

Л. А. ДАРАГАН-СУЦОВА, Н. Н. СОБОЛЕВ, Е. О. ПЕТРОВ, Л. Р. ГРИНЬКО (ВСЕГЕИ),
Н. А. ПЕТРОВСКАЯ (ОАО «ДМНГ»), Ю. И. ДАРАГАН-СУЦОВ (ВНИИОкеангеология)

К ОБОСНОВАНИЮ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ОПОРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ НА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ И В ОБЛАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-АРКТИЧЕСКИХ ПОДНЯТИЙ

Прогресс в геолого-геофизической изученности области центрально-арктических поднятий и Восточно-Арктического шельфа выявил основные проблемы в стратификации осадочного чехла. Стратиграфическая привязка основных отражающих горизонтов в пределах глубоководной части СЛО остается достаточно неопределенной ввиду отсутствия геологических реперов. Основной подход к стратификации осадочного чехла Северного Ледовитого океана основан на характеристике волновых полей и прослеживании региональных сейсмических горизонтов. Их стратиграфическая индексация до сих пор во многом зависит от общих соображений. Для различных регионов Арктики даны существующие варианты корреляции сеймостратиграфических подразделений и их возрастная привязка. Для примеров выбраны приполюсная часть хр. Ломоносова и зоны его сочленения с котловинами Амундсена и Макарова, профиль МОВ ОГТ А7, расположенный в зоне сочленения хр. Ломоносова с российским шельфом, Северо-Чукотский прогиб. Авторы дают свой вариант корреляции сейсмических горизонтов и их возрастной привязки для Северо-Чукотского прогиба, где в нижней части разреза осадочного чехла определен элсмирский комплекс. Сделан вывод, что региональные исследования закрытых и труднодоступных территорий должны опираться на кропотливую процедуру непрерывного прослеживания отражающих горизонтов, сеймостратиграфических подразделений и их динамических и кинематических характеристик по латерали и разрезу. Геологические соображения должны лишь ограничивать геофизические модели.

Ключевые слова: *Северный Ледовитый океан, метод отраженных волн (МОВ ОГТ), возраст сеймостратиграфических подразделений.*

The progress in geological and geophysical knowledge of Central Arctic uplifts area and East-Arctic Shelf has detected the basic problems in stratification of sedimentary cover. The stratigraphic binding of key seismic horizons within the deep-water part of the Arctic Ocean is still quite unclear due to the absence of geological bench marks. Basic approach for stratification of Arctic Ocean sedimentary cover is based on the wave field's characteristics and tracing of regional seismic horizons. Their age identification still depends on general geological ideas. Different correlative models of seismic-stratigraphic units and their timing are given in this article for various Arctic regions. For examples are selected: near pole part of Lomonosov Ridge and zone of its connection with Amundsen and Makarov basins, profile CDP A7, located in the connection zone of Lomonosov Ridge and Russian Shelf, North-Chukchi trough. Authors give a variant of correlation and age binding of reflecting horizons on the North-Chukchi trough, where in the lower part of section identified an Ellesmerian complex. The conclusion, that specific regional study in closed and hardly-reached Arctic regions shall be based on accurate continuous tracing of reflecting horizons and seismic-stratigraphic units and its dynamical and kinematic characteristics over the lateral and section is made. Geological point of view must only limit the geophysical models.

Keywords: *Arctic Ocean, seismic reflection method common midpoint (CDP), age of seismic-stratigraphic units.*

В последние годы на Восточно-Арктическом шельфе, включая шельф моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, был выполнен большой объем современных сейсмических исследований (рис. 1). На некоторых участках подводных поднятий произведено драгирование каменного материала, что дало мощный толчок для осмысления геологической истории Центрально-Арктической области и в целом проблемы происхождения Северного Ледовитого океана (СЛО). Определяющую роль в стратификации кайнозойских отложений

океана и шельфа сыграло глубоководное бурение в приполюсной части хр. Ломоносова (скважины АСЕХ-302). Были впервые получены не только характеристики вещественного состава послонного разреза скважин, но и палеонтологическое описание фауны и флоры. Новые данные позволили датировать события и увязать их с региональными отражающими горизонтами (ОГ), выделяемыми сейсмическими методами еще с первых наледных работ в регионе. Дополнительную информацию дали глубокие скважины, пробуренные в амери-

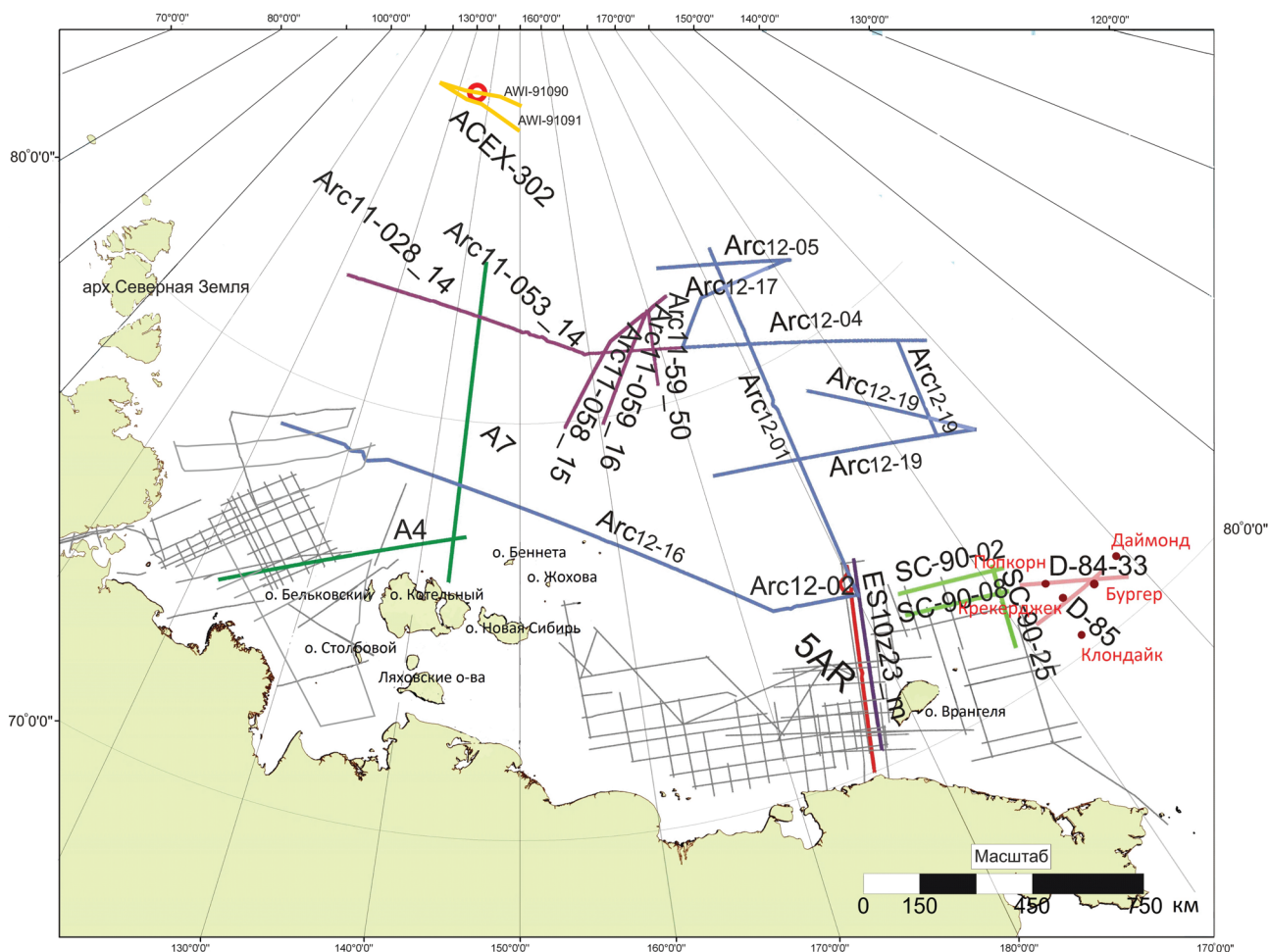


Рис. 1. База используемых сейсмических профилей на Восточно-Арктическом шельфе и центрально-арктических поднятиях

канской части Чукотского моря. Сводный разрез скважин ACEX-302 для хр. Ломоносова и на шельфе Чукотского моря является опорным для стратиграфической привязки ОГ.

Прогресс в геолого-геофизической изученности области центрально-арктических поднятий отчетливо выявил основные проблемы в стратификации квазисинхронных сейсмостратиграфических комплексов (КССК), корреляции ОГ и их возрастной идентификации. Несмотря на относительно неплохую сейсмическую изученность профилей МОВ ОГТ с большими базами, наблюдений в глубоководной части СЛО практически нет. Исключение составляют профили А7 по южной части хр. Ломоносова, Arc12-03, Arc12-19 в глубоководной части области центрально-арктических поднятий и часть пр. Arc12-16 на юго-восточной части Евразийского бассейна и юге хр. Ломоносова. В последние годы хорошие современные региональные профили МОВ ОГТ отработаны на шельфе Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых. Остальные профили по программам Трансарктика и экспедициям «Арктика-2005», «Арктика-2007» и «Арктика-2011» – это геотраверсы с точечным или профильным наблюдением МОВ ОГТ с относительно короткой расстановкой сейсмоприемников. Параметрические скважины в океане и вовсе отсутствуют. Стратиграфическая привязка ОГ в пределах глубоководной части СЛО остается достаточно неопределенной ввиду отсут-

ствия геологических реперов. Основной подход к стратификации осадочного чехла СЛО основан на характеристике волновых полей и прослеживании ОГ. Их стратиграфическая индексация до сих пор во многом зависит от общих соображений. Тем более что непосредственное прослеживание региональных ОГ из котловин на поднятия и хребты часто невозможно из-за различного гипсометрического положения морфоструктур (перепад глубин дна может достигать 1,5 км и более) и наличия обширных зон потери корреляции на крутых склонах поднятий. Дополнительной характеристикой, учитываемой при корреляции квазисинхронных сейсмических комплексов (КССК), является распределение пластовых скоростей по сейсмическому разрезу, которые не могут быть атрибутами собственно стратиграфии, хотя несут важную информацию о физических свойствах исследуемой среды.

Для приполюсной части хр. Ломоносова и зоны его сочленения с котловинами Амундсена и Макарова существует несколько моделей геологического строения, различающихся количеством выделяемых сейсмостратиграфических подразделений и их стратиграфической привязкой к скв. ACEX-302 (рис. 2). Согласно модели В. В. Буценко [1, 2], основным региональным маркером в сейсмическом разрезе котловин Макарова, Амундсена и хр. Ломоносова является ОГ РН (или LS₂), соответствующий олигоценовому перерыву. Этот рубеж, судя по керну скв. ACEX-302, приурочен к смене мелководных

условий седиментации глубоководными, которая произошла, по биостратиграфическим данным, за 20–26 млн лет в интервале средний эоцен – ранний миоцен [10] или, по оценкам других исследователей, за 12,4 млн лет в промежутке между концом олигоцена и серединой миоцена [7]. Авторы этой модели считают, что сейсмический образ такого глобального события, как смена обстановок осадконакопления, должен быть проявлен на большей части провинции центрально-арктических поднятий (включая котловину Макарова), а на хр. Ломоносова этот ОГ имеет эрозионную природу. В пользу такой трактовки природы ОГ РН приводятся данные Б. И. Кима о региональном формировании кор химического выветривания в интервале между поздним олигоценом и ранним миоценом на континентальном и островном обрамлении Американо-Азиатского суббассейна.

Следует подчеркнуть, что ни сам горизонт РН, ни подстилающие его отложения не несут на себе характерных следов размыва. Вся Кз часть разреза в этой части хр. Ломоносова представлена исключительно глинами и алевритистыми илами, отличается тонкой горизонтальной слоистостью и формировалась в условиях стабильного тектонического режима погружения. Нет никаких признаков перерыва в осадочном разрезе, а горизонт «зебра», соответствующий ОГ РН, делит пройденную скважинной частью разреза на две одинаковые по строению части, различающиеся только по количественному соотношению диатомей. Пластовые скорости по всему разрезу плавно увеличиваются от 1,6–1,8 до 2,0–2,2 км/с. На рубеже ОГ РН, где предполагается размыв олигоцен-раннемиоценовых осадков, резкого изменения пластовых скоростей нет.

По другой модели [8], самым ярким сейсмическим маркером в разрезе сводовой части хр. Ломоносова является региональное эрозионное и угловое несогласие LU (или LS_1), приуроченное к нижней части разреза скважины и индексированное, по микропалеонтологическим данным, поздним палеоценом. Угловое несогласие LU [13] сопоставляется с этапом формирования блоково-глыбовой структуры хребта, который сопровождался значительным перерывом в осадконакоплении, размывом осадков в гребневой зоне и активными тектоническими движениями. Несмотря на то что соответствующий интервал разреза не охарактеризован керном, предполагается, что этот горизонт состоял из слабосцементированных песков, вымытых в процессе проходки скважины. Отражающий горизонт LU прослежен и на значительной площади Американо-Азиатского суббассейна. Он сопоставляется авторами модели с ОГ РН смежных котловин Подводников и Амундсена. Примечательно, что, по данным Б. И. Кима, в верхнем мелу и палеоцене континентальной окраины Американо-Азиатского суббассейна тоже широко развиты мощные коры химического выветривания.

Авторы совершенно справедливо убеждены, что региональные тектонические события, проявленные на всей области центрально-арктических поднятий, должны иметь принципиально различные отражения на поднятиях и в глубоководных котловинах. Первые активно размывались и служили областями сноса, тогда как глубоководные котловины выступали в роли депоцентров осадконакопления, где аккумулировались значительные объемы эродированных отложений. Соответствен-

но с эрозионным контактом на хребте должен коррелироваться комплекс заполнения сопряженных впадин с наиболее полным разрезом. На хребтах стратиграфический разрез сокращен и, естественно, если его рассматривать в качестве опорного, значит, умножать проблемы неполноты геологической летописи. В доказательство валидности предлагаемой корреляции ОГ LU на хр. Ломоносова с ОГ РН в смежных котловинах подчеркивается, что на рубеже ОГ LU происходит резкий скачок пластовых скоростей, низкоскоростные нелитифицированные Кз осадки залегают непосредственно на эродированной кровле высокоскоростных отложений. В северной и западной частях хребта между низкоскоростными и высокоскоростными сейсмокомплексами прослежена сложнопостроенная клиноформная сейсмолитическая толща заполнения. Она подтверждает снос эродированных осадков с гребневой части хребта и аккумуляцию их в локальных седиментационных ловушках, а также прилегающих глубоководных котловинах. Ранее сходная толща заполнения описана Б. И. Кимом [7] в грабене восточного склона хр. Ломоносова.

Есть и другие варианты корреляции ОГ, основанные на сходстве волновой картины сейсмокомплексов на поднятиях и прилегающих котловинах, а также на магнитостратиграфической датировке [9, 14]. Различные подходы к корреляции ОГ в смежных морфоструктурах на относительно небольшой площади показывают явную недостаточность в Арктике глубоких скважин, и прежде всего в котловинах, где наблюдается наиболее полный разрез осадочного чехла и, значит, захоронена наиболее полная летопись истории развития региона.

Убедительной иллюстрацией корреляционных возможностей сейсмостратиграфии является профиль МОВ ОГТ А7 в зоне сочленения хр. Ломоносова с российским шельфом. Начинаясь практически от о. Котельный Новосибирской системы грабенов и горстов, КССК и ОГ осадочного чехла прослежены непрерывно почти на 800 км по всему шельфу и далее на север через континентальный склон вдоль гребневой и частично склоновой частей хр. Ломоносова (рис. 3). В осадочном чехле профиля выделен ряд сейсмокомплексов и ОГ (табл. 1), из которых наиболее яркими являются два сейсмических горизонта: акустический фундамент и региональное несогласие LS_2 [12], по схеме индексации горизонтов Мурманской арктической геофизической экспедиции (МАГЭ). Мощность осадков выше несогласия плавно нарастает от шельфа к континентальному склону, образуя проградационную призму, и далее к северу вновь уменьшается до 0,5–1,0 км на гребне хребта. Мощность осадочного слоя между акустическим фундаментом и региональным несогласием меняется более значительно, резко возрастая до 8–10 км в локальных впадинах шельфа и уменьшаясь до 0,5–2,0 км на шельфовых поднятиях и под хр. Ломоносова.

Возрастная привязка выделенных сейсмических горизонтов на настоящем этапе исследований может осуществляться лишь по косвенным данным, поскольку ни одной скважины в зоне сочленения хр. Ломоносова с шельфом нет. Невозможно привязать КССК шельфа и к определенным толщам чехла Новосибирских островов – здесь не было смены мелководных осадков глубоководными, и толщи кайнозойского чехла островов, как правило, имеют мощность ниже разрешающей возможности

Сопоставление стратиграфических привязок опорных горизонтов (ОГ)

ВСЕГЕИ Дараган-Суцова Л.А., 2013	ВСЕГЕИ Дараган-Суцова Л.А., 2008	МАГЭ Иванова Н.М. и др., 1989 Секретов С.Б., 1993, 1998	ЛАРГЕ Драчев С.С., Савостин Л.А., 1994	BGR K. Hinz et al., 1997	Горячев Ю.В., Савостин Л.А., 1999-2001	Гос. геол. карта РФ, лист S-1,2 м-б 1:1 000 000 2005	ОАО «Дальморнефтегеофизика» Новосибирский бассейн	Лонгско- Чукотский бассейн	Северо- Чукотский бассейн	Американская геологическая служба Sherwood et al., 1998, 2002
ДНО LS4 LS3 LS2 LS1 LS1_1 LS1_2 A (K _{1g-br}) Акустический фундамент	ДНО L VII L VI L V L IV L (F) A	ДНО I ⁺ N-Q Л I II III IV V VI	ДНО N ₂ -Q N ₁ ²³ B N ₁ ¹ -N ₂ ¹ 4 3 2 1 A	ДНО N ₂ -Q N ₁ ²³ N ₁ ³ -Q LS ₃ LS ₂ LS ₁	ДНО I ⁺ B-VI B-V B-IV B-III K ₂ B-II B-I A B	ДНО N ₂ -Q N ₁ ²³ P ₃ ² -N ₁ ² P ₁₂ K ₂ K ₁ -al J-K ₁ PZ ₃ -K ₁ PZ ₂ Акустический фундамент	ДНО P ₃ -Q ДМНГ-6(UB) P ₁₂ ДМНГ-9(мВU) K ₂ ДМНГ-10 K ₁ -al ДМНГ-11 K ₁ a	ДНО P ₃ -Q ДМНГ-6(UB) P ₁₂ ДМНГ-9(мВU) K ₂ ДМНГ-10 K ₁ -al ДМНГ-11 K ₁ a	ДНО P ₃ -Q ДМНГ-6(UB) P ₁₂ ДМНГ-9(мВU) K ₂ ДМНГ-10 K ₁ -al ДМНГ-11 K ₁ a	ДНО P ₃ (?) - Q UB P ₁₂ (?) mBU K _{1a} -K ₂ BU J ₃ -K ₁ br JU P ₃ -J ₂ PU C ₁ -P ₂ MU D ₃ -C ₁ TAB
ДНО LS4 LS3 LS2 LS1 LS1_1 LS1_2 A (K _{1g-br}) Акустический фундамент	ДНО L VII L VI L V L IV L (F) A	ДНО I ⁺ N-Q Л I II III IV V VI	ДНО N ₂ -Q N ₁ ²³ B N ₁ ¹ -N ₂ ¹ 4 3 2 1 A	ДНО N ₂ -Q N ₁ ²³ N ₁ ³ -Q LS ₃ LS ₂ LS ₁	ДНО I ⁺ B-VI B-V B-IV B-III K ₂ B-II B-I A B	ДНО N ₂ -Q N ₁ ²³ P ₃ ² -N ₁ ² P ₁₂ K ₂ K ₁ -al J-K ₁ PZ ₃ -K ₁ PZ ₂ Акустический фундамент	ДНО P ₃ -Q ДМНГ-6(UB) P ₁₂ ДМНГ-9(мВU) K ₂ ДМНГ-10 K ₁ -al ДМНГ-11 K ₁ a	ДНО P ₃ -Q ДМНГ-6(UB) P ₁₂ ДМНГ-9(мВU) K ₂ ДМНГ-10 K ₁ -al ДМНГ-11 K ₁ a	ДНО P ₃ -Q ДМНГ-6(UB) P ₁₂ ДМНГ-9(мВU) K ₂ ДМНГ-10 K ₁ -al ДМНГ-11 K ₁ a	ДНО P ₃ (?) - Q UB P ₁₂ (?) mBU K _{1a} -K ₂ BU J ₃ -K ₁ br JU P ₃ -J ₂ PU C ₁ -P ₂ MU D ₃ -C ₁ TAB

— опорные сейсмогоризонты — промежуточные сейсмогоризонты

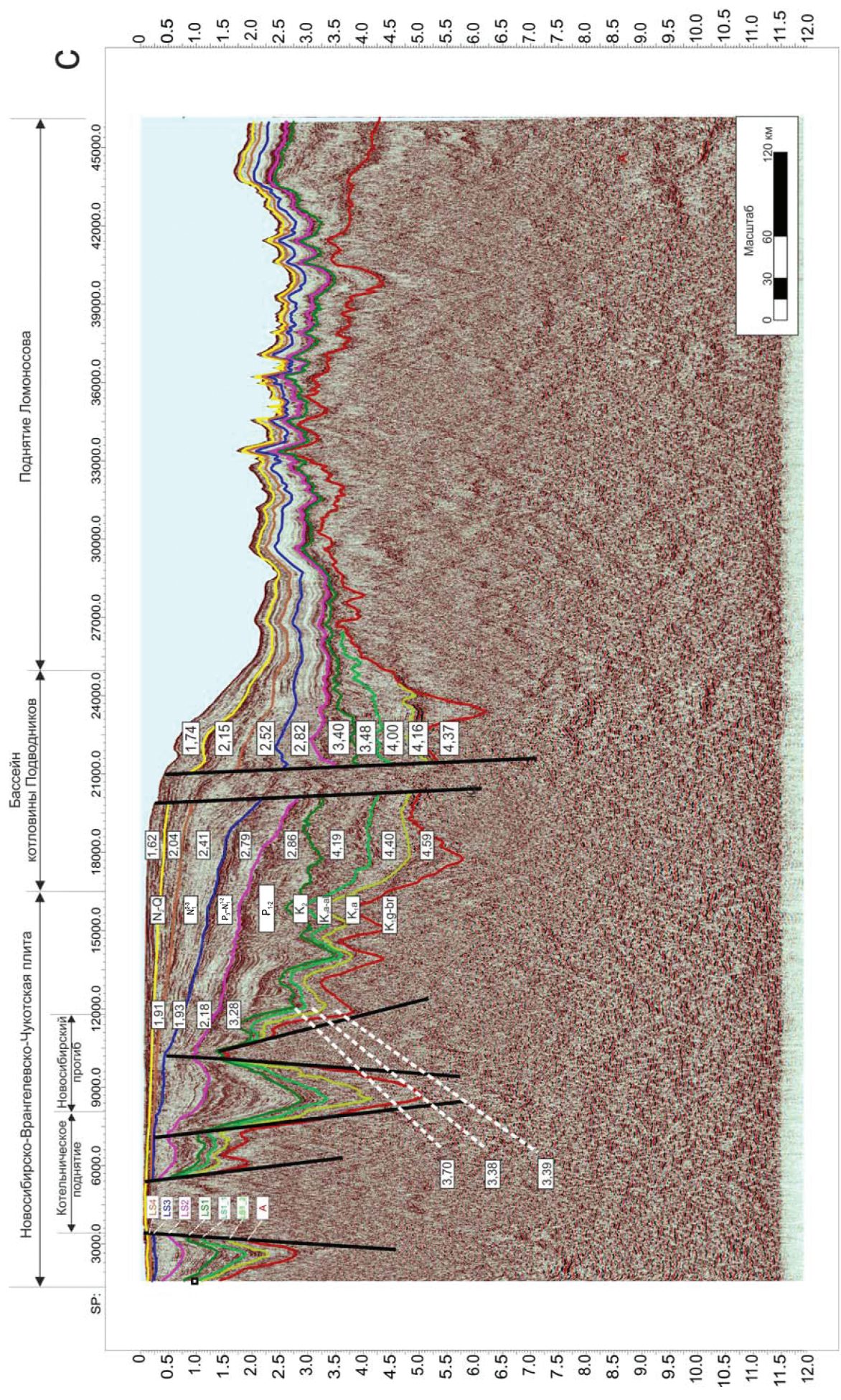


Рис. 3. Временной разрез по пр. А7 (материалы МАГЭ, интерпретация авторов). Расположение профиля см. на рис. 1

сейсморазведки. Можно предположить, что возраст регионального несогласия LS₂ – поздний эоцен – ранний миоцен. Именно в это время, т. е. по крайней мере в течение всего олигоцена, на хр. Ломоносова осадки не накапливались. Региональный перерыв в осадконакоплении в море Бофорта происходил в среднем миоцене (5–6-я аномалии Ламонтской шкалы). Здесь в скважинах фиксируется не только разрыв, но и угловое несогласие [11]. В пользу миоценового возраста несогласия также свидетельствует соответствие палеоструктурного плана миоценовых и плиоцен-четвертичных толщ Лаптевоморской континентальной окраины ее современному структурному плану [4]. Реконструкция истории формирования осадочного чехла моря Лаптевых показала, что система Новосибирских грабен и горстов в современном представлении возникла не раньше середины миоцена. Уже к кон-

цу миоцена активизация движений закончилась. Лаптевоморский бассейн испытал поднятие и размыв, сменившиеся к началу плиоцена опусканием. Вышележащий плиоцен-четвертичный бассейновый комплекс трансгрессивно с региональным несогласием перекрывает все море Лаптевых, залегая практически горизонтально на разновозрастных осадочных толщах [5]. Таким образом, лишь в миоцене (особенно с плиоцена) появляются явный шельф, континентальный склон и собственно глубоководная впадина Евразийского бассейна СЛО. Это определено следует из рисунка волнового поля и соотношения мощностей верхнего сейсмокомплекса на пр. А7.

Более точно определен возраст акустического фундамента на южном конце профиля. На Новосибирских островах, по уточнённым данным экспедиций 2011–2012 гг. ВСЕГЕИ, плитный комплекс

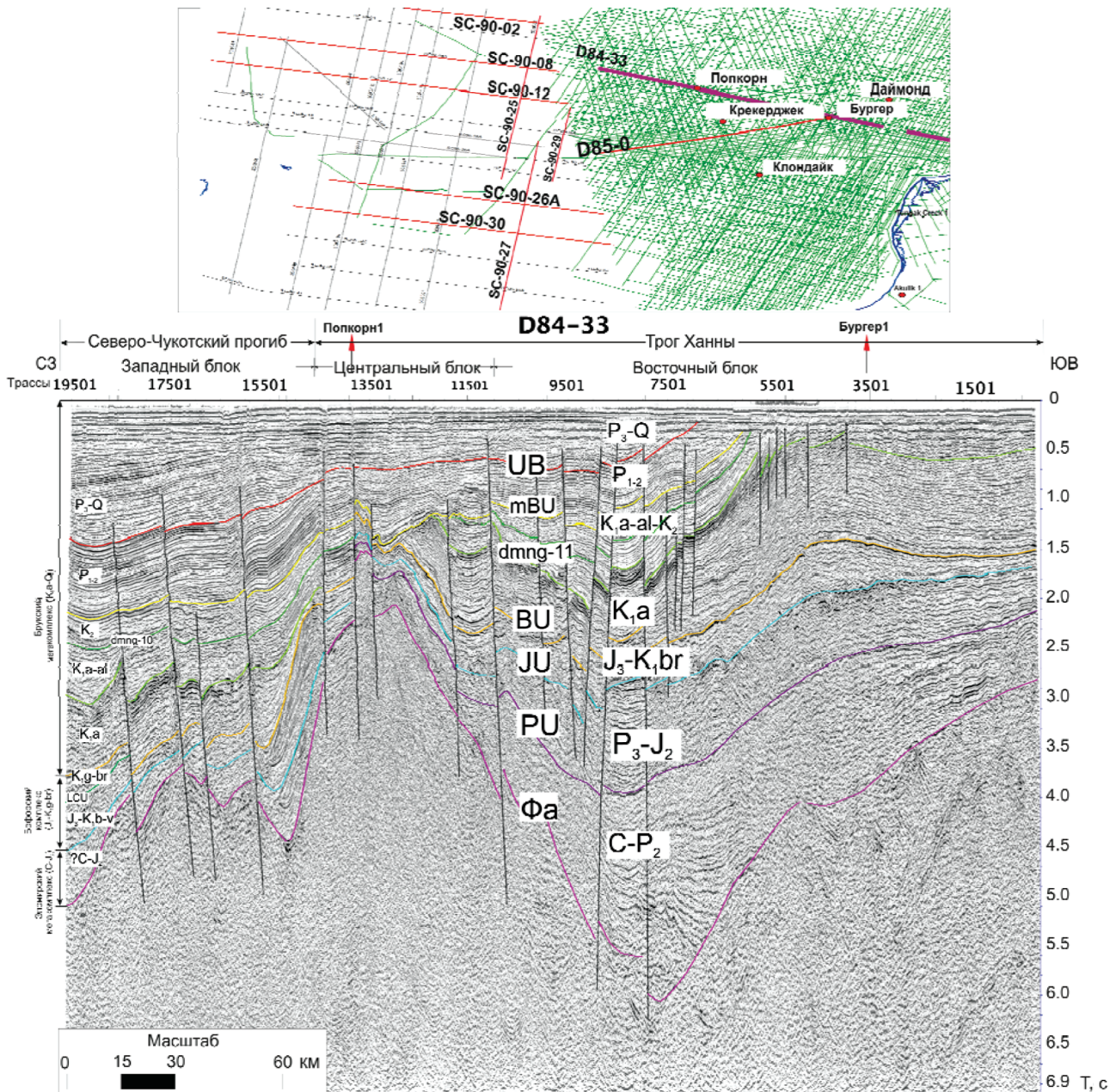


Рис. 5. Корреляция опорных горизонтов по американскому профилю через скважины Бургер 1 и Попкорн 1 (материалы «Total» S.A.)

осадочного чехла, который прослежен сейсмическими методами на шельфе, начинается с раннего мела (апт–альб). На шельфе моря Лаптевых, во всяком случае в его восточной части, граничащей с хр. Ломоносова, можно уточнить стратиграфическую привязку фундамента и предположить, что чехол начинается с отложений апта–альба нижнего мела. Тогда возраст нижнего комплекса между региональным несогласием LS_1 и акустическим фундаментом ранний мел (апт) – поздний мел, а возраст перекрывающего его комплекса, находящегося между ОГ LS_1 и LS_2 , предположительно нижний, средний палеоген. Тогда возрастная привязка комплекса между ОГ LS_2 и LS_3 , предположительно олигоцен, возможно ранний, и часть среднего миоцена. Во впадинах шельфа и склона в волновом поле нижнего комплекса можно выделить по крайней мере два подкомплекса, разделённых несогласиями ОГ LS_{1-1} и LS_{1-2} . Два нижних представлены ответвленными, слоистым волновым полем с линзовидными телами повышенной интенсивности, характерным при внедрении магматических тел в терригенные осадки. Общая мощность подкомплексов 500–1600 м. Подобные характеристики хорошо коррелируются с терригенно-вулканогенными аптскими нижнемеловыми осадками, наблюдаемыми на о. Котельный. Выше лежащий подкомплекс имеет интенсивно слоистое волновое поле, характерное для угленосных терригенных осадков, сформированных в условиях мелководного моря при паралическом режиме. Общая мощность его во впадинах до 1000 м. У подножия современного континентального склона SP 18 000–24 000 мощность подкомплекса увеличивается в 1,5–2 раза, достигая 1,5–2,0 км (рис. 3).

По результатам драгирования, на хр. Ломоносова фундамент представлен преимущественно терригенными и карбонатными породами палеозоя. На шельфе и Новосибирских островах акустический фундамент донимеловой (до K_1a -al). По всей вероятности, он сложен стратифицированными платформенными терригенными и карбонатными палеозойско-раннемезозойскими формациями, дислоцированными в доапт-альбское время. Ниже ОГ А наблюдается остаточная слоистость, что подтверждает этот факт. Судя по волновым полям пр. А7, верхоянские дислокации в океан продолжают. Палеозойские и раннемезозойские стратифицированные осадочные толщи на пр. А7 являются акустическим фундаментом и не распознаются сейсмическими методами. И значит, верхоянские мезозойды слагают акустический фундамент хр. Ломоносова и зоны его сочленения с шельфом. Отсюда и сходство геометрии системы Новосибирских островов и хр. Ломоносова – западный склон обеих структур почти в два раза уже восточного, имеет более контрастный и раздробленный рельеф. Данные скорее указывают на то, что хр. Ломоносова – это продолжение верхоянских мезозойд в океане.

По-разному определяется стратиграфическая полнота разреза на шельфе. Примером является сопоставление сейсмических разрезов Северо-Чукотского прогиба. Здесь на двух сближенных профилях 5-AP и ES10z23_m с прекрасно стратифицированным разрезом разными исследователями даются различная корреляция ОГ и возрастная привязка КССК несмотря на относительно близко расположенные глубокие скважины, пробуренные

в хорошо изученной американской части Чукотского моря. Так, специалистами ОАО «Дальморнефтегеофизика» (ДМНГ, г. Южно-Сахалинск) акустический фундамент в мульде и на северном борту прогиба проводится на границе нижнеэлсмирского и верхнеэлсмирского комплексов, а осадочный чехол представлен отложениями от верхней перми до кайнозоя включительно. На южном борту (в границах Северо-Врангелевского карбон-среднеюрского прогиба) фундамент проводится в подошве нижнеэлсмирского комплекса, а стратиграфический объём осадочного чехла включает отложения от карбона до кайнозоя, в то время как коллеги из ОАО «Севморгео» (СПб) фундамент проводят в подошве выше лежащего бофортского комплекса, в подошве верхней юры (рис. 4). Кроме того, по-разному понимается объём меловых осадков. Если для ДМНГ объём K_1 в два раза превышает объём K_2 , то для Севморгео всё ровно наоборот. Для ДМНГ основным для такой корреляции является анализ волновых полей и кинематические характеристики соответствующих КССК Северо-Чукотского прогиба и трога Ханны в американском секторе, т. е. решающим аргументом является сходство геофизических параметров разреза. Специалисты Севморгео считают оба прогиба разновозрастными, основываясь на геологии о. Врангеля, где триасовые отложения смываются в складки, и на общих плейт-тектонических построениях. Для них главным аргументом являются геологические соображения.

Для решения проблем корреляции и возрастной привязки ОГ мы в своей работе привязали волновое поле американского сейсмического пр. D84-33, любезно переданного нашей организации французской фирмой «Total» S.A., к скважинам Бургер 1 и Попкорн 1. Профиль D84-33 находится в 3,7 км от скв. Бургер 1 и 0,5 км от скв. Попкорн 1 (рис. 5). В верхней части разреза на уровне 0,3 с в районе скв. Бургер 1 выделяется интенсивная 4-5-фазная волна, связанная с аптскими отложениями нижнего мела. Волна разбита многочисленными нарушениями, но она хорошо опознается на всём профиле. В районе скв. Попкорн 1 толща, с кровлей которой связана эта волна, подвергается практически полной эрозии, что подтверждают геологические данные по скважине. На северо-запад от скв. Попкорн 1 волна от аптских отложений прослежена с точно такими же характеристиками. Это однозначно опознаваемая интенсивная 4-5-фазная волна, прослеживаемая на 2,7–3,0 с. Выше этой характерной волны до ОГ mBU в западной и северо-западной части восточного блока наблюдаются два сейсмокомплекса. Нижний привязан к альбским отложениям нижнего мела, а верхний, не наблюдаемый ни в одной скважине американского сектора, по-видимому, связан с верхнемеловыми осадками. На этом профиле соотношение K_1 и K_2 такое же, как выделено у ДМНГ, т. е. K_1 в два раза больше, чем K_2 .

Таким же образом мы передали корреляцию ОГ JU от кровли верхнеэлсмирского комплекса. В районе скв. Бургер 1 это интенсивная «шероховатая» волна, наблюдаемая под слоистой толщей на 1,7–2,0 с, явно связанная с эрозионной поверхностью, а в скв. Попкорн 1 – на 1,3–1,4 с. В северо-западном опущенном блоке она резко погружается на 2,1–4,5 с, теряя свои динамические характеристики, наблюдаемые на профиле в районе скважин. Однако анализ волновых полей по всем профилям

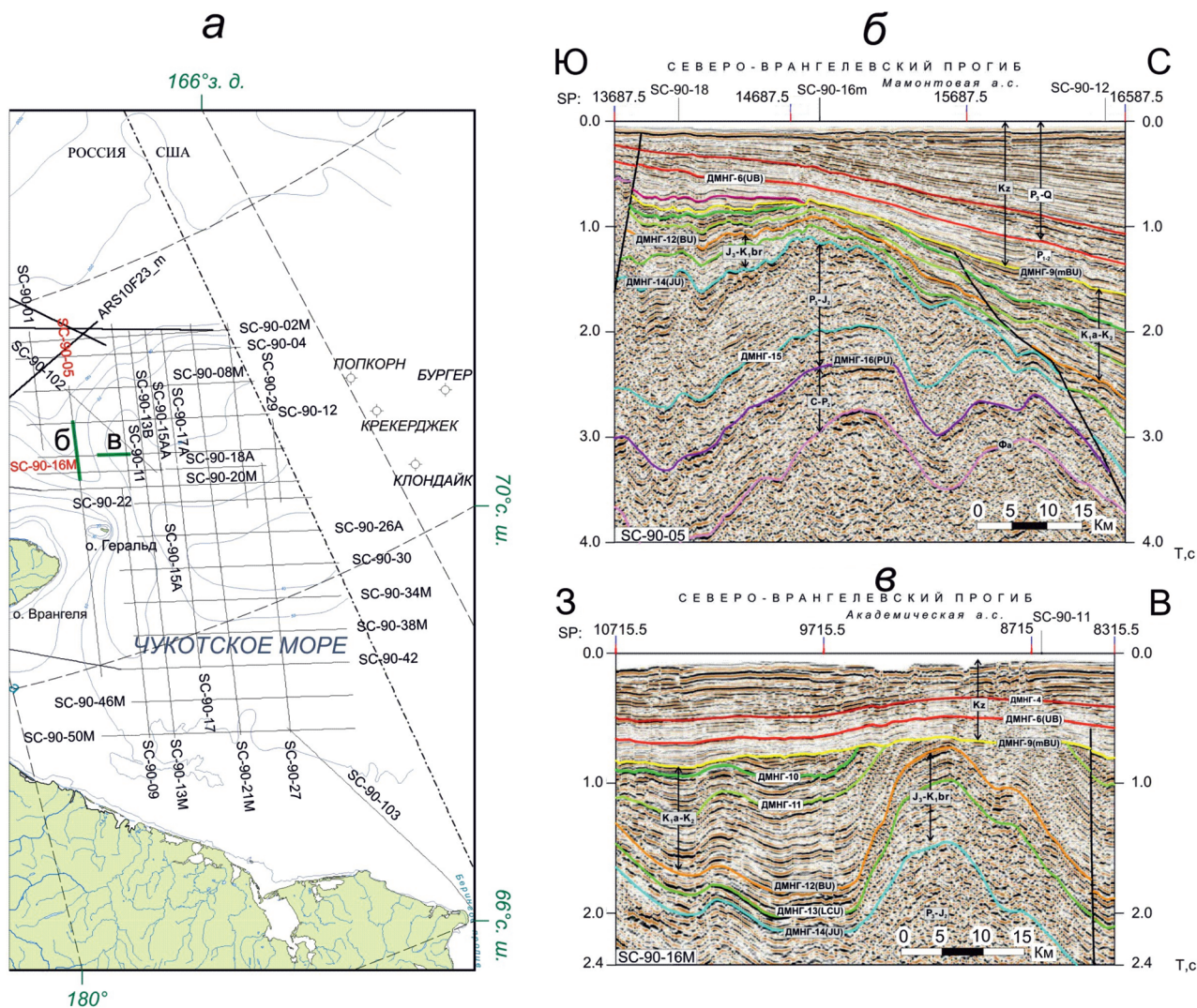


Рис. 6. Примеры волновых полей элсмирского комплекса на севере Чукотского шельфа
 а – местоположение профилей; б, в – примеры волновых полей с корреляцией ОГ

в районе Северо-Чукотского прогиба российско-американского сектора Чукотского и Восточно-Сибирского морей показал, что элсмирский комплекс в Северо-Чукотском прогибе присутствует повсеместно. В наиболее погруженных и прибортовых (рис. 6, 7) частях прогиба он выделяется вполне определенно. В центральных частях прогиба мощность элсмирского комплекса может достигать 5–6 км. На бортах прогиба он утоняется и редуцируется, выделить его в сейсмических полях становится более трудной задачей. По геологическим данным, в американской части Чукотского моря акустический фундамент делится на метаморфизованный франклинский комплекс и осадочный чехол (от верхнего девона до плиоцена) [15]. Он сформировался в начале позднего девона в скандскую фазу каледонской складчатости. Рельеф поверхности фундамента характеризуется значительной расчленённостью и резкими перепадами глубины погружения. На Врангелевско-Геральдском поднятии фундамент выходит на дно моря, на севере Чукотского моря погружается на глубину до 20–24 км (профили ES10z23_m, ARS10z01) (рис. 7).

Дополнительную информацию для стратификации и корреляции ОГ дают кинематические характе-

ристики разреза. Интервальные скорости по американским скважинам не опубликованы. Мы владеем информацией лишь о некоторых в районе скважин, полученных ДМНГ расчетным путём (табл. 2). Известно, что на состав отложений в акватории могут косвенно указывать значения интервальной скорости. Так, пластовая скорость нижеэлсмирского комплекса преимущественно карбонатного состава в скв. Попкорн 1 в инт. 2380–3110 м изменяется от 3350 до 6100 при средней 4980 м/с (устн. сообщ. Kirk W. Sherwood). По данным ОГТ, в Северо-Врангелевском прогибе интервал 2995–4379 м характеризуется скоростью 3870, инт. 3600–5000 м – 4220 м/с. Значения интервальной скорости свидетельствуют о более существенной доле терригенного материала в разрезе верхней части (карбон-среднепермского) нижеэлсмирского комплекса и его принадлежности к известняково-песчано-алеваит-глинистой формации, аналогичной изученной в скв. Крекерджек. Источники сноса во время формирования комплекса располагались на приподнятых участках, обрамляющих Северо-Врангелевский прогиб с востока (Чукотское поднятие) и запада (Шелагское, Северо-Шелагское поднятия). Крупная область размыва находилась на севере площади.

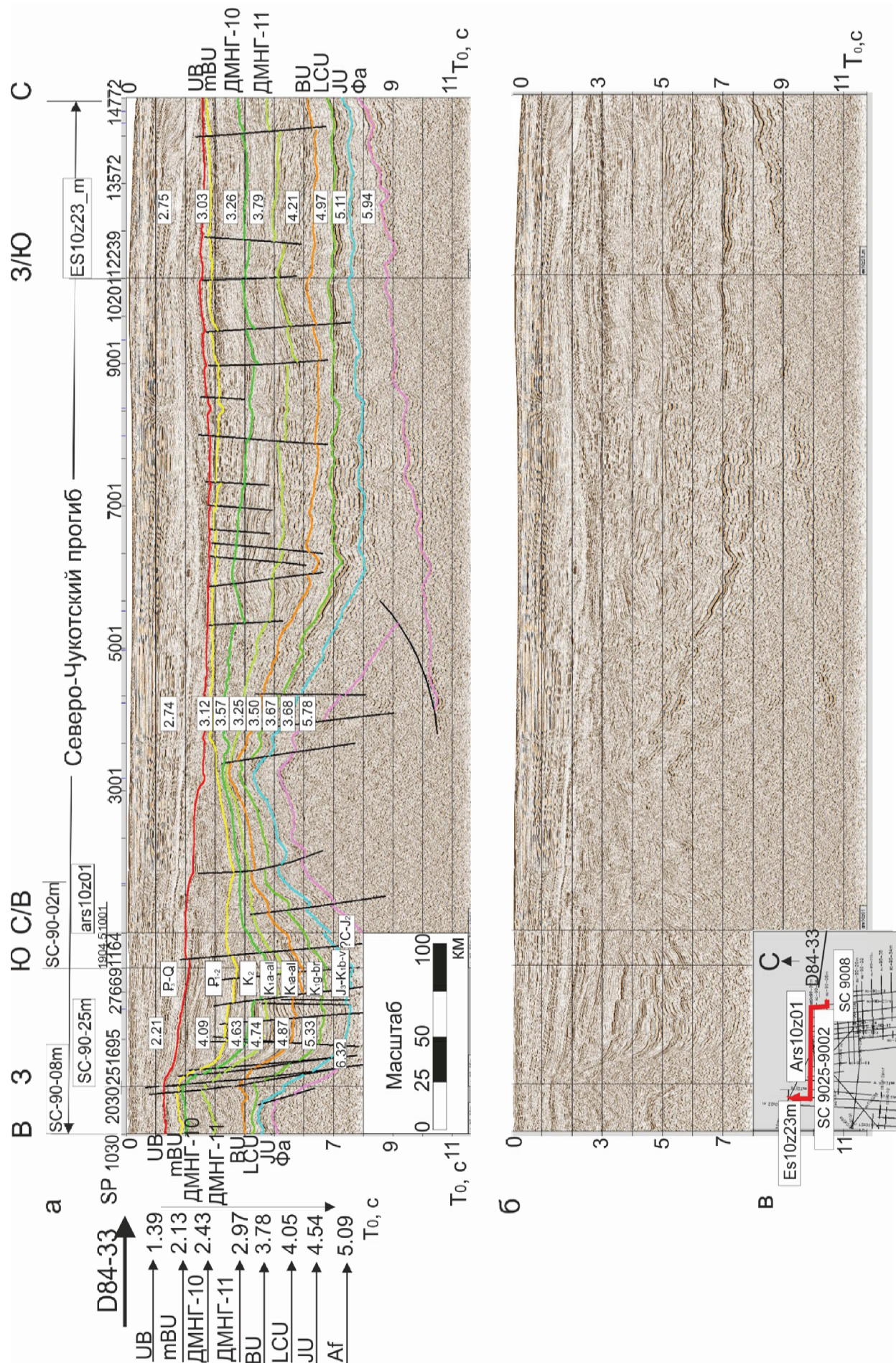


Рис. 7. Композитный сейсмический профиль от американского пр. D84-33 через север Чукотского шельфа в северо-восточную часть Восточно-Сибирского моря (SC9008 – SC9025 – SC9002 – Ars10z01 – ES10z23_m): а – с корреляцией ОГ, б – без корреляции ОГ, в – местоположение профиля (материалы ОАО «ДМНГ»)

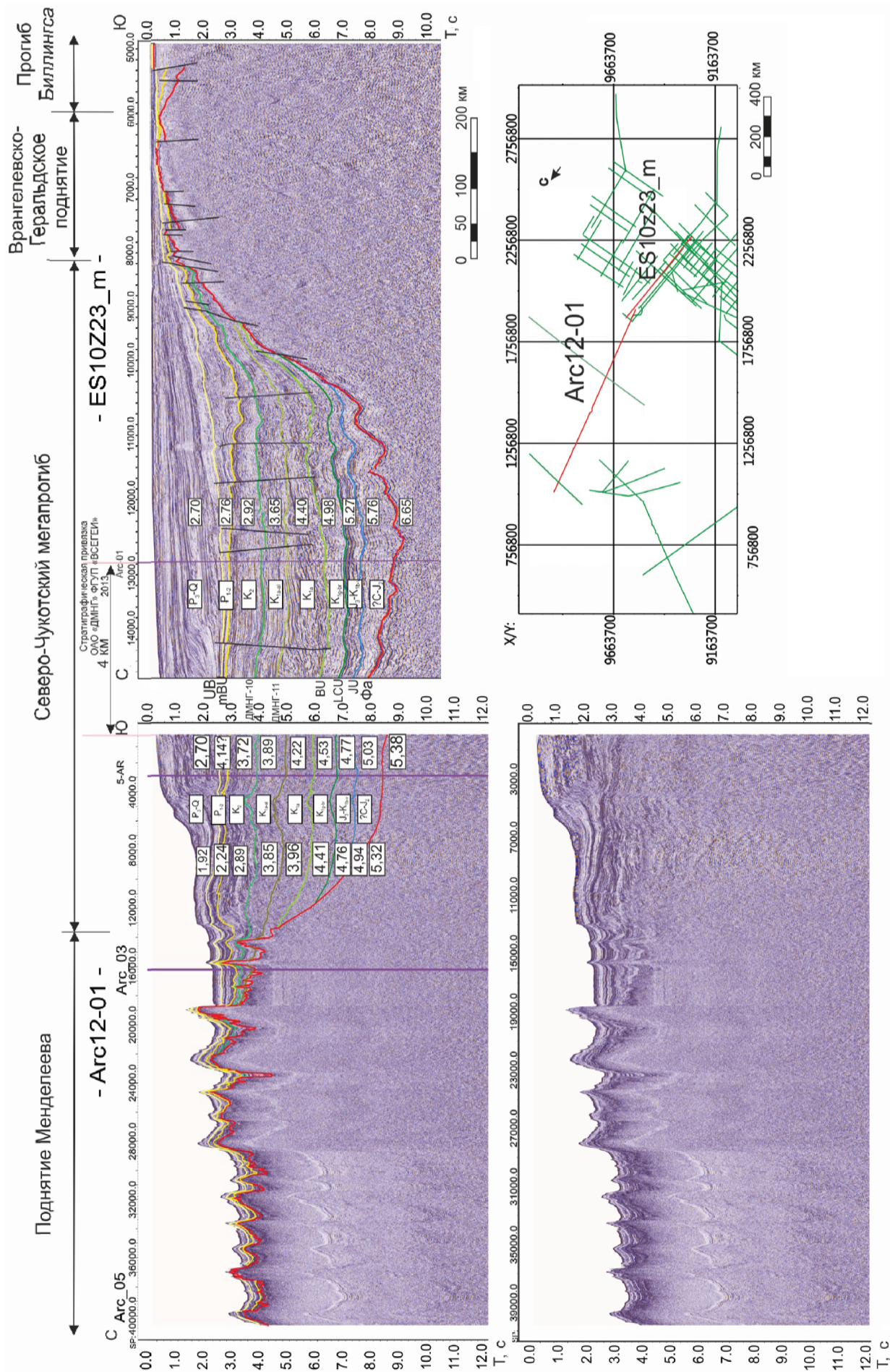


Рис. 8. Композитный пр. Arc12-01 (материалы ОАО «Севморгео») – ES10z23_m (материалы ОАО «ДМНГ»). Интерпретация авторов

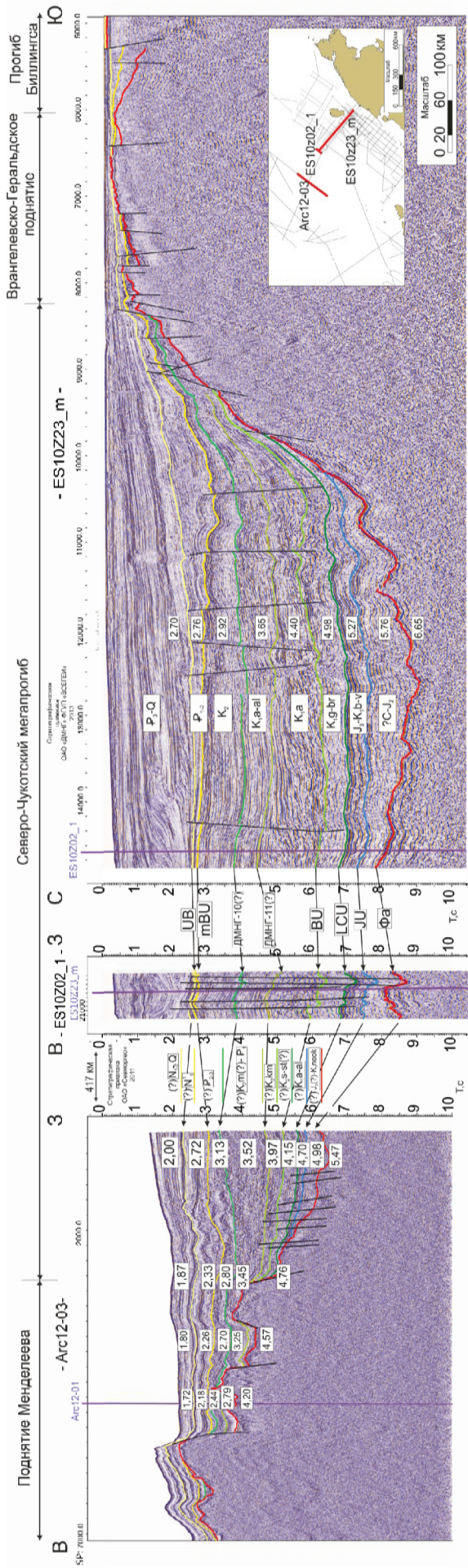


Рис. 9. Композитный пр. Агс12-03 (материалы ОАО «Севморгео») – ES10z02, ES10z23_m (материалы ОАО «ДМНГ»). Интерпретация авторов

Таблица 2

Расчетные пластовые скорости КССК в районе скважин (данные ОАО «ДМНГ»)

КССК между ОГ	По формуле Дикса-Урулова						Альтернативная формула					
	Клондайк			Крекерджек			Клондайк			Крекерджек		
	Глубина, м	Время, мс	Скорость, км/с	Глубина, м	Время, мс	Скорость, км/с	Глубина, м	Время, мс	Скорость, км/с	Глубина, м	Время, мс	Скорость, км/с
mBU-BU	1249–2542	668–1956	2,78	1707–2270	668–1830	2,68	1249–2542	668–1956	2,00776	1707–2270	668–1830	0,969019
BU-JU	2542–2865	1956–2156	3,17	2270–2475	1830–1964	3,17	2542–2865	1956–2156	3,23	2270–2475	1830–1964	3,059701
JU-PU	–	–	–	2475–2627	1964–2084	2,53	–	–	–	2475–2627	1964–2084	2,533333
PU-Sb	–	–	–	2627–2918	2084–2180	4,97	–	–	–	2627–2918	2084–2180	6,0625
JU-Sb	2865–3660	2156–2604	3,46	–	–	–	2865–3660	2156–2604	3,54911	–	–	–
JU-Sb	2865–3660	2156–2604	3,54911	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Пластовые скорости (км/с) КССК по анализируемым сейсмическим профилям

КССК между ОГ	ES10z02_1			ES10z23_m			Arc12_01			Arc12_03			A7		
	min*	max	mid	min	max	mid	min	max	mid	min	max	mid	min	max	mid
Скорость ниже фундамента	6,09	6,51	6,24	4,00	6,74	6,06	3,65	5,56	4,93	3,86	5,54	4,80			
Фа–JU (C–J ₂)	5,59	6,02	5,74	5,14	6,04	5,68	4,94	5,13	5,05	4,70	5,07	4,92			
JU–LCU (J ₃ –K ₁ b–v)	5,16	5,54	5,33	4,50	5,56	5,20	4,71	4,82	4,78	4,50	4,85	4,65			
LCU–BU (K ₁ g–bg)	4,67	5,20	4,99	4,29	5,01	4,77	4,28	4,55	4,46	4,04	4,33	4,18			
BU–ДМНГ-11 (K ₁ a)	4,13	4,63	4,38	4,01	5,00	4,34	3,57	4,23	4,02	3,79	3,97	3,89	3,39	4,99	4,32
ДМНГ-11–ДМНГ-10 (K ₁ a–al)	3,59	4,23	3,81	3,45	4,40	3,82	2,50	4,02	3,54	2,79	3,58	3,39	3,38	4,76	4,07
ДМНГ-10–mBU (K ₂)	3,24	3,82	3,40	3,03	3,97	3,40	2,11	3,77	3,08	2,44	3,13	2,85	3,70	4,19	3,94
mBU–UB (P ₁₋₂)	2,94	3,57	3,28	2,17	3,56	3,08	2,21	4,16	2,94	2,12	2,72	2,41	2,86	3,62	3,26
UB–дно (P ₃ –Q)	2,57	2,74	2,66	1,60	2,81	2,48	1,74	2,70	2,17	1,72	2,00	1,85	2,08	2,58	2,36

Окончание табл. 3

КССК между ОГ	sc-90-08m			sc-90-25m			sc-90-02m			ars10z01		
	min	max	mid	min	max	mid	min	max	mid	min	max	mid
Скорость ниже фундамента	4,87	4,87	4,87	6,32	6,32	6,32	5,70	5,70	5,70	4,92	7,23	6,08
Фа–JU (C–J ₂)	4,10	4,10	4,10	6,32	6,32	6,32	5,70	5,70	5,70	5,47	6,43	5,98
JU–LCU (J ₃ –K ₁ b–v)	4,70	4,70	4,70	6,32	6,32	6,32	5,70	5,70	5,70	3,68	5,35	4,76
LCU–BU (K ₁ g–bg)	4,70	4,70	4,70	5,33	5,33	5,33	4,61	4,61	4,61	3,67	4,95	4,56
BU–ДМНГ-11 (K ₁ a)	3,81	3,81	3,81	4,87	4,87	4,87	4,50	4,50	4,50	3,50	4,49	4,08
ДМНГ-11–ДМНГ-10 (K ₁ a–al)	4,06	4,06	4,06	4,74	4,74	4,74	4,50	4,50	4,50	3,25	4,52	3,64
ДМНГ-10–mBU (K ₂)	2,94	2,94	2,94	4,63	4,63	4,63	4,06	4,06	4,06	2,89	3,68	3,27
mBU–UB (P ₁₋₂)	2,91	2,91	2,91	4,09	4,09	4,09	3,39	3,39	3,39	3,12	3,86	3,34
UB–дно (P ₃ –Q)	2,16	2,16	2,16	2,21	2,21	2,21	2,42	2,42	2,42	2,60	2,80	2,73

Стратиграфическая привязка с американского профиля D84-33 была передана на композитный профиль, начинающийся с ближайшего сейсмического пр. SC90-08m в российском секторе Чукотского моря, который находится в 32 км от пр. D84-33 (рис. 7). На композитном профиле непрерывно прослежены опорные горизонты по всему осадочному чехлу, начиная с элсмирского комплекса (рис. 7, а). Присутствие его в Северо-Чукотском прогибе не вызывает сомнений, что подтверждают динамические и кинематические характеристики осадочного чехла в целом (непрерывное прослежи-

вание всех комплексов с их характерными особенностями, высокие пластовые скорости двух нижних комплексов). Кроме того, о каледонском возрасте фундамента говорит и динамика ОГ от фундамента. Она выглядит как интенсивное 3-4-фазное опорное отражение, характерное для древнего плотного метаморфизованного фундамента, а не относительно молодого киммерийского, как предполагают коллеги из Севморгео.

Положение опорных сейсмических горизонтов было передано на пр. Arc12-01 (рис. 8). К сожалению, этот профиль по объективным причинам

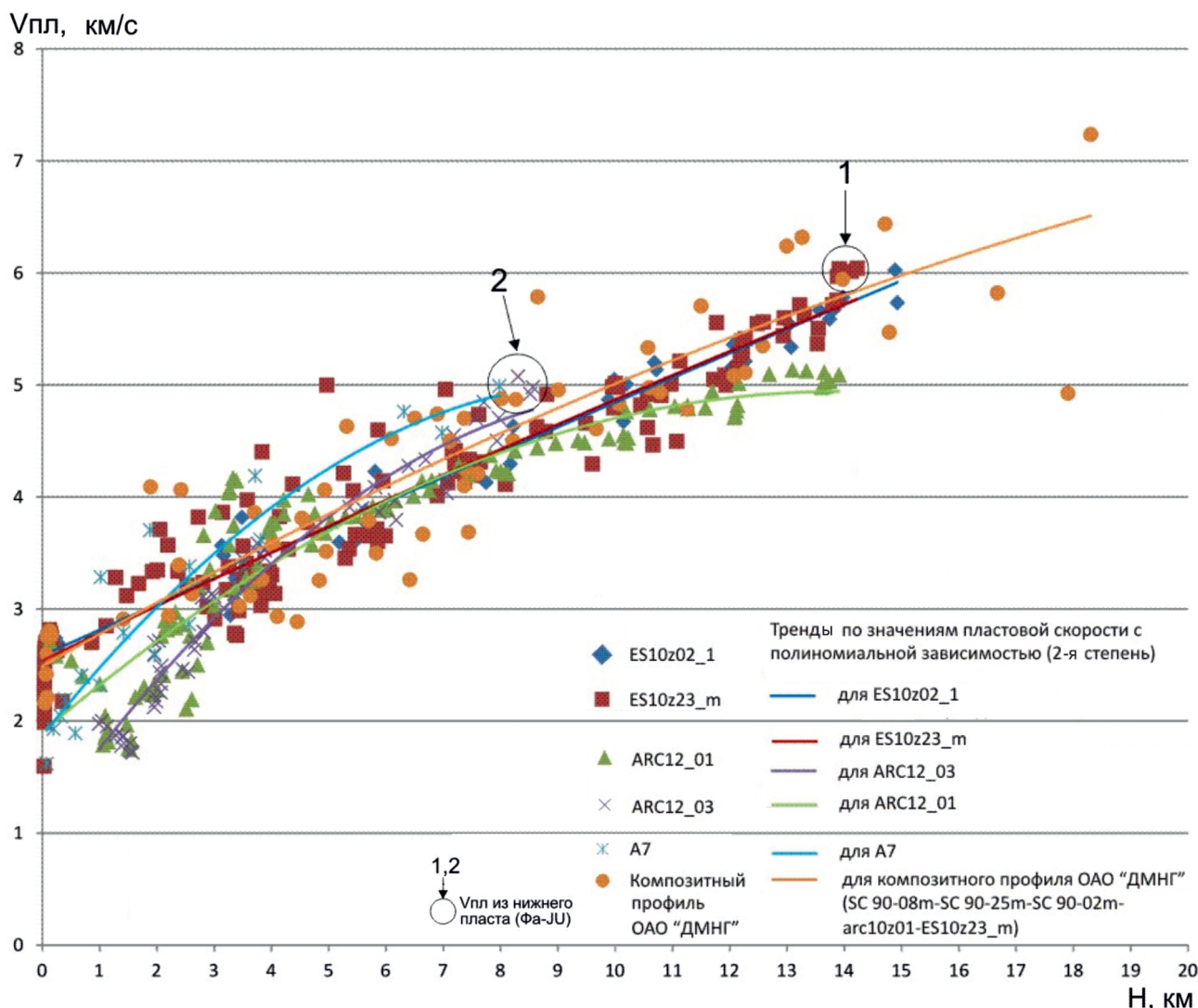


Рис. 10. Зависимость изменения $V_{пл} = F(T_0)$ на Восточно-Арктическом шельфе Российской Арктики и центрально-арктических поднятиях СЛО

был отработан по худшей методике (с короткой сейсмической косой), что сказалось на качестве его волнового поля. Тем не менее, два верхних ОГ прослежены достаточно надёжно, а корреляция нижних не противоречит имеющемуся волновому полю и скоростным характеристикам по профилям ES10z23_m, ES10z22_m, ES10z02_1, 5-AP, Arc12-03 и зондам КМПВ, отстреленным на пр. Arc12-01. В точке пересечения привязка была передана на пр. Arc12-03. Анализируя западный участок пр. Arc12-03 и сравнивая его с волновым полем Северо-Чукотского прогиба профилей ES10z23_m, ES10z02_1 (рис. 9), определенно можно говорить об их сходстве. Во-первых, очень сходны волновые поля ОГ, связанные с фундаментом интенсивные 3-4-фазные волны достаточно устойчивы, особенно в самых прогнутых частях впадины. Сохраняется количество комплексов при некотором сокращении их мощности, глубины залегания и изменении характерных особенностей волнового поля. В табл. 3 сопоставлены пластовые скорости по всем описываемым профилям. Скорости в основном характерны для терригенных пород, которые при погружении увеличивают свои значения (рис. 10). Исключение составляет нижний комплекс, в ко-

тором пластовые скорости несколько выпадают из общей зависимости, возможно, из-за некоторого изменения его состава (появление карбонатных или вулканогенных слоёв). Большая часть пр. Arc12-01 и представленная западная часть пр. Arc12-03 находятся в СЛО с глубинами дна от 1,5 до 1,9 км, поэтому, если учесть влияние водного слоя, полиномиальные зависимости пластовых скоростей по ним практически совпадут с полиномиальными зависимостями по профилям ДМНГ.

Получается, прогибы Вилькицкого (западная часть пр. Arc12-03) и Северо-Чукотский (северные части профилей 5-AP, ES10z23_m, ES10z22_m) имеют сходную структуру волновых полей, динамических и кинематических характеристик. На основании этого разумно предположить, что прогиб Вилькицкого — это не самостоятельная структура, а прибортовая часть на севере Северо-Чукотского прогиба, которая на севере вливается в восточную область котловины Подводников. Котловина Подводников состоит из двух областей — восточной и западной. Западная часть её частично отображается на пр. A7 в районе континентального склона.

Нами предпринята попытка сопоставления западного участка пр. Arc12-03 с пр. A7 в районе

наличия на нём максимального объёма осадочного чехла (рис. 11). Эти волновые поля частично сопоставляются (в верхней части). Но по большей мере структура их волновых полей отличается и по динамике (рис. 11), и по кинематике (рис. 10), особенно по динамическим характеристикам (количество КССК, их характеристики). На пр. А7 осадочный чехол начинается с комплекса, связанного с аптскими отложениями нижнего мела, и, по нашей стратиграфической привязке, возраст фундамента здесь доаптский, хотя общая мощность осадочного чехла в самой прогнутой части сопоставима с мощностью чехла в западной части пр. Arc12-03. Можно предположить, что граница разновозрастного фундамента должна проходить где-то по котловине Подводников (возможно, отрогу Геофизиков). Эту границу можно было бы поискать на профилях Arc12-16, Arc11-065_14, Arc11-053_14. К сожалению, методика полевых работ на этих профилях (коса менее 600 м) в данный момент не позволяет решить этот вопрос. В опубликованных работах по сейсмическому пр. 89-01 (ЛАРГЕ) подобная граница выделялась с 2001 г. [3, 6].

Прделанная работа убеждает в малой продуктивности использования общих геологических соображений для стратиграфической привязки опорных сейсмических горизонтов. Общие рассуждения, как правило, базируются на парадигмах, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Конкретные исследования по региону должны опираться на кропотливую процедуру непрерывного прослеживания ОГ и КССК и их динамических и кинематических характеристик по латерали и разрезу. Геологические соображения должны лишь ограничивать геофизические модели. Для такой закрытой и труднодоступной территории, как Восточная Арктика, это единственный путь для решения поставленных задач.

1. Буценко В.В. Главные тектонические события истории Арктического океана по сейсмическим данным // Автореф. дис. ... доктора г.-м. наук. — СПб., 2008. — 42 с.
2. Буценко В.В., Поселов В.А. Региональные особенности сейсмической конфигурации осадочного чехла глубоководного Арктического бассейна и возможности их палеотектонической интерпретации // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического района. Вып. 5. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2004. — С. 141–159.
3. Виноградов В.А., Гусев Е.А., Лопатин Б.Г. Возраст и структура осадочного чехла Восточно-Арктического

шельфа России // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 5. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2004. Вып. 5. — С. 202–212.

4. Дараган-Суцов Ю.И., Дараган-Суцова Л.А., Поселов В.А. К вопросу о стратиграфии осадочного чехла Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. Вып. 4. — С. 103–113.

5. Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцов Ю.И., Рукавишников Д.Д. Новый взгляд на геологическое строение осадочного чехла моря Лаптевых // Регион. геология и металлогения. 2010. № 41. — С. 5–16.

6. Драчев С.С., Елистратов А.В., Савостин Л.А. Структура и сеймостратиграфия шельфа Восточно-Сибирского моря вдоль сейсмического профиля «Индибирский залив — остров Жаннетты» // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 4. — С. 521–525.

7. Ким Б.И., Глезер З.И. Осадочный чехол хребта Ломоносова (стратиграфия, история формирования чехла и структуры, возрастные датировки сейсмокомплексов) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15. № 4. — С. 63–83.

8. Рекант П.В., Гусев Е.А. Сейсмогеологическая модель строения осадочного чехла прилаптевоморской части хр. Ломоносова и прилегающих частей глубоководных котловин Амундсена и Подводников // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 11. — С. 1497–1512.

9. Черных А.А., Крылов А.А. Седиментогенез в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения на хребте Ломоносова // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 4. — С. 516–520.

10. Backman J., Moran K., McInroy D.B. et al. Sites M0001-M0004 // Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program. Vol. 302. College Station TX, USA. Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., 2006. — 169 p.

11. Enachescu M.E. Structural Setting and Validation of Direct Hydrocarbon Indicators for Amauligak Oil Field, Canadian Beaufort Sea // The Amer. Assoc. of Petroleum Geologists Bull. 1990. Vol. 74. N 1. — P. 41–59.

12. Franke D., Hinz K., Oncken O. The Laptev Sea Rift // Mar. Petrol. Geol. 2001. N 18. — P. 1083–1127.

13. Jokat W., Weigelt E., Kristoffersen Y. et al. New insights into the evolution of the Lomonosov Ridge and the Eurasian Basin // Geophys. J. Int., 1995. Vol. 122. — P. 378–392.

14. Langinen A.E., Gee D.G., Lebedeva-Ivanova N.N., Zamansky Y.Y. Correlations between the Lomonosov Ridge, Marvin Spur and adjacent basins of the Arctic Ocean based on seismic data // Tectonophysics. 2009. Vol. 472. — P. 309–322.

15. Sherwood K.W. Structure of Hanna Trough and Facies of Ellesmerian Sequence, U.S. Chukchi Shelf, Alaska (Abstract with 2 posters). www.mms.gov/alaska/re/reports/swposter/Abstract_10_May_CSA-AAPG-SPE-Conference-Sherwood. 2006.

Дараган-Суцова Лидия Анатольевна — канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <ldaragan@vsegei.ru>.

Соболев Николай Николаевич — канд. геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Nikolay_Sobolev@vsegei.ru>.

Петров Евгений Олегович — канд. геол.-минер. наук, зам. зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Evgeniy_Petrov@vsegei.ru>.

Петровская Наталья Анатольевна — вед. геолог, ОАО «Дальморнефтегеофизика». <petnat@dmng.ru>.

Дараган-Суцов Юрий Иосифович — канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга. <yudarag@vniio.nw.ru>.

Гринько Людмила Романовна — аспирант, ВСЕГЕИ. <lyudmila_grinko@vsegei.ru>.