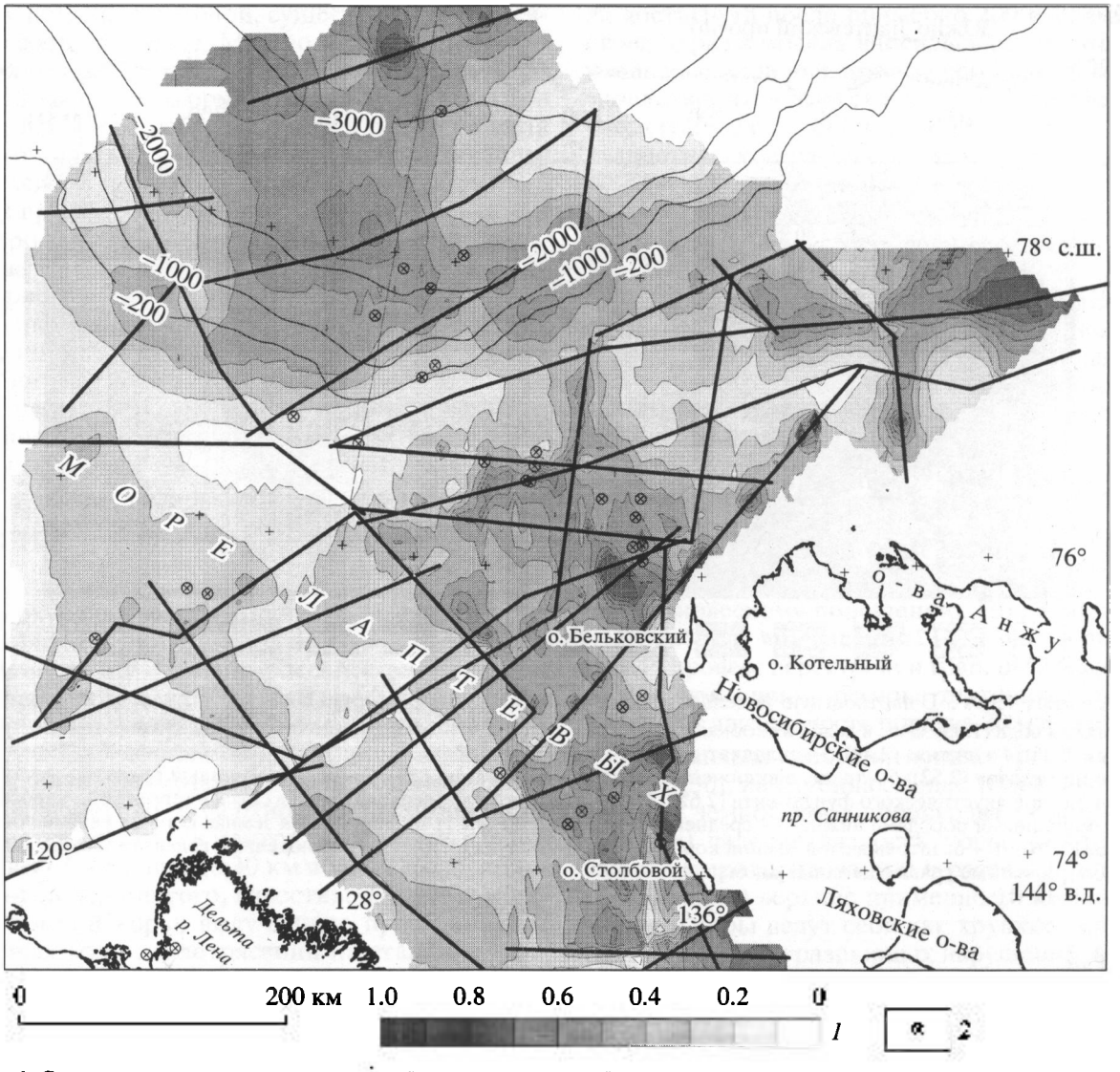

Рис. 4. Схематическая карта относительной мощности верхней толщи осадочного чехла, залегающей выше отражающего горизонта LS-3

1 – относительная мощность верхней осадочной толщи; *2* – эпицентры землетрясений с магнитудой более 4.0. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

На рис. 4 отчетливо видно расположение зон увеличенной мощности осадков на последнем этапе осадконакопления, соответствующем времени формирования толщи, расположенной выше отражающего горизонта LS-3. Прежде всего, это зона, протягивающаяся в субмеридиональном направлении к западу от о-ва Бельковский на юг, в район западнее мыса Буорхая. Современное тектоническое значение этой зоны подчеркивается и подтверждается тем обстоятельством, что в ней расположено большинство зафиксированных на шельфе моря Лаптевых эпицентров землетрясений с магнитудой более 4.0. В глубоководной части моря Лаптевых наибольшая мощность осадков верхней толщи фиксируется вблизи осевой рифтовой зоны хребта Гаккеля, в районе выхода хребта к континентальному склону. Возможно, две описанные выше субмеридиональные зоны соединены одна с другой общей субширотной зоной прогибания и осадконакопления, секущей под острым углом современный континентальный склон.

Таким образом, можно констатировать существование коренных различий в структурном плане трех описываемых толщ, заключенных между опорными отражающими горизонтами. Структура верхней толщи (см. рис. 4), несомненно, связана с современным этапом рифтогенеза на шельфе моря Лаптевых и спрединга в глубоководном Евразийском бассейне, приведшем в течение последних 10–12 млн. лет к формированию хребта Гаккеля. Субширотную зону, секущую континентальный склон, можно рассматривать как зону формирующегося трансформного разлома, име-

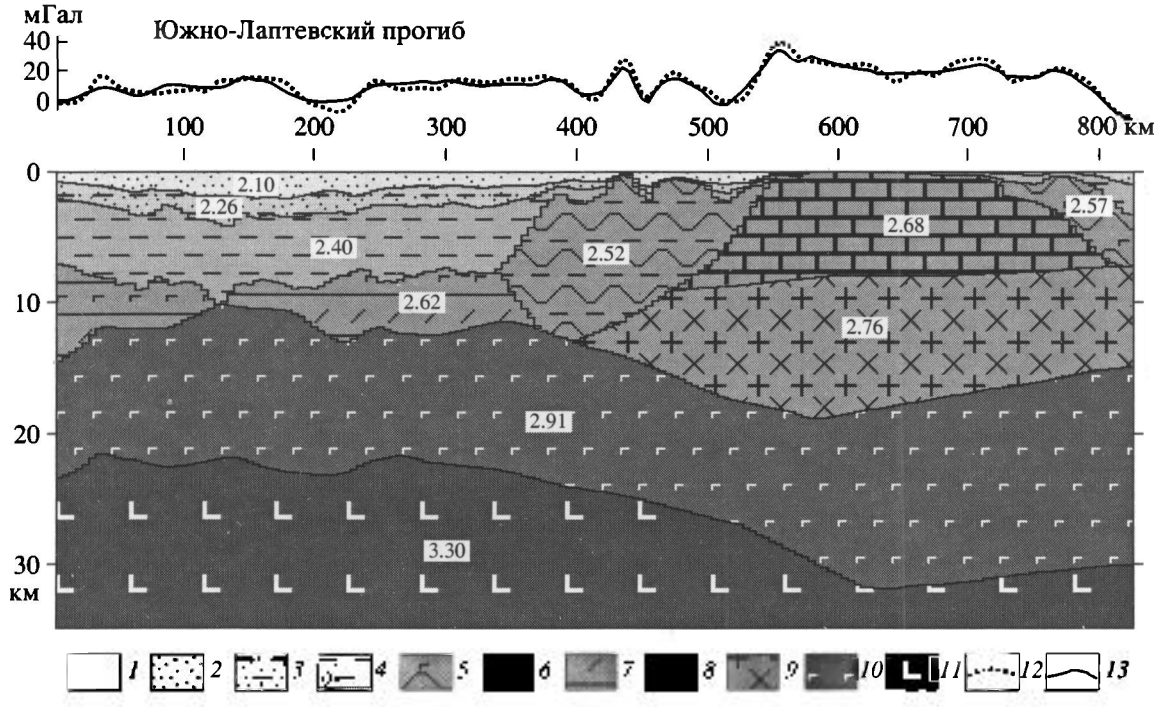

Рис. 5. Разрез через 3-D плотностную модель земной коры по профилю 1 (см. рис. 1)

1 – морская вода (1.03; здесь и далее в скобках плотность в г/см^3); *2–4* – толщи осадочных пород: *2* – верхняя (2.10), *3* – средняя (2.26), *4* – нижняя (2.40); *5* – складчатый акустический фундамент, предположительно состоящий из терригенных толщ мезозоя (2.52); *6* – то же, с включением магматических тел (2.57); *7* – редуцированный гранитно-метаморфический слой акустического фундамента (2.62); *8* – гранодиоритовая "верхняя" кора в смеси с терригенно-карбонатными осадочными породами нижнего – среднего палеозоя (2.68); *9* – гранодиоритовая земная кора на глубине более 8–10 км (2.76); *10* – базитовый слой земной коры (2.91); *11* – мантия (3.30); *12* – наблюденные гравитационные аномалии; *13* – расчетные гравитационные аномалии

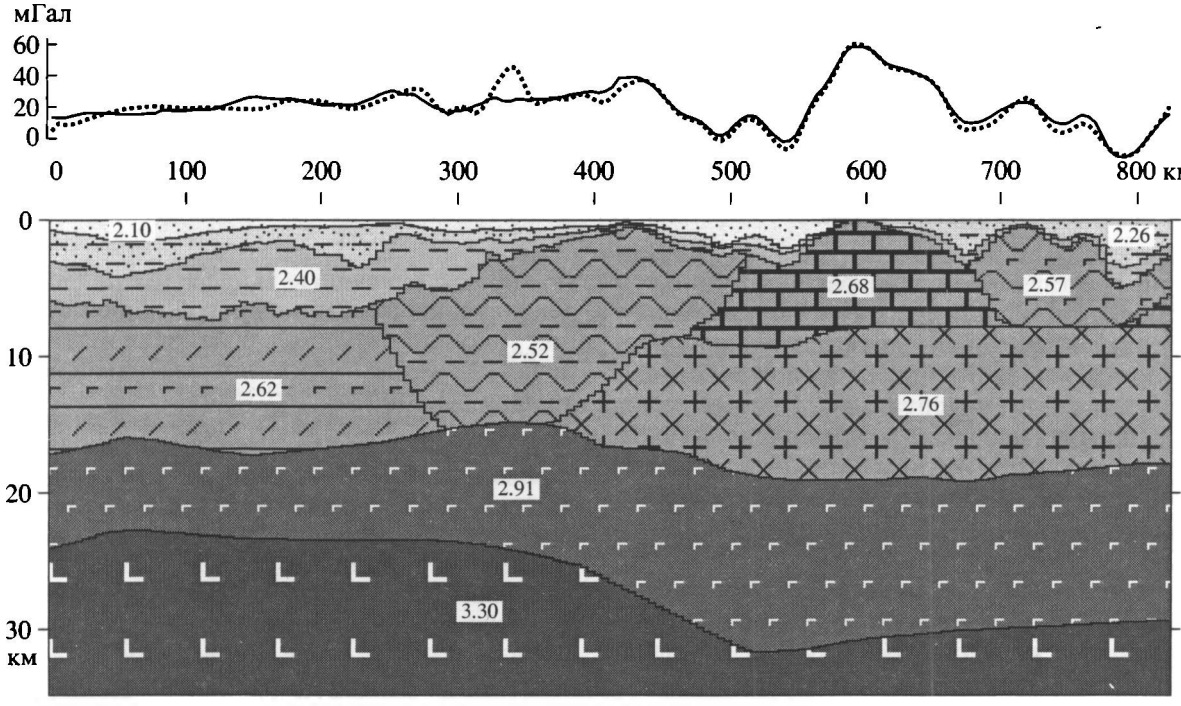

Рис. 6. Разрез через 3-D плотностную модель земной коры по профилю 5 (см. рис. 1)

Условные обозначения см. на рис. 5

ющую, помимо сдвиговой, существенную раздвиговую составляющую. Морфология средней осадочной толщи (см. рис. 3) позволяет связывать начало времени ее формирования с раскрытием Евразийского бассейна на рубеже позднего мела и палеогена. Нижняя осадочная толща, накапливавшаяся главным образом вокруг дельты р. Лены и в прогибах, вытянутых в северо-западном и в северо-восточном направлениях, по-видимому, обязана своим происхождением стадии растяжения и рифтогенеза, предшествовавшей образованию Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. В то же время мощность нижней толщи на юге моря Лаптевых столь значительна, что смена режима в последующие два этапа лишь в ограниченной степени повлияла на общую мощность осадочного чехла.

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИЦЫ И ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ФУНДАМЕНТА

12-секундная запись хорошего разрешения на профилях МОВ ОГТ, выполненных в ходе работ по совместному германо-российскому проекту, позволила на многих участках профилей проследить границу, которая была отождествлена с нижней границей земной коры – границей Мохоровичича. Глубина зафиксированных сейсморазведкой фрагментов поверхности Мохоровичича изменяется от 21 км в центральной части Южно-Лаптевской впадины до 30 км вблизи Новосибирских о-вов. Кроме того, известны данные о мощности земной коры, полученные путем анализа обменных волн землетрясений на станциях, располагавшихся на Лаптевоморском побережье о-вов Котельный и Большой Ляховский. Мощность земной коры на этих станциях оценена в 32–33 км.

Помимо границы Мохоровичича и границ осадочных толщ, сейсморазведкой фрагментарно зафиксировано два вида внутрикоровых границ. Одна из них – поверхность детачмента, располагающаяся в диапазоне глубин 10–15 км в зоне выполаживания разломов, ограничивающих впадины центральной части моря Лаптевых. Вторая – поверхность так называемой "высокоотражающей нижней коры", зафиксированная на глубинах 12–18 км в области перехода от поднятий Новосибирских о-вов и о-вов Де-Лонга к окружающим их впадинам. По положению и характеру эта граница представляет собой контактную поверхность, являющуюся, вероятно, следом происходивших по ней сдвигово-надвиговых тектонических подвижек.

Все полученные сейсморазведкой данные были введены в исходную трехмерную модель, послужившую базовой моделью для последующих расчетов и подбора плотностей и границ. Сложность выполненной работы характеризует тот факт, что удовлетворительная увязка всех геолого-геофизических и петрофизических данных была достигнута после примерно 200 итераций, т.е. столько раз в модель вносились различные изменения и дополнения, прежде чем была достигнута удовлетворительная сходимость наблюденных и рассчитанных аномалий силы тяжести, среднеквадратическое расхождение между которыми в результате составило менее 3 мГал.

Прежде чем переходить к описанию результатов моделирования, необходимо хотя бы кратко остановиться на том, что представляют собой глубинные границы земной коры и какие задачи может решать (а какие не может) моделирование. Поверхность Мохоровичича – подвижная физическая граница. При изменении термодинамической обстановки, когда эта граница может опускаться вниз (при сжатии и складкообразовании) или подниматься вверх (при растяжении и рифтогенезе), происходит постепенное нивелирование состава и свойств лежащих выше и ниже этой границы толщ и одновременно формируется новая граница, соответствующая ее новому изостатически равновесному положению. По данным, полученным при проведении ГСЗ на территории СССР, процесс перестройки границы Мохоровичича при изменении в регионе тектонической ситуации имеет длительность порядка 20 млн. лет [25].

По данным многочисленных реологических оценок [30], на глубинах более 10 км в континентальной земной коре происходит резкое (на 3–4 порядка) падение вязкости коры. Поэтому при сжатии (горообразовании) и растяжении (рифтообразовании) верхние примерно 10 км континентальной коры ведут себя как хрупкое тело, с образованием сети разрывных нарушений, в то время как ниже образуется клин интенсивного смешивания пород. В результате, как правило, на глубинах более 10 км "широкое смешение и деформации в нижней коре, вероятно, являются общераспространенными", а сама континентальная земная кора представляет собой "беспорядочную смесь компонентов" различного состава и возраста [26, с. 20–21]. Наблюдаемые на шельфе моря Лаптевых поверхности детачмента, а также четко проявленные в сейсмической записи отражающие горизонты отмечены как раз вблизи границы хрупкой верхней и пластичной нижней континентальной земной коры.

Геолого-геофизическое моделирование на основе решения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки занимает особое место в процессе интерпретации геофизических данных, обобщения геолого-геофизической информации, выстраивании тектонических и прогнозных концепций. Подобранная и обсчитанная модель строения земной коры региона не может означать создание новой гипотезы или варианта его геологического развития и формирования. В рамках моделей проверяется правомочность тех или иных уже разработанных предположений и гипотез. Моделирование дает возможность найти на-

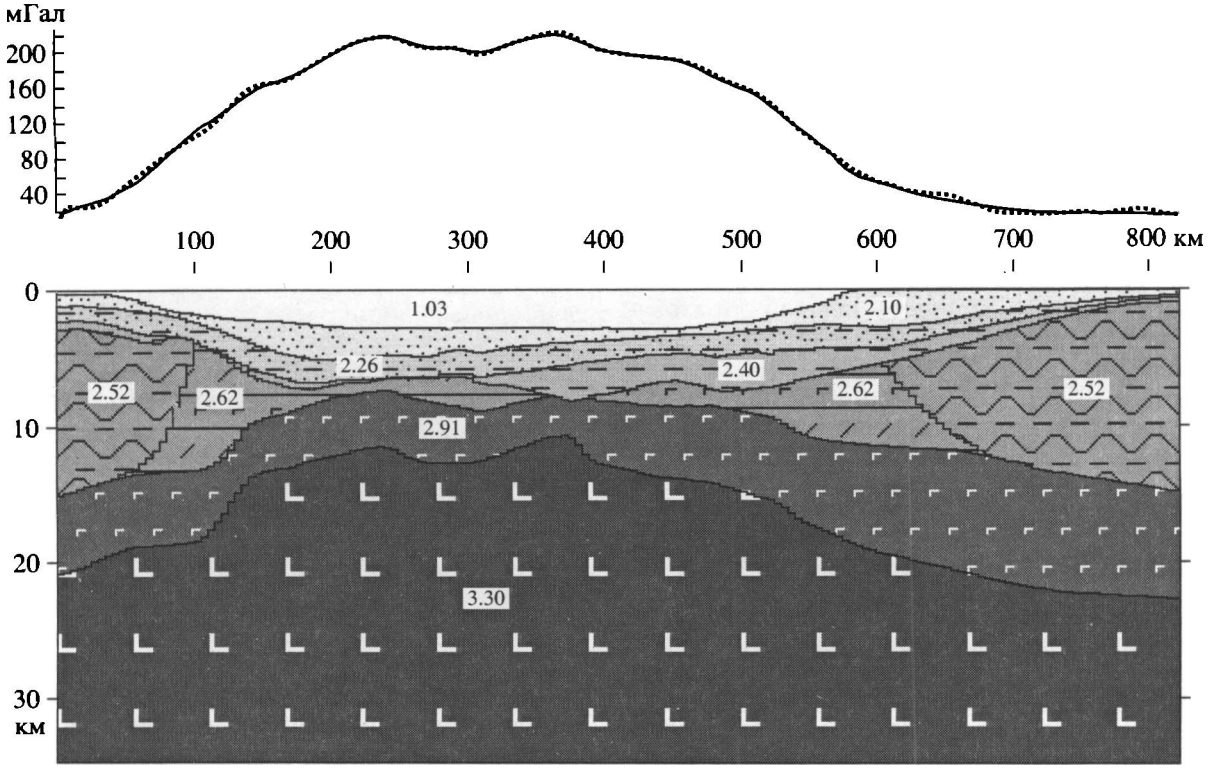

Рис. 7. Разрез через 3-D плотностную модель земной коры по профилю 10
Условные обозначения см. на рис. 5

глядное объяснение геофизическим аномалиям. Модель строится на основе фундаментальных исследований делимости земной коры и верхней мантии и на основе экспериментальных данных и наблюдений на конкретном объекте.

Описываемая ниже трехмерная плотностная модель охватывает площадь 500 × 830 км глубиной до 35 км в центральной и восточной частях моря Лаптевых. Она состоит из десяти прямоугольных призм, шириной 50 км, вытянутых вдоль оси X, к осевой части которых приведена профильная гравиметрическая и сейсмическая информация. Положение этих десяти профилей показано на рис. 1. Работа по подбору модели проводится попеременно для каждого из десяти вдольпрофильных сечений в плоскости XZ (ось X направлена на восток, Y – на север, Z – вниз), а также для горизонтальных сечений в плоскости XY, которые можно рассматривать при любой глубине сечения Z.

При моделировании использованы сейсмогеологические данные о границах и составе толщ, слагающих земную кору региона, петрофизические данные о физических свойствах этих толщ в условиях их естественного залегания, геофизические данные о распределении в пространстве источников аномалий потенциальных полей.

На рис. 5 показано самое южное сечение модели, протягивающееся от западного борта Южно-Лаптевского прогиба на восток в район пролива Санникова вблизи южной оконечности о-вов Анжу. Поверхность Мохоровичича, фрагментарно прослеженная сейсмическими методами, поднимается до 21.5 км в районе Южно-Лаптевского прогиба и опускается до 32 км вблизи южного берега о-ва Котельный. Лежащая выше поверхность базитового слоя также фрагментарно совпадает с детачментом под Южно-Лаптевским прогибом и с поверхностью "высоко отражающей нижней коры" – под толщами, развитыми в зоне перехода к Котельническому массиву. Гранодиоритовая кора массива подразделена на нижний слой (в нем в диапазоне глубин 8–16 км заключены источники магнитных аномалий) и верхний слой, состав которого можно считать в первом приближении аналогичным обнажающемуся в массиве набору пород. К западу и к востоку от Котельнического массива, представленного типичной платформенной континентальной корой, развиты толщи, которые, судя по плотности, больше всего похожи на складчатые терригенные толщи. Венчают разрез три чехольные осадочные толщи, подстилаемые горизонтами LS-1, LS-2 и LS-3.

Наибольшие проблемы возникают с отождествлением толщи акустического фундамента в центральной части моря Лаптевых, залегающей между отражающим горизонтом LS-1 и отражающей границей, интерпретируемой, по сейсмическим данным, как поверхность детачмента или же

как поверхность "высоко отражающих кристаллических образований". По плотности (2.62 г/см^3) ее можно отнести к типичным образованиям гранитно-метаморфического слоя земной коры, редуцированного по мощности до 2–5 км. Под самой глубокой частью впадины эта толща отсутствует и базитовые толщи выходят непосредственно под подошву осадочного чехла. Представляется весьма вероятным, что именно толща, залегающая ниже горизонта LS-1, включает в себя переработанные комплексы палеозойских терригенно-карбонатных и мезозойских терригенных отложений, протягивающиеся от материка к бассейну моря Лаптевых, – породы, попавшие после погружения в зону пластического течения, прорванные магматическими образованиями и частично метаморфизованные, смятые в складки под воздействием тех горизонтальных напряжений, которые привели к образованию листрических сбросов в вышележащих толщах.

Разрез, представленный на рис. 6, проходит в центральной части площади, между Южно-Лаптевским прогибом и континентальным склоном, и протягивается на восток в район, расположенный севернее о-вов Анжу. Главные его отличия от предыдущего разреза состоят в меньшей мощности осадков и в большей мощности промежуточного гранитно-метаморфического слоя (с плотностью 2.62 г/см^3) на западе. В западной части разреза, вблизи пикета 50 км, в районе предполагаемого продолжения Усть-Ленского грабена, увеличение мощности осадков двух верхних толщ компенсируется подъемом поверхности Мохоровичича и поверхности базитового слоя земной коры.

На рис. 7 показан разрез по самому северному из профилей нашей базовой модели, проходящему на протяжении более 300 км через океаническое ложе Евразийского бассейна с глубиной моря около 3 км. Мощность осадочных толщ по разрезу превышает 5 км. Продолжение структуры хребта Гаккеля никак не выражено ни в рельефе дна, ни в рельефе подошвы осадочного чехла, но угадывается по сопряженным максимумам и минимуму аномалий силы тяжести в области наибольших глубин океана, к которой приурочены и

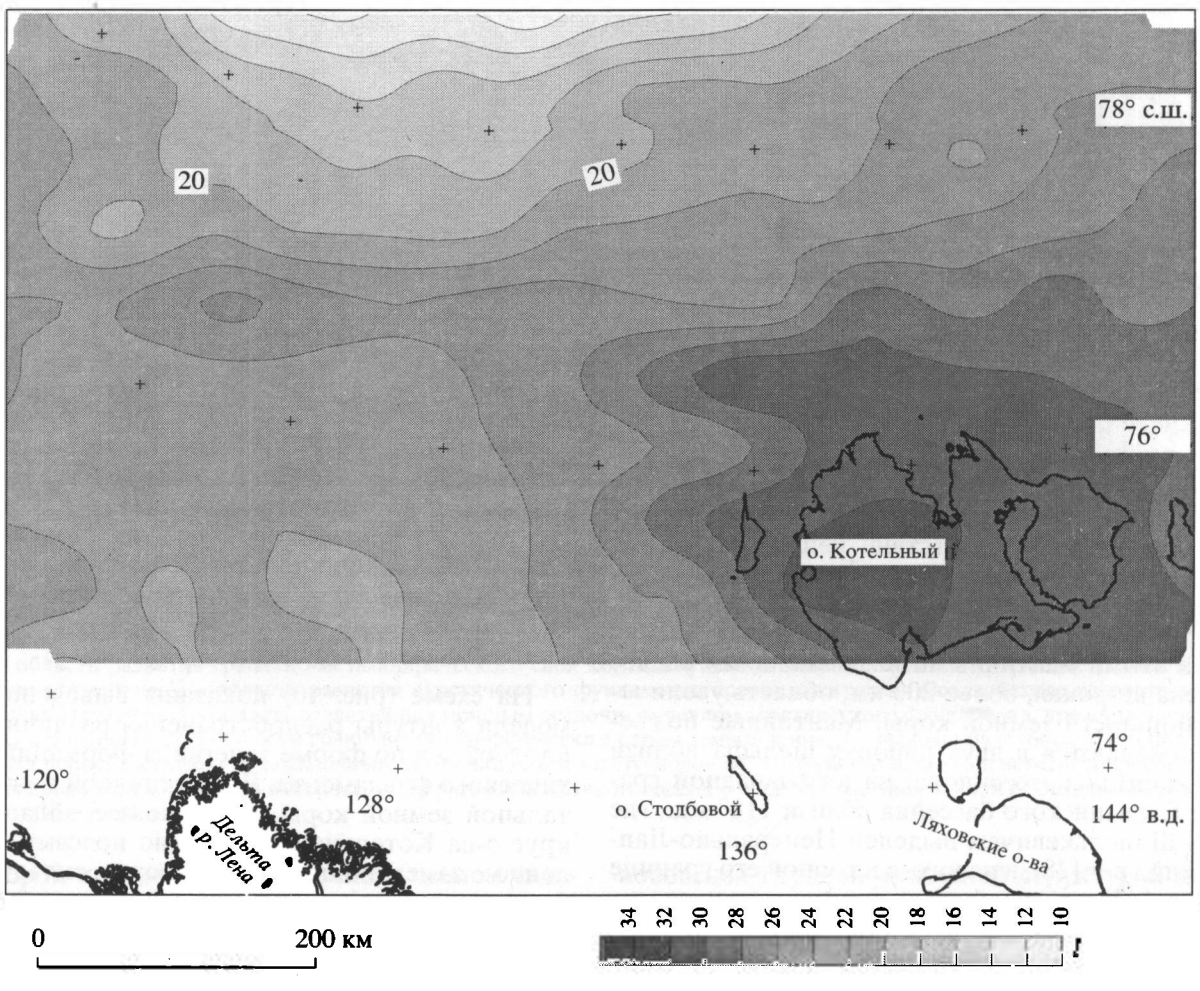

Рис. 8. Глубина поверхности Мохоровичича, по фрагментарным сейсмическим и сейсмологическим данным и по результатам гравитационного моделирования

l – глубина, км

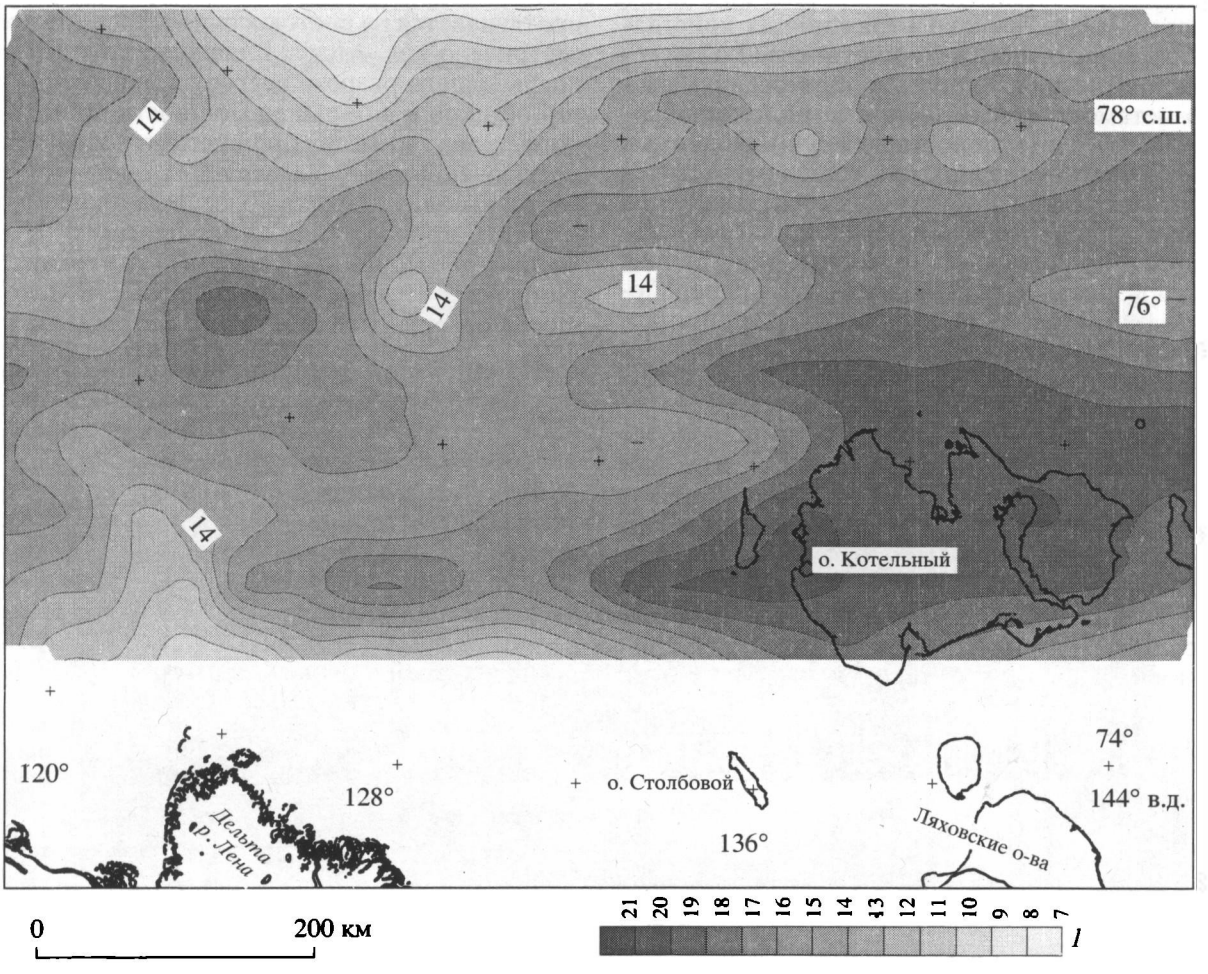

Рис. 9. Глубина внутрикоровой границы "К" – поверхности базитовой нижней коры, по фрагментарным сейсмическим данным и по результатам гравитационного моделирования

1 – глубина, км

локальные подъемы поверхности Мохоровичича и нижнего слоя земной коры.

Карта глубины поверхности Мохоровичича, построенная по результатам моделирования, представлена на рис. 8. Прежде всего обращает на себя внимание отсутствие непосредственной связи между подъемом мантийной границы в океаническом Евразийском бассейне и подъемом, фиксируемым к северу от дельты Лены. Между двумя этими мантийными возвышениями расположена широкая, более 200 км, область увеличения мощности земной коры. Мантийные подъемы отмечаются в двух районах шельфа вблизи континентального склона: на юго-западной границе Евразийского бассейна вблизи 118° в.д., где Ю.В. Шипелькевичем выделен Центрально-Лаптевский трог [28], и на юго-восточной его границе вблизи 142° в.д., в районе выхода к континентальному склону Новосибирского прогиба.

Карта внутрикоровой границы "К", аппроксимирующей поверхность нижнего, базитового, слоя земной коры, представлена на рис. 9. Примечательно, что от района замыкания хребта Гаккеля вблизи континентального склона, в точке с координатами 78° с.ш., 128° в.д., гребневидный подъем границы "К" прослеживается не на юго-юго-восток в направлении мысов Святой Нос или Буорхая, а на юго-юго-запад, затухая в районе Центрально-Лаптевского поднятия. Подъем границы "К" в районе дельты Лены продолжается, затухая, не навстречу глубинным "корням" хребта Гаккеля, а на северо-северо-запад, в район Притаймырского шельфа.

На схеме (рис. 10) показаны выведенные из модели контуры распространения различных по плотности и по форме залегания формаций акустического фундамента. Ядро типичной континентальной земной коры, занимающее область вокруг о-ва Котельный, окружено поясами постепенно замещающего эту кору складчатого фундамента, сложенного, по-видимому, мезозойскими терригенными толщами. Другой подобный же пояс занимает область Притаймырского шельфа. От района севернее дельты Лены к глубоководному Евразийскому бассейну протягивается широкая (не менее 300 км шириной) область,

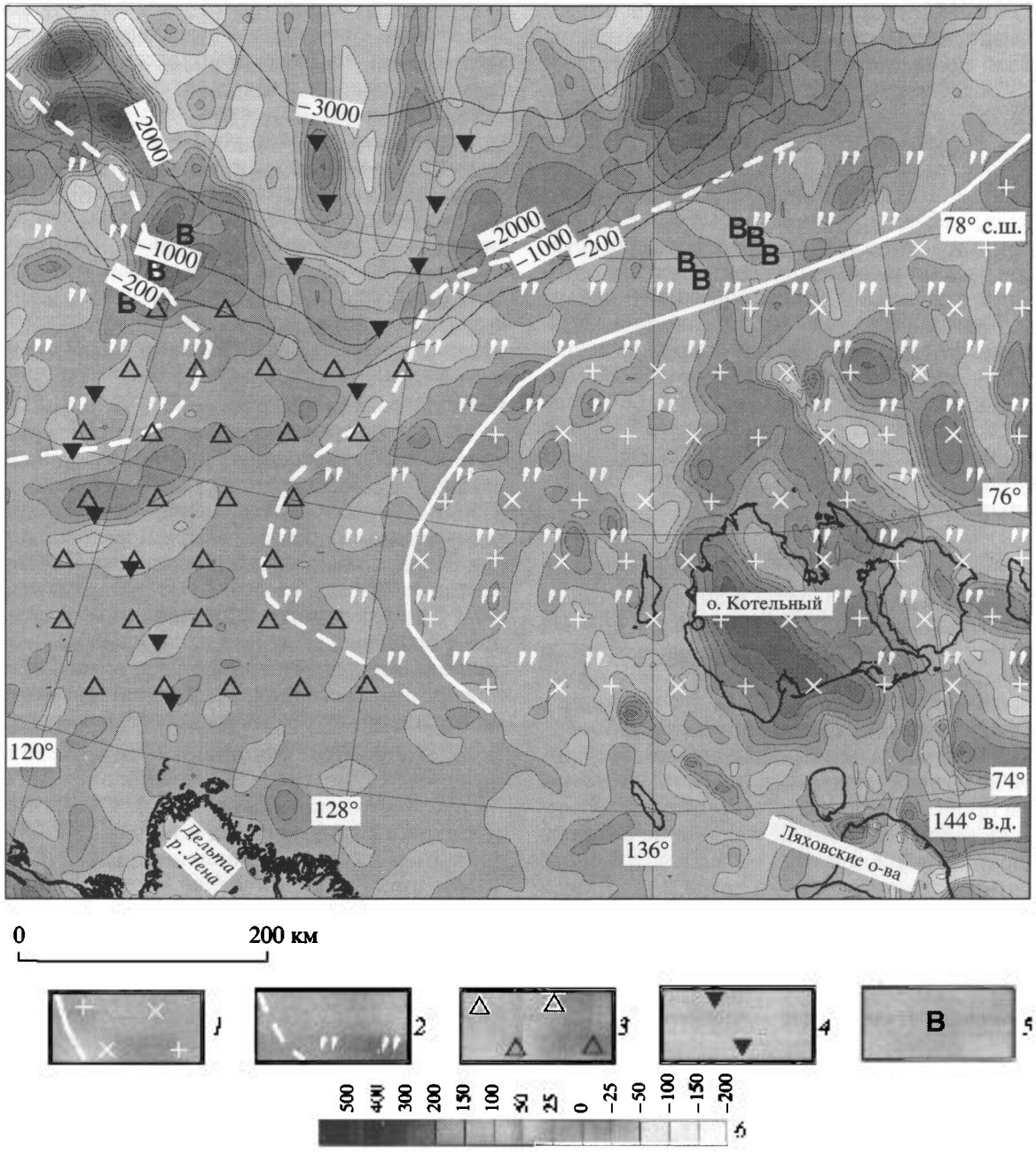

Рис. 10. Границы распространения различных типов акустического фундамента по данным интерпретации геофизических аномалий и 3-D моделирования

1 – область развития гранитно-метаморфического слоя континентальной земной коры платформенного типа и ее внешняя граница; *2* – области развития акустического фундамента предположительно мезозойского возраста и их внешние границы; *3* – область развития под мощным осадочным чехлом акустического фундамента, представленного редуцированным по мощности гранитно-метаморфическим слоем земной коры; *4* – выходы базитовых толщ фундамента непосредственно под осадочный чехол или близко к его подошве; *5* – базальтовые слои, зарегистрированные по данным сейсморазведки в нижней части разреза осадочного чехла; *6* – магнитные аномалии, нТ. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

в которой под мощным осадочным чехлом залегает фундамент, представленный редуцированным по мощности гранитно-метаморфическим слоем, возможно, содержащий переработанные толщи палеозойских и мезозойских образований, развитых в прилегающих районах суши. Примечательно, что, за исключением Хатангско-Ломоносовской глубинной шовной структуры, в этой области практически отсутствуют магнитные аномалии, которые можно было бы связывать с магматическими или метаморфическими породами фундамента. По-видимому, намагниченные метаморфические комплексы пород фундамента в земной коре этой области отсутствуют, а основ-

ные магматические породы, которых не может не быть в составе фундамента при столь высоком положении поверхности базитового слоя, возможно, представлены молодыми долерито-базальтами, содержащими свойственные молодым базальтам титаномагнетиты с низкими точками Кюри и находящимися поэтому в размагниченном состоянии. Базальтовые слои в низах осадочного чехла зафиксированы сейсморазведкой в двух районах изученной площади, в которых установлены описанные выше подъемы границы Мохоровичича, под современным континентальным склоном. Как видно из рис. 10, появление базальтов в разрезе осадочного чехла сопровождается магнитными аномалиями. Западная группа базальтовых выходов протягивается дальше в виде подъема базальтового слоя фундамента к дельте Лены. Однако магнитные аномалии, связанные с базальтами или базитами, находящимися под толщей осадков, не фиксируются.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Приведенные нами расчеты и анализ геофизических материалов позволяют сделать ряд определенных выводов о глубинном строении и истории формирования современной структуры земной коры шельфа моря Лаптевых. В то же время еще больше вопросов по-прежнему остаются дискуссионными и полученные нами данные могут лишь добавить новые аргументы в защиту той или иной гипотезы происхождения описываемых структур.

Прежде всего полученные данные не оставляют сомнений в сложной многоступенчатой истории формирования осадочного чехла моря Лаптевых. Верхняя толща, накопление которой продолжается, по-видимому, до настоящего времени, отлагается преимущественно в субмеридиональной зоне в восточной части моря Лаптевых, западнее о-вов Бельковский и Столбовой, и в глубоководной области, в особенности – в осевой рифтовой зоне хребта Гаккеля (см. рис. 4). Менее отчетливо проявлена субширотная зона, секущая под острым углом континентальный склон и как бы связывающая хребет Гаккеля с Восточно-Лаптевской сейсмоактивной зоной осадконакопления. Следует отметить, по-видимому, и зону северо-западной ориентировки в центральной части моря Лаптевых, включающую выделившийся ранее Усть-Ленский грабен. В этой зоне также расположена группа эпицентров землетрясений.

Есть все основания связывать начало геодинамического цикла, приведшего к формированию верхней осадочной толщи, с развитием хребта Гаккеля, время образования которого определено довольно уверенно привязкой к геомагнитной временной шкале и составляет 10–12 млн. лет [4].

Средняя толща осадочного чехла моря Лаптевых отлагалась преимущественно на дне глубоководных котловин Евразийского бассейна и на континентальном склоне, причем как на юго-западном, так и на юго-восточном бортах бассейна. Некоторая тенденция к увеличению мощности этой толщи по мере приближения к континентальному склону наблюдается на всем шельфе моря Лаптевых. Вероятнее всего предположить кайнозойский возраст этой толщи, синхронный с принимаемым большинством исследователей кайнозойским возрастом фундамента глубоководных котловин Евразийского бассейна. Поскольку детальные исследования магнитометрических, сейсмических данных, так же, как и детальные геологические изыскания [33], приводят к заключению о весьма сложной кайнозойской истории региона, следует, по-видимому, в настоящее время воздержаться от более точной датировки времени отложения этой толщи.

Наконец, формирование нижней осадочной толщи, как это видно из рис. 1 и 2, связано с поступлением осадочного материала из дельты р. Лены. Очевидно, что возраст этой толщи, мощность которой превышает 8 км, мезозойский, так как существование самого бассейна Лены увязывается с Верхоянской горно-складчатой системой. Однако относится ли начало ее формирования к позднему мелу или же к более раннему этапу осадкообразования в окружающих Сибирскую платформу бассейнах, сказать на основании имеющихся данных невозможно.

Что касается районирования акустического фундамента, результаты которого представлены на рис. 10, то выделенные нами области во многом схожи с типами складчатого основания, показанными на карте, составленной Б.И. Кимом [18], на которой Котельнический блок показан как область завершающей байкальской складчатости, окруженная позднекиммерийскими поясами Новосибирской и Верхояно-Колымской складчатых систем, а со стороны Таймыра протянута раннекиммерийская Южно-Таймырская складчатая система. Выделение же рядом исследователей западной и центральный части шельфа моря Лаптевых в качестве области гренвиллской складчатости [19] вызывает решительные возражения. В свете изложенных выше данных нет никаких сомнений, что достигающий 14 км мощности осадочный чехол системы Южно-Лаптевских прогибов не включает палеозойские карбонатные отложения, развитые на Сибирской платформе; точно также нет сомнений, что в основании осадочного чехла Южно-Лаптевских прогибов лежат складчатые толщи, смятые в поясах деформаций, протягивавшихся в мезозое как на северо-запад, так и на северо-восток (см. рис. 10). Возможно, палеозойские и докембрийские образования входят в состав этих толщ, но в глубоко переработанном виде. Точно также нет никаких геофизических данных о сохранении в основании Южно-Лаптевских прогибов фрагментов дна палеозойского океана, не затронутых последующей складчатостью и переработкой. Анализ геофизических ано-

малий и моделирование не дают аргументов в пользу такой гипотезы.

Говоря о дивергентной границе плит, следует отметить, что в двух нижних осадочных толщах нет следов сквозных структур, которые могли бы соединять вновь образующийся океан с зонами растяжения и грабенообразными структурами материка. Единственная структура, которая могла ограниченно скомпенсировать растяжение на начальном этапе образования Евразийского бассейна, это прогиб нижней толщи, протягивающийся от дельты Лены на северо-запад к континентальному склону. Наши данные показывают, что Усть-Ленского рифта в виде широкой зоны растяжения, как это часто трактуется в последнее время [14, 33, 35], соединявшей на протяжении кайнозоя материковые впадины и грабены с Евразийский бассейном, не существует. Узкие грабены, заполненные 5–7 км осадков [32, 34], развиты только на периферии массивов Котельническо-Ляховского и Де-Лонга, и их тектоническую историю еще предстоит раскрыть. Во всяком случае современная сейсмичность развита лишь в грабенах, расположенных в меридиональной зоне западнее 136° в.д.

В заключение кратко сформулируем выводы из выполненной нами работы:

– осадочный чехол моря Лаптевых подразделяется на три толщи, различающиеся местоположением и ориентировкой зон максимального осадконакопления и, следовательно, тектонической обстановкой, сопутствующей времени их образования;

– под покровным осадочным чехлом в центральной части моря Лаптевых находится редуцированный по мощности гранитно-метаморфический слой земной коры, представленный, вероятно, метаморфизованными в мезозойское время комплексами и включающий магматические породы кайнозоя;

– в плиоцен-четвертичное время формируется дивергентная граница плит в меридиональной зоне к западу от о-ва Бельковский, возможно, соединенная с осевой зоной хребта Гаккеля субширотной трансформной зоной. Признаков длительного существования в кайнозое дивергентной границы на шельфе моря Лаптевых нет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисов Г.П.* Некоторые вопросы динамики литосферы моря Лаптевых // Физика Земли. 1993. № 5. С. 28–38.
2. *Аветисов Г.П.* Еще раз о землетрясениях моря Лаптевых // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. Вып. 3. С. 104–114.
3. *Верба В.В., Волк В.Э., Киселев Ю.Г., Краев А.Г.* Глубинное строение Северного Ледовитого океана по геофизическим данным // Структура и история развития Северного Ледовитого океана. Л.: Севморгеология, 1986. С. 54–71.
4. *Верба В.В., Ким Б.И., Волк В.Э.* Строение земной коры Арктического региона по геофизическим данным // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. Вып. 2. С. 29–45.
5. *Верба М.Л.* История спрединга в Северном Ледовитом океане // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. Вып. 2. С. 12–28.
6. *Виноградов В.А., Гапоненко Г.И., Русаков И.М., Шимараев В.Н.* Тектоника Восточно-Арктического шельфа СССР // Тр. НИИГА. Л.: Недра, 1974. 114 с.
7. *Виноградов В.А., Драчев С.С.* К вопросу о тектонической природе фундамента юго-западной части шельфа моря Лаптевых // Докл. РАН. 2000. Т. 372. № 1. С. 72–74.
8. *Генин Б.Л., Липков Л.З., Пискарев А.Л.* О строении фундамента Восточно-Сибирского шельфа на примере архипелага Новосибирских островов // Тектоника Арктики. Складчатый фундамент шельфовых седиментационных бассейнов. Л.: НИИГА, 1977. С. 86–97.
9. Геологическое строение СССР. Т. 9: Моря Советской Арктики. Л.: Недра, 1989. 280 с.
10. *Грамберг И.С., Деменицкая Р.М., Секретов С.Б.* Система рифтогенных грабенов шельфа моря Лаптевых как недостающего звена рифтового пояса хребта Гаккеля – Момского хребта // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311. № 3. С. 689–694.
11. *Грамберг И.С., Косько М.К., Погребицкий Ю.Е.* Тектоническая эволюция арктических шельфов Сибири в рифее – мезозое // Сов. геология. 1986. № 8. С. 60–72.
12. *Грачев А.Ф.* Момский материковый рифт // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: Изд-во НИИГА, 1973. Вып. 8. С. 56–75.
13. *Гусев Б.В.* Структуры разрастания океанической коры в фундаменте Западно-Сибирской плиты // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: Изд-во НИИГА, 1976. Вып. 10. С. 9–13.
14. *Драчев С.С.* Тектоника рифтовой системы дна моря Лаптевых // Геотектоника. 2000. № 6. С. 43–58.
15. *Иванова Н.М., Секретов С.Б., Шкарубо С.И.* Данные о геологическом строении шельфа моря Лаптевых по материалам сейсмических исследований // Океанология. 1989. Т. XXIX. Вып. 5. С. 789–795.
16. *Карасик А.М.* Магнитные аномалии хребта Гаккеля и происхождение Евразийского суббассейна Северного Ледовитого океана // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: Изд-во НИИГА, 1968. Вып. 5. С. 8–19.
17. *Карасик А.М.* Основные особенности истории развития и структуры дна Арктического бассейна по аэромагнитным данным // Морская геология, седиментология, осадочная петрография и геология океана. Л.: Недра, 1980. С. 178–193.
18. *Ким Б.И.* Строение и районирование складчатого основания осадочного чехла шельфа моря Лаптевых // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. Вып. 2. С. 98–107.
19. *Ким Б.И., Яшин Д.С.* Особенности структуры Лаптевского шельфа и южного центроклинального замыкания Евразийского бассейна в связи с оцен-

кой перспектив их нефтегазоносности // Труды 4-ой международной конференции "Освоение шельфа Арктических морей России – РАО-99". СПб., 1999. С. 148–152.
20. *Натапов Л.М.* История аккреционной структуры северо-восточного обрамления Сибирского континента // Геология морей и океанов. Доклады советских геологов на XXVIII сессии Международного геологического конгресса. Л.: Севморгеология, 1988. С. 172–187.
21. *Пискарев А.Л., Аветисов Г.П., Генин Б.Л., Ларин С.М.* Структуры Земли Бунге и зон сочленения ее с островами Котельным и Фаддеевским // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: Изд-во НИИГА, 1975. Вып. 10. С. 35–40.
22. *Пискарев А.Л., Манухова А.В., Чернышев М.Ю.* Геодинамическая система моря Лаптевых по данным анализа гравитационных и магнитных аномалий // Докл. РАН. 1997. Т. 354. № 2. С. 230–233.
23. *Савостин Л.А., Драчев С.С.* Кайнозойское сжатие в районе Новосибирских островов и его связь с раскрытием Евразийского суббассейна // Океанология. 1988. Т. XXVIII. Вып. 5. С. 775–782.
24. *Секретов С.Б.* Тектоника юго-восточного окончания Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана // Докл. РАН. 1999. Т. 367. № 5. С. 660–663.
25. *Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. 186 с.
26. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
27. Тектоническая карта морей Карского и Лаптевых и севера Сибири (масштаб 1 : 2500000) / Отв. ред. Н.А. Богданов, В.Е. Хаин. М.: Изд-во ИЛ РАН, 1998.
28. *Устрицкий В.И.* К истории формирования современной структуры моря Лаптевых // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. Вып. 3. С. 68–81.
29. *Шипелькевич Ю.В.* О принципиальных подходах к интерпретации региональных сейсмических данных в слабоизученных районах арктического шельфа // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. Вып. 3. С. 161–168.
30. *Bills B.G., Currey D.R., Marschall G.A.* Viscosity estimates for the crust and upper mantle from patterns of lacustrine shoreline deformation in the Eastern Great Basin // Journal of Geophysical Research. 1994. Vol. 99. № B11. P. 22059–22086.
31. *Franke D., Hinz K., Block M. et al.* Tectonics of the Laptev Sea region in North-Eastern Siberia // Polarforschung. 2000. 68. P. 51–58.
32. *Fujita K., Cambary F.W., Velbel M.A.* Tectonics of the Laptev Sea and Moma rift system, northeastern USSR // Marine Geology. 1990. Vol. 93. № 1/4. P. 96–118.
33. *Hinz K., Block M., Delisle G. et al.* Deformation of continental lithosphere on the Laptev Sea shelf, Russian Arctic // Abstracts. III International conference on Arctic margins (ICAM III). Celle (Germany), 1998. P. 85.
34. *Paech H.-J., Prokopiev A.V., Gosen W.V. et al.* New results of the Moma Rift System and coeval structures in Yakutia, Russian Federation // Polarforschung. 2000. 68. P. 59–64.
35. *Roeser H.A., Block M.* Seegeophysikalische Untersuchungen der BGR in der russischen Arktis. Nachrichten Dt. // Geolog. Ges. 1994. 51. S. 103–107.
36. *Roeser H.A., Hinz K., Piskarev A.L., Neben S.* Seafloor spreading at the transition from the Eurasia basin to the Laptev shelf // Abstracts. ICAM III. Celle (Germany), 1998. P. 155.
37. *Sekretov S.B.* Eurasian basin – Laptev Sea geodynamic system: tectonic and structural evolution // Abstracts. ICAM III. Celle (Germany), 1998. P. 166–167.
38. *Taylor P.T., Kovacs L.C., Vogt P.R., Johnson G.L.* Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic Basin. 2 // Journal of Geoph. Res. 1981. Vol. 86. № B7. P. 6323–6333.
39. *Vogt P.R., Taylor P.T., Kovacs L.C., Johnson G.L.* The Canada Basin: aeromagnetic constraints on structure and evolution // Tectonophysics. 1982. Vol. 89. P. 295–336.

Рецензент: Н.А. Богданов

Crustal Structure and Tectogenesis of the Laptev Sea

A. L. Piskarev, I. V. Soroka, and M. Yu. Chernyshev

All-Russia Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean (VNIIOkeanologiya), Angliiskii pr. 1, St. Petersburg, 190121 Russia

Abstract—Interpretation of seismic data acquired by Russian and joint German–Russian expeditions in 1985–1997 along more than 30 lines in the central and eastern Laptev Sea is presented. A digital seismic model of the study area was created and maps on three seismic horizons were compiled by coordinating and digitizing all initial data. The second stage of data interpretation resulted in constructing a crustal density model of the region using original GRAV-3D software based on a grid approximation system proposed the authors for solving the inverse problems of gravity surveys. There are fundamental differences in structural styles between the three sequences separated by key reflectors. The structure of the upper sequence is related to the currently ongoing rifting in the Laptev Sea and to seafloor spreading in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean, which gave rise to the the Gakkel Ridge during the last 10–12 Ma. The structural style of the middle sequence suggests that it accumulated simultaneously with the opening of the Eurasian Basin during the latest Cretaceous to Paleogene. The lower sequence, restricted largely to the surroundings of the Lena River delta and a series of NW- and NE-trending troughs, was obviously deposited during the period of extension and rifting that preceded the inception of the Eurasian Basin. A map of the acoustic basement was compiled on the basis of modeling data. The following regions were recognized: (a) Region underlain by the granite-metamorphic layer of cratonic continental crust, (b) region underlain by acoustic basement folded during the Mesozoic, and (c) region underlain by acoustic basement that consists of a thinned granite-metamorphic crustal layer overlain by a thick sedimentary cover. A divergent plate boundary was formed west of Bel'kovsky Island during the Pliocene–Quaternary. No signatures of a long-lived divergent boundary in the crust under the Laptev Sea shelf have been detected.