

Л. А. ДАРАГАН-СУШОВА, О. В. ПЕТРОВ, Н. Н. СОБОЛЕВ (ВСЕГЕИ),
Ю. И. ДАРАГАН-СУШОВ (ВНИИОкеангеология), И. В. ПОПОВА (ВСЕГЕИ)

Геология и история формирования котловины Подводников Северного Ледовитого океана по сейсмическим данным

Анализ волновых полей сейсмокомплексов котловины Подводников показал, что как единая морфоструктура она возникла только в середине миоцена в результате общего центриклинального ступенчатого погружения материковых структур в зарождающийся Северный Ледовитый океан. До этого на месте котловины были два прогиба, различающихся объемом и характером осадочных комплексов, возрастом складчатого основания и источником поступающего в них кластического материала. Западный прогиб заложился на позднекеммерийском складчатом основании. Осадочный материал поступал с интенсивно разрушающегося хр. Ломоносова. Восточный прогиб возник на позднекаледонском складчатом фундаменте и заполнялся в основном продуктами разрушения поднятий Менделеева и, возможно, Де-Лонга. В среднем миоцене основным поставщиком терригенных осадков стал современный российский шельф. Показано, что осадочные бассейны котловины Подводников и Северо-Чукотского прогиба, как и разделяющие их поднятия, развивались унаследованно на протяжении всего времени их существования без инверсии тектонического режима. Намечены основные этапы развития котловины Подводников и смежных поднятий. Сквозные разломы на границах морфоструктур указывают на продолжающуюся тектоническую активность.

Ключевые слова: *Северный Ледовитый океан, котловина Подводников, сейсмические данные, волновые поля, сейсмические комплексы, складчатый фундамент, разломы.*

L. A. DARAGAN-SUSHCHOVA, O. V. PETROV, N. N. SOBOLEV (VSEGEI),
YU. I. DARAGAN-SUSHCHOV (VNIIOkeangeologia), I. V. POPOVA (VSEGEI)

The geology and history of formation of the Arctic ocean Podvodnikov basin based on seismic data

Wave fields analysis of Podvodnikov basin seismic sequences showed that as a single morphological structure it appear only since the Middle Miocene as a result of total centricleaner speed dip of mainland structures in the nascent Arctic Ocean. Before that, in place of the basin were two depressions differing in volume and character of sedimentary complexes, the age of the folded basement and the source of the incoming clastic material. The Western depression was laid on the folded postcimmerian basement. Sedimentary material was supplied with a fast-decaying Lomonosov Ridge. Eastern depression emerged on postcaledonian folded basement and was filled mainly with products of the destruction of the Mendeleev and perhaps De-Long elevations. In the Middle Miocene a major supplier of terrigenous sediments had become a modern Russian shelf. It is shown that sedimentary basins of Podvodnikov and North Chukchi troughs, as the separated uplifts, evolved inherited during the whole time of their existence, without inversion of tectonic regime. The main stages of development of the Podvodnikov basin and adjacent uplifts are shown. Cross-cutting faults at the boundaries of morphostructures indicate ongoing tectonic activity.

Keywords: *Arctic Ocean, Podvodnikov basin, seismic data, wave fields, seismic sequences, folded basement, faults.*

Введение. Котловина (котл.) Подводников – крупная морфоструктура Амеразийского бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО), расположенная между подводными хр. Ломоносова на западе и поднятием Менделеева на востоке (рис. 1). Геологическое строение чехла, фундамента и коры котловины изучены современными сейсмическими методами относительно лучше, чем другие морфоструктуры СЛО, и являются прекрасным объектом для апробации и построения модели развития не только области Центрально-Арктических поднятий, но и всего Арктического бассейна. Кроме того, мощная осадочная толща котловины позволяет проследить датированные и привязанные к скважинам сейсмокомплексы через все отрицательные

структуры шельфа в глубоководье и тем самым воссоздать наиболее полную историю осадконакопления с минимумом перерывов.

Фактический материал. Для демонстрации особенностей геологического строения котл. Подводников использованы два сводных сейсмогеологических разреза, прошедших современный стандартный граф обработки. Субширотный сейсмогеологический разрез по композитному профилю *Arctica_2011_28_65–Arc2012_04* (1435 пог. км) пересекает котловину, захватывая смежные структуры от хр. Гаккеля на западе до Чукотского плато на востоке (рис. 2). *Arctica_2011_28_53_65* состоит из трех сейсмических профилей, выполненных

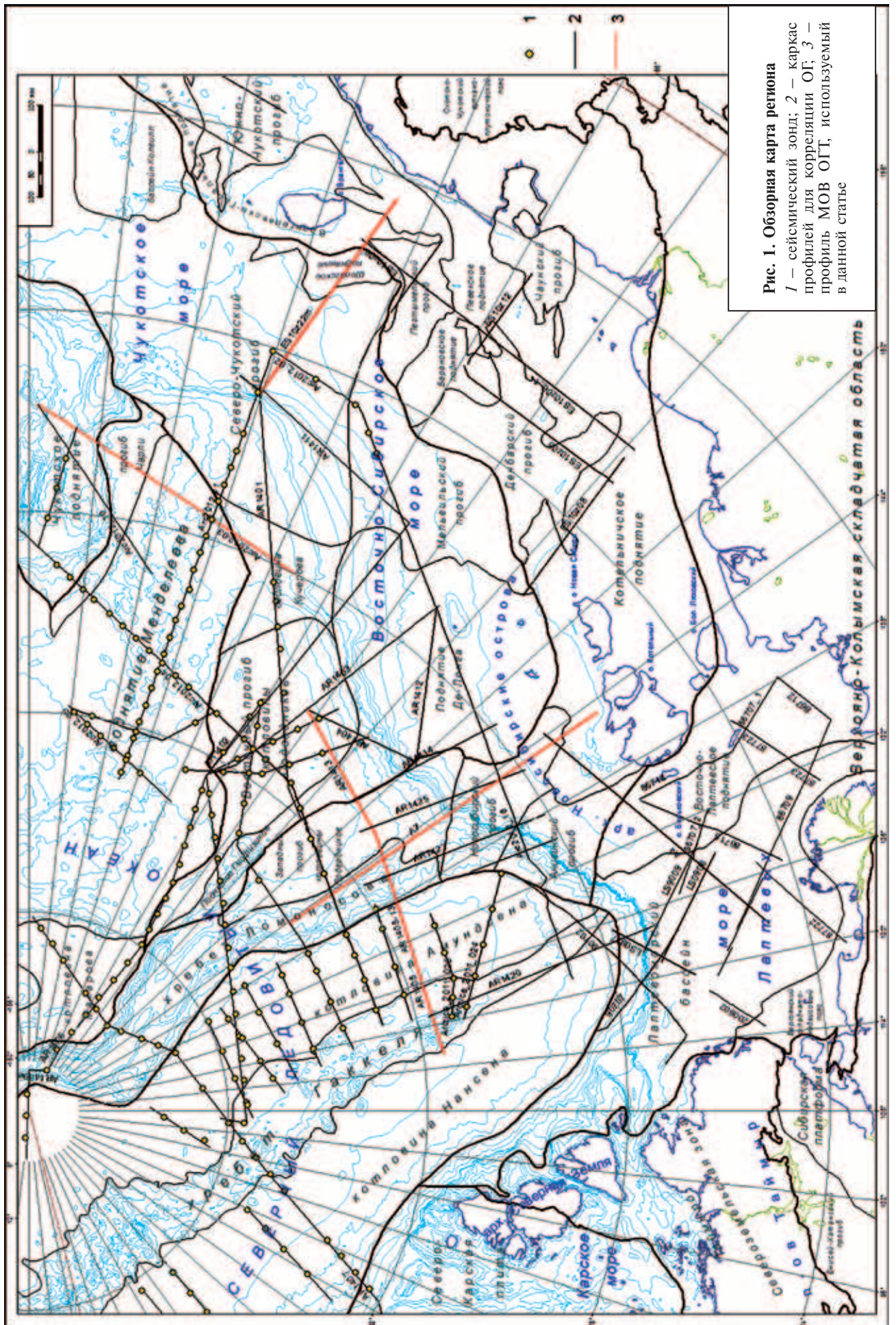


Рис. 1. Обзорная карта региона
 1 – сейсмический зонд; 2 – каркас профилей для корреляции ОГ; 3 – профиль МОВ ОГТ, используемый в данной статье

Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом (ГНИНГИ, Санкт-Петербург) в 2011 г. по единым методикам полевой и камеральной обработки. Профиль Arc2012_04 выполнен Севморгео (Санкт-Петербург) в 2012 г. При наблюдении МОВ ОГТ в качестве регистрирующего устройства обе организации использовали сейсмостанцию DigiSTREAMER, пневмоисточники BoltAPG 8500 и сейсмокосу DigiSTREAMER с длиной рабочей части 600 м. Общий объем пневмоисточника и длина записи от 1025 куб. дюймов и 15 с у ГНИНГИ до 1025/2050 куб. дюймов и 12 с у Севморгео.

Прекрасной иллюстрацией непрерывного прослеживания сейсмокомплексов с шельфа в котл. Подводников является второй сейсмогеологический разрез (рис. 3) по композитному профилю ES10z22m—AR1401 (1527 пог. км). Профиль ES10z22m выполнен Дальморнефтегеофизикой (ДМНГ, г. Южно-Сахалинск) в 2010 г., он пересекает в меридиональном направлении весь шельф Восточно-Сибирского моря. При наблюдении МОВ ОГТ в качестве регистрирующего устройства использовали станцию SEAL, сейсмокосу Sercel с длиной рабочей части 7950 м, пневмоисточники Bolt 1900 (общий объем 4000 куб. дюймов), длина записи 12 с. Профиль AR1401 выполнен МАГЭ в 2014 г. С юго-востока на северо-запад он продолжает профиль ES10z22m, пересекая Северо-Чукотский прогиб, седловину Кучерова и большую часть котл. Подводников. В качестве сейсморегистрирующей станции использовались Sercel SEAL System, ver.5.1, тип косы Sercel SEAL Fluid, 24 bit, длина косы 4500 м, источники APG BOLT-8500, рабочий объем 1300 куб. дюймов, длина записи 12 с.

Стратиграфическая привязка отражающих горизонтов и характеристика сейсмокомплексов. Для решения проблем корреляции и возрастной привязки отражающих горизонтов (ОГ) в котл. Подводников и смежных морфоструктурах осуществлялась привязка волновых полей к американскому сейсмическому профилю D84-33, который в свою очередь был стратифицирован по сважинам Burger и Rorsogn-1. Профиль D84-33 находится в 3,7 км от скв. Burger и 0,5 км от скв. Rorsogn-1 [4, 5, 9, 10, 19, 25]. Дополнительную информацию для стратификации и корреляции ОГ дают кинематические характеристики разреза. Для стратификации кайнозойских отложений также использованы результаты глубокого бурения в приполюсной части хр. Ломоносова [22]. Для подтверждения стратификации составлены предварительные геолого-геофизические разрезы и сейсмостратиграфические корреляционные схемы на базе профилей, увязанных по геолого-геофизическим параметрам и критериям. Интерпретированные и увязанные профили, данные по зондам и подготовленные для них паспорта оформлялись и включались в базу данных, составленную в пакете программ ArcGIS.

На сейсмогеологических разрезах в соответствии с предлагаемой интерпретационной моделью [5, 13] выделены и прослежены 9 ОГ и два разновозрастных фундамента А и Af: RU — региональное миоценовое несогласие, подошва среднего миоцена; UB — подошва нижнего олигоцена; EoU — подошва нижнего эоцена; pcU — посткампанское несогласие, подошва палеогена; K₂ — подошва верхнего мела; BU — брукское несогласие, подошва апта;

LCU — раннемеловое несогласие, подошва готтерива; JU — юрское несогласие, подошва верхней юры; PU — подошва верхней перми; А — подошва апта, совпадает с ОГ BU; Af — временные рамки формирования — верхний девон — миссисипий (ранний карбон).

На волновом поле композитного профиля Arc2012_04—Arc2012_04 верхняя кайнозойская часть разреза (от современных отложений до ОГ pcU) присутствует практически повсеместно (рис. 2). Меняются мощности, в меньшей мере скорости, но стратиграфический объем остается почти неизменным. Мощности и пластовые скорости, как правило, уменьшаются на поднятиях (иногда до полного исчезновения) и резко увеличиваются в прогибах (табл. 1). Волновое поле миоцен-четвертичного квазисинхронного седиментационно-сейсмического комплекса (КССК) характерно для пелагических осадков. Мощность от 0—0,1 км на поднятиях до 0,9 км во впадинах. В олигоцен-раннемиоценовом комплексе, ограниченном ОГ RU—UB, осадконакопление происходило в основном в морских условиях. Глубины осадконакопления в эоценовом КССК (ОГ UB—EoU) менялись от морских до прибрежно-морских. В нижнем, преимущественно палеогеновом комплексе (ОГ EoU—pcU) прогнозируется режим осадконакопления от морского до континентального.

Нижняя часть разреза чехла в разных стратиграфических объемах и мощностях значительно меняется в зависимости от структурной позиции. Поднятие Геофизиков является границей раздела двух типов разреза до кайнозойской части осадочного чехла котл. Подводников. К западу от поднятия наблюдаются два комплекса с неструктурированной формой записи, характерной либо для акустического фундамента, либо для толщ, сформированных в условиях лавинной седиментации (например, молассы, накапливающиеся у подножия интенсивно разрушающихся соседних орогенов). Разделяющие эти комплексы отражения указывают на наличие нижней и верхней молассы, что особенно выражено в западной части котл. Подводников, где оба комплекса присутствуют в значительных объемах.

Нижнемеловой апт-альбский комплекс (ОГ А—K₂) более сейсмически прозрачный, в зоне сочленения с хр. Ломоносова наблюдается только в грабенах. На самом хребте этого комплекса нет. На западном борту котл. Подводников присутствует характерный конус выноса. Это указывает на то, что хр. Ломоносова интенсивно размывался, формируя грубую молассу в соседних впадинах, а значит, это был ороген (рис. 2).

При формировании верхнего комплекса (ОГ pcU—K₂) ороген хр. Ломоносова частично и поднятие Геофизиков полностью были размыты, на что указывает прерывисто-слоистая запись комплекса, а значит, можно предполагать более тонкий обломочный материал. В западном прогибе котл. Подводников Vпл 2,5—4,7 км/с. Такие цифры характерны для терригенных пород, погруженных на значительную глубину. Общая мощность от 0—0,3 км на поднятиях до 1,7 км во впадинах (табл. 1).

Характерно, что в котл. Амундсена наблюдаются те же комплексы в нижней части разреза осадочного чехла. Мощность в обоих комплексах примерно одинаковая (0,6—0,7 км), но нижний разбит на блоки и имеет резкие колебания в значениях Vпл (3,1—5,0 км/с).

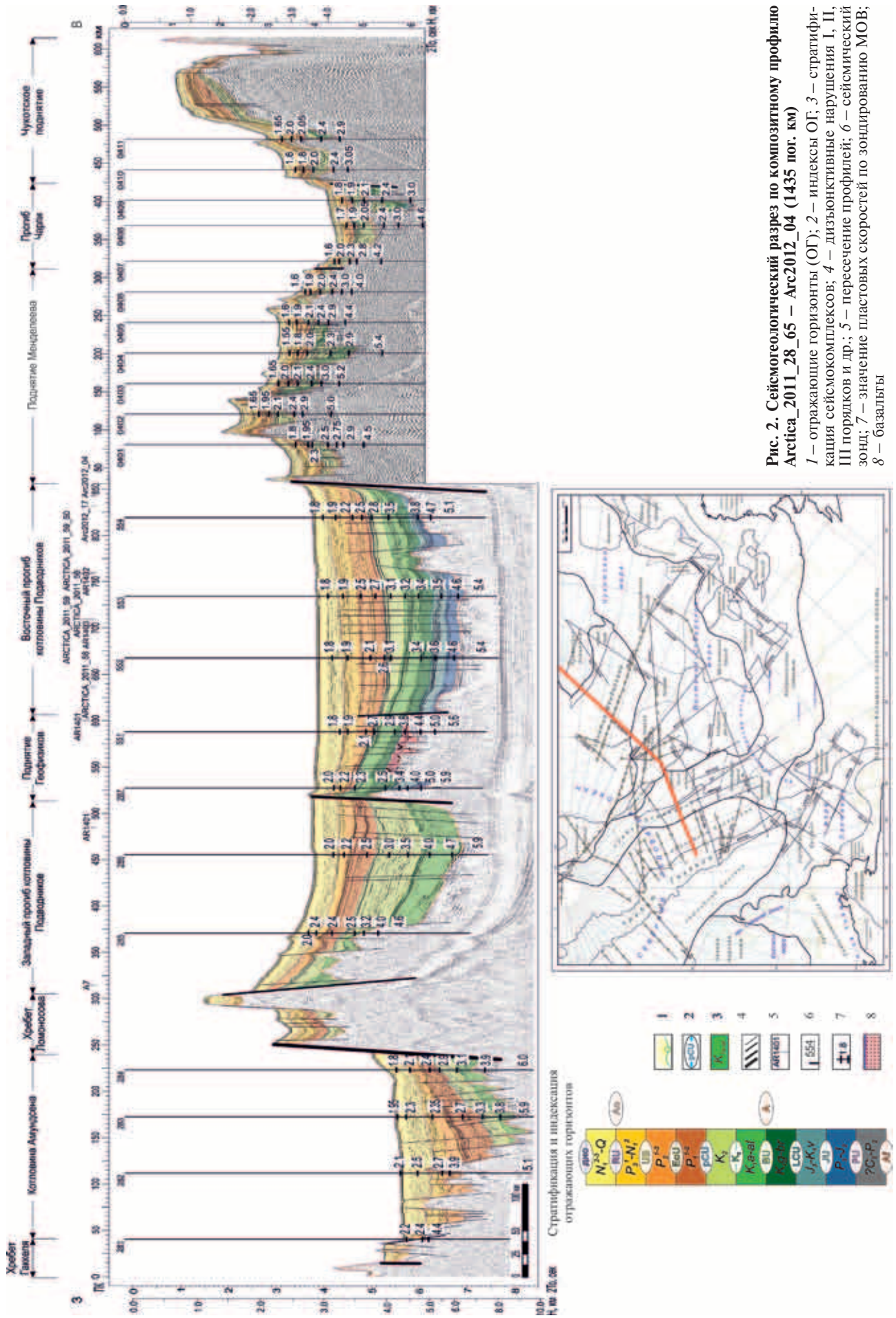


Рис. 2. Сейсмогеологический разрез по композитному профилю Arctica_2011_28_65 – Arct2012_04 (1435 пог. км)
 1 – отражающие горизонты (ОГ); 2 – индексы ОГ; 3 – стратификация сейсмокомплексов; 4 – дизъюнктивные нарушения I, II, III порядков и др.; 5 – пересечение профилей; 6 – сейсмический зонд; 7 – значение пластовых скоростей по зондированию МОВ; 8 – базальты

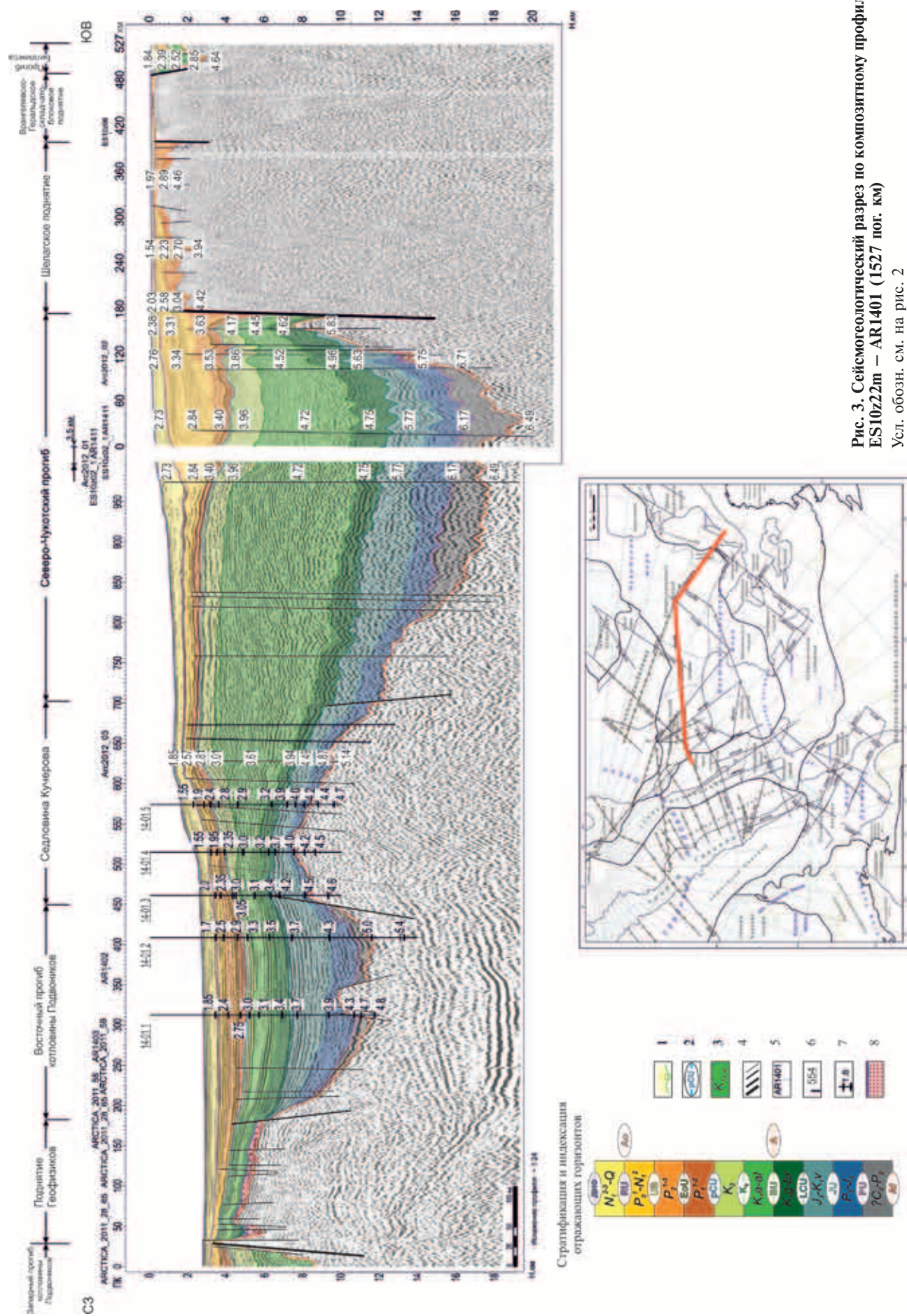


Рис. 3. Сейсмогеологический разрез по композиционному профилю ES10/222m – AR1401 (1527 пог. км)
 Усл. обозн. см. на рис. 2

КССК, ограниченный ОГ	Arctica_2011_28_65										
	281	282	283	284	285	286	287	551	552	553	
дно–RU	<u>0,27/0,3</u> 2,2	<u>0,76/0,9</u> 2,1–2,5	<u>0,7/0,8</u> 1,9–2,3	<u>0,61/0,6</u> 1,8–2,1	<u>0,5/0,6</u> 2,0	<u>0,5/0,6</u> 2,0	<u>0,44/0,5</u> 2,0	<u>0,54/0,5</u> 1,8	<u>0,54/0,5</u> 1,8–1,9	<u>0,55/0,5</u> 1,8–1,9	
RU–UB	<u>0,18/0,2</u> 2,4	<u>0,28/0,4</u> 2,7	<u>0,18/0,2</u> 2,3	<u>0,11/0,1</u> 2,1	<u>0,09/0,1</u> 2,4	<u>0,11/0,1</u> 2,2	<u>0,17/0,2</u> 2,2	<u>0,3/0,3</u> 1,9–2,1	<u>0,32/0,3</u> 1,9–2,1	<u>0,38/0,5</u> 1,9–2,5	
UB–EoU		<u>0,41/0,8</u> 3,9	<u>0,26/0,3</u> 2,7	<u>0,17/0,2</u> 2,4	<u>0,07/0,1</u> 2,4	<u>0,13/0,2</u> 2,5	–	<u>0,24/0,2</u> 2,1	<u>0,42/0,5</u> 2,1	<u>0,35/0,4</u> 2,5–2,7	
EoU–pcU			<u>0,77/1,2</u> 2,7–3,3	<u>0,38/0,5</u> 2,4–2,9	<u>0,37/0,5</u> 2,4–2,5	<u>0,54/0,7</u> 2,5–3,0	<u>0,18/0,3</u> 2,3	<u>0,15/0,2</u> 2,7	<u>0,27/0,2</u> 2,6	<u>0,25/0,5</u> 2,7–3,1	
pcU–K ₂			<u>0,37/0,7</u> 3,8	<u>0,39/0,6</u> 3,1	<u>0,32/0,3</u> 2,5	<u>0,97/1,7</u> 3,0–3,5	–	–	<u>0,36/0,6</u> 3,1–3,4	<u>0,41/0,7</u> 3,1–3,2	
K ₂ –BU(A)	–		<u>0,39/0,7</u> 3,8	<u>0,29/0,6</u> 3,9	<u>0,11/0,3</u> 3,2	<u>0,76/1,4</u> 4,0–4,7	<u>0,37/0,4</u> 2,5	<u>0,41/0,6</u> 2,9	<u>0,38/0,7</u> 3,4	<u>0,37/0,6</u> 3,4	
BU–LCU		–					<u>0,43/0,5</u> 2,5	<u>0,3/0,6</u> 3,8	<u>0,25/0,4</u> 3,6	<u>0,26/0,5</u> 3,5	
LCU–JU			–	–	–	–	<u>0,25/0,5</u> 3,4	–	<u>0,27/0,6</u> 4,6	<u>0,27/0,6</u> 3,5–4,6	
JU–Af							<u>0,41/1,0</u> 4,0–5,0	–	<u>0,28/0,5</u> 4,6	<u>0,37/0,8</u> 4,6	
A, Af	4,4	5,1	5,9	6,0	4,0–4,6	5,9	5,9	4,4–5,6	5,4	5,4	

Примечание: $[\Delta t(c)\Delta h(\text{км})]/[v_{\text{min}} - v_{\text{max}}(\text{км/с})]$.

Фундамент западного прогиба котл. Подводников нестабилен, местами динамически слабо выражен в волновых полях. Рельеф его в котл. Амундсена, на хр. Ломоносова и в западном борту котл. Подводников резко расчленен, а в самом западном прогибе котл. Подводников он ровный, спокойный и на отдельных участках динамически выразителен. Такая нестабильность динамической записи указывает на относительно молодой возраст фундамента ($V_{\text{пл}}$ 3,9–4,0 до 5,9 км/с).

К востоку от поднятия Геофизиков (включительно) в нижней части разреза чехла котл. Подводников мы наблюдаем большее число КССК с более протяженными, интенсивными, динамически выраженными отражениями, с небольшими мощностями, что свидетельствует о более раннем развитии осадочного бассейна в этой части разреза и явно шельфовых спокойных условиях осадконакопления. Волновое поле поверхности акустического фундамента (Af) представлено устоявшейся 3–4-фазной границей, гладкой, стабильной, нарушенной вблизи разломных зон (выступов фундамента), $V_{\text{пл}}$ 4,4–5,9 км/с. Динамические особенности волнового поля характерны для устоявшегося фундамента, более древнего, чем в западном прогибе котл. Подводников. Судя по стратиграфическому объему чехла, это элсмирский складчатый фундамент.

В восточном прогибе котл. Подводников в докайнозойской части разреза чехла наблюдается 5 сейсмокомплексов (рис. 2, табл. 1). Волновое поле нижнего КССК (ОГ JU–Af) характеризуется яркими протяженными отражениями, но ближе к акустическому фундаменту отражения затухают и становятся малоинтенсивными, что говорит об увеличении мористости вверх по разрезу. Для терригенных пород, погруженных на значительную глубину [3], $V_{\text{пл}}$ 3,8–5,0 км/с, мощность от 0,3–1,0 км. Для вышележащего КССК (ОГ LCU–JU) характерны

длинные протяженные яркие ОГ с высокими значениями амплитуды, $V_{\text{пл}}$ 3,4–4,6 км/с, мощность 0,2–0,6 км, уменьшаясь к поднятию Менделеева. Волновое поле нижнемеловых отложений (ОГ BU–LCU) – протяженные неярко выраженные фазы, в районе поднятия Геофизиков запись становится слабовыраженной, $V_{\text{пл}}$ 2,5–3,8 км/с, мощность стабильна, в среднем 0,5 км. Апт-альбские отложения (ОГ BU–K₂) – длинные протяженные яркие отражения с высокими значениями амплитуды, $V_{\text{пл}}$ 2,5–3,8 км/с. Толща выдержана по мощности (около 0,6 км). Для верхнемеловых отложений (ОГ pcU–K₂) характерны длинные протяженные яркие отражения с высокими значениями амплитуды. Ближе к горизонту K₂ яркость отражений ослабевает, $V_{\text{пл}}$ 3,1–3,5 км/с, мощность от 0,7 км до полной эрозии на поднятии Геофизиков.

Аналогичные различия в строении осадочного чехла западной и восточной частей котл. Подводников наблюдаются на разрезе AR1405–AR1413, проходящем южнее описанного разреза: неструктурированная запись в меловых комплексах западной части котловины и протяженная, динамически выраженная запись для сейсмокомплексов восточной части. На более северном профиле Arctica_2011_29_11_50 западная часть котл. Подводников сокращается в размерах, постепенно смыкаясь с хр. Ломоносова. Не исключено, что западная часть котл. Подводников была меловым грабеном на киммерийском основании. Тогда поднятие Геофизиков служило восточным бортом мелового грабена, а хр. Ломоносова западным. Отсюда понятны неструктурированный характер записи в волновых полях меловых отложений западного прогиба котл. Подводников и резкое сокращение разновозрастных отложений на поднятии Геофизиков и хр. Ломоносова.

На восточном конце профиля Arctica_2012_04 наиболее полный стратиграфический объем чехла фиксируется в прогибе Чарли, примерно соответствующий

по композитному сейсмическому профилю *Arctica_2011_28_65–Arc2012_04*

		Arc2012_04										
	554	0401	0402	0403	0404	0405	0406	0407	0408	0409	0410	0411
	<u>0,35/0,4</u> 1,8–1,9	<u>0,22/0,2</u> 1,8	<u>0,17/0,1</u> 1,6	<u>0,24/0,2</u> 1,6	<u>0,15/0,1</u> 1,6	<u>0,15/0,1</u> 1,6	<u>0,13/0,1</u> 1,6	<u>0,09/0,1</u> 1,6	<u>0,14/0,1</u> 1,7	<u>0,12/0,1</u> 1,8	<u>0,19/0,15</u> 1,6	<u>0,26/0,2</u> 1,7
	<u>0,3/0,3</u> 1,9–2,2	<u>0,2/0,2</u> 1,8–1,9	<u>0,22/0,2</u> 1,6–1,9	<u>0,07/0,1</u> 2,0	<u>0,21/0,2</u> 1,8–2,0	<u>0,18/0,2</u> 1,9	<u>0,11/0,1</u> 1,9	<u>0,06/0,1</u> 2,0	<u>0,1/0,1</u> 1,7–1,9	<u>0,15/0,1</u> 1,8–1,9	<u>0,1/0,1</u> 1,8	<u>0,08/0,1</u> 2,0
	<u>0,36/0,5</u> 2,2–2,5	<u>0,17/0,2</u> 1,9	<u>0,23/0,3</u> 1,9–2,1	<u>0,2/0,2</u> 2,0–2,1	<u>0,11/0,1</u> 2,0	<u>0,19/0,2</u> 2,1	<u>0,13/0,2</u> 2,0	<u>0,07/0,1</u> 2,3	<u>0,09/0,1</u> 1,9	<u>0,09/0,1</u> 1,9	<u>0,21/0,2</u> 2,0	<u>0,17/0,2</u> 2,1
	<u>0,17/0,1</u> 2,8	<u>0,06/0,1</u> 2,3	<u>0,07/0,1</u> 2,1	<u>0,2/0,2</u> 2,1–2,4	<u>0,11/0,1</u> 2,3	<u>0,07/0,1</u> 2,4	<u>0,08/0,1</u> 2,4	<u>0,05/0,1</u> 2,3	<u>0,1/0,1</u> 2,0	<u>0,1/0,1</u> 1,9	<u>0,12/0,2</u> 2,4	
	<u>0,3/0,5</u> 3,5	<u>0,38/0,5</u> 2,5	<u>0,37/0,4</u> 2,4	<u>0,35/0,4</u> 2,4–3,0	<u>0,47/0,5</u> 2,3–2,9	<u>0,21/0,3</u> 2,4–2,9	<u>0,23/0,3</u> 2,4–3,0	<u>0,21/0,2</u> 2,3–2,8	<u>0,42/0,5</u> 2,4	<u>0,43/0,5</u> 2,1–2,4	<u>0,39/0,5</u> 2,4	
	<u>0,27/0,5</u> 3,5–3,8			<u>0,15/0,2</u> 3,0	<u>0,43/0,6</u> 2,9							–
	<u>0,25/0,5</u> 3,8											
	<u>0,12/0,2</u> 3,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	<u>0,14/0,3</u> 3,8											
	4,7–5,1	2,9–4,5	2,9–5,0	5,2	5,4	4,4	4,0	4,2	3,0–4,6	3,0	3,0	2,4–2,9

объему чехла в восточном прогибе котл. Подводников, в то время как на поднятиях Менделеева и Чукотском в докайнозойской части разреза чехла фиксируются только два верхних КССК – аптальбский и верхнемеловой. Некоторые скорости (2,4–4,4 км/с) в фундаменте поднятий характерны для осадочных пород, что подтверждают результаты драгирования.

На поднятии Менделеева в кровле акустического фундамента по динамике сейсмической записи, вероятно, присутствуют траппы, которые при определенных мощностях могут стать экраном для нижележащих палеозойско-триасовых осадочных пород, установленных массовым драгированием на поднятиях [4]. На других разрезах с более длинной косой, например *Arc2012_03*, в разрывах траппового экрана предполагается слабоскладчатый неметаморфизованный фундамент.

В волновом поле сейсмогеологического разреза по композитному профилю *ES10z22m–AR1401* (рис. 3, табл. 2) кайнозойские осадки представлены в полном объеме только в южной части Северо-Чукотского прогиба и восточном прогибе котл. Подводников. В них сейсмокомплексы варьируют по мощности, но стратиграфический объем почти не меняется и представлен четырьмя КССК, аналогичными выделенным на субширотном профиле *Arctica_2011_28_65 – Arc2012_04*. В области мезозойд Северо-Востока Евразии, на поднятии Геофизиков, в северном борту Северо-Чукотского прогиба и над седловиной Кучерова два нижних кайнозойских КССК утоняются или полностью отсутствуют. Как правило, мощности и пластовые скорости уменьшаются на поднятиях и резко увеличиваются в прогибах.

Для волнового поля верхнего миоцен-четвертичного КССК (дно – ОГ RU) характерны неинтенсивные прерывистые протяженные оси синфазности с $V_{пл}$ 1,6–2,0 км/с, мощности от 0 до 0,3 км на

поднятиях до 1,2 км во впадинах. Подобные волновые поля, как правило, наблюдаются в пелагических осадках. Для олигоцен-миоценового КССК (ОГ RU–UB) волновое поле характеризуется длинными протяженными отражениями примерно с одинаковой частотой и амплитудой. В Северо-Чукотском прогибе, особенно в его южной части, присутствуют разнообразные косослоистые фации, что указывает на интенсивный сно с юга, юго-востока и постоянный подъём уровня моря, $V_{пл}$ 2,0–2,5, в отдельных случаях до 3,1 км/с, что говорит о преимущественно песчаном составе. Мощности КССК от 0–0,4 км на поднятиях до 2,4 на юге Северо-Чукотского прогиба. Осадконакопление происходило в основном в морских или прибрежно-морских условиях.

Волновое поле эоценовой толщи (ОГ UB–EoU) примечательно прерывистыми слабовыраженными отражениями, $V_{пл}$ 3,3–2,3 км/с, мощность 0,2–0,7 км. Глубины осадконакопления от морских до прибрежно-морских. Для нижнего палеогенового КССК (ОГ EoU–pcU) мощность от 0,8 км на юге Северо-Чукотского прогиба до 0,2–0,4 в восточном прогибе котл. Подводников, $V_{пл}$ 3,7–2,4 км/с. Отметим, что ОГ EoU – одно из самых ярко выраженных несогласий с высокоамплитудными отражениями. Условия осадконакопления от морских до континентальных.

На сейсмогеологическом разрезе *ES10z22m–AR1401* выделяются два разновозрастных фундамента. Один на юго-востоке профиля *ES10z22m* до пикета (пк) 180 и северо-западнее пак 40 на профиле *AR1401*. До пак 180 профиля *ES10z22m* наблюдается минимальное количество осадков (0–3,0 км). Здесь выявлено крупное нарушение сейсмической записи. Фундамент в южном блоке на небольших глубинах разбит на блоки, не имеет устойчивого отражения от поверхности, скорости в нём относительно небольшие (4,1–4,5 км/с). Все эти признаки характерны для молодого киммерийского фундамента.

Изменение мощностей ($\Delta t(c)/\Delta h(км)$) и $v_{пл}$ в КССК по композитному сейсмическому

КССК, ограничен- ный ОГ	AR1401									
	Номер зонда					Номер				
	1401_01	1401_02	1401_03	1401_04	1401_05	610	990	40	120	
Дно – RU	<u>0,69/0,6</u> 1,9	<u>0,72/0,6</u> 1,7	<u>0,78/0,8</u> 2,0	<u>0,62/0,7</u> 1,6	<u>0,81/0,8</u> 1,6	<u>0,61/0,6</u> 1,9	<u>1,04/1,1</u> 2,1	<u>0,79/0,8</u> 1,9	<u>0,61/0,6</u> 1,8	
RU–UB	<u>0,36/0,5</u> 2,4	<u>0,35/0,5</u> 2,5	<u>0,28/0,3</u> 2,4	<u>0,24/0,2</u> 2,0	<u>0,35/0,5</u> 1,9	<u>0,35/0,5</u> 2,6	<u>1,05/1,8</u> 3,2	<u>1,5/2,4</u> 3,1	<u>1,33/1,8</u> 2,7	
UB–ЕоU	<u>0,5/0,6</u> 2,8	<u>0,45/0,7</u> 2,9	<u>0,3/0,5</u> 3,0	<u>0,3/0,4</u> 2,3	<u>0,15/0,2</u> 2,4	—	<u>0,24/0,4</u> 3,2	<u>0,23/0,4</u> 3,2	<u>0,43/0,6</u> 2,8	
Еоu–pсU	<u>0,27/0,4</u> 3,0	<u>0,26/0,4</u> 3,3	<u>0,14/0,2</u> 3,0	<u>0,1/0,15</u> 2,4	<u>0,21/0,3</u> 2,8	<u>0,52/0,7</u> 2,8	<u>0,19/0,3</u> 3,3	<u>0,41/0,7</u> 3,3	<u>0,31/0,4</u> 2,8	
pсU–K ₂	<u>0,34/0,5</u> 3,1	<u>0,35/0,7</u> 3,5	<u>0,43/1,0</u> 3,1	<u>0,54/0,8</u> 3,0	<u>0,58/1,0</u> 2,9	<u>0,55/0,8</u> 3,0	<u>0,51/0,9</u> 3,4	<u>0,57/0,9</u> 3,2	<u>0,41/0,6</u> 2,8	
K ₂ –BU	<u>0,66/1,1</u> 3,4	<u>0,6/1,1</u> 3,5–3,7	<u>0,58/0,9</u> 3,4	<u>0,77/1,4</u> 3,2	<u>0,98/1,8</u> 3,2	<u>1,47/2,6</u> 3,6	<u>2,68/5,6</u> 4,1	<u>2,35/5,2</u> 4,2	<u>2,0/4,0</u> 3,7	
BU–LCU	<u>0,41/0,8</u> 3,7	<u>0,31/0,6</u> 3,7	<u>0,26/0,4</u> 3,4–4,2	<u>0,2/0,4</u> 3,7	<u>0,24/0,5</u> 3,9	<u>0,27/0,5</u> 3,9	<u>0,72/1,9</u> 4,9	<u>0,7/1,7</u> 4,8	<u>1,0/2,0</u> 4,1	
LCU–JU	<u>0,82/1,6</u> 3,9	<u>0,75/1,6</u> 4,3	<u>0,48/0,9</u> 4,2–4,5	<u>0,35/0,9</u> 4,0	<u>0,33/0,7</u> 4,0	<u>0,3/0,7</u> 4,5	<u>0,61/1,8</u> 5,5	<u>0,71/1,8</u> 4,9	<u>0,48/1,2</u> 4,6	
JU–PU	<u>0,59/1,3</u> 4,3	<u>0,85/2,0</u> 4,3–5,0	<u>0,36/0,8</u> 4,5	<u>0,24/0,4</u> 4,2	<u>0,37/0,8</u> 4,2–4,4	<u>0,48/1,2</u> 4,9	<u>0,71/2,3</u> 5,9	<u>0,71/2,2</u> 5,8	<u>0,94/3,0</u> 5,7	
PU–Af	<u>0,25/0,5</u> 4,7	<u>0,28/0,8</u> 5,0	—	—	—	—	<u>0,39/1,3</u> 6,0	<u>0,45/1,5</u> 6,2	<u>0,39/1,6</u> 5,9	
A, Af	4,8	5,4	4,6	4,5	4,4–4,7	5,1	6,3	6,6	6,2	

Примечание: $[\Delta t(c)/\Delta h(км)]/[v_{мин} - v_{max}(км/с)]$.

Северо-западнее пк 40 на профиле AR1401 также наблюдается крупное нарушение сейсмической записи, после которого до пк 0 характер сейсмической записи в докайнозойском разрезе приобретает вид волнового поля меловых отложений, наблюдаемых в западном прогибе котл. Подводников на описываемом нами субширотном профиле. Севернее пк 180 профиля ES10z22m ситуация меняется, отмечается резкое увеличение количества докайнозойских КССК (до 6) и объёмов всех осадков (до 19 км). ОГ, связанные с фундаментом, образуют достаточно устойчивые интенсивные 3–4-фазные волны, особенно в самых прогнутых частях Северо-Чукотского прогиба. Далее на северо-запад по профилю AR1401 в прогибах сохраняется количество комплексов при некоторой вариации их мощности, глубины залегания и характерных особенностей волнового поля. Скорость в фундаменте (Af) 5,4–6,4 км/с.

По нижнему КССК (ОГ Af–PU) интенсивные протяженные ОГ с высокими $V_{пл} \sim 5,9–6,2$ км/с, что типично для терригенно-карбонатного комплекса. По нему и перекрывающему его КССК (ОГ PU–JU) обособляются два прогиба: Северо-Чукотский и восточный котл. Подводников, известный под названием прогиба Вилькицкого. Их разделяет седловина Кучерова, фундамент которой разбит многочисленными нарушениями и, по-видимому, из-за этого имеет пониженные $V_{пл} 4,5–5,17$ км/с и расчленённый рельеф. КССК (ОГ PU–JU), судя по волновому полю (прерывистые и менее интенсивные ОГ, $V_{пл} 5,5–4,9$ км/с), сложен терригенными породами, мористость которых (протяженные гладкие ОГ) незначительно увеличивается в северо-западном направлении.

Суммарные максимальные мощности этой части разреза от 4,0 км в Северо-Чукотском прогибе, 0,5 на седловине Кучерова и 2,2 в восточном прогибе котл. Подводников.

Комплексы между ОГ JU–LCU и LCU–BU наследуют поведение нижележащих КССК по разделению прогибов седловиной, но в более мягкой форме, как бы обтекая и выравнивая её. Мористость нижнего комплекса растёт на северо-запад, а верхнего на юго-восток. Суммарные максимальные мощности этой части разреза до 4,0 км в Северо-Чукотском прогибе, до двух на седловине Кучерова и около трех в восточном прогибе котл. Подводников, $V_{пл}$ для нижнего комплекса 4,9–3,9, для верхнего 4,8–3,4 км/с.

КССК между ОГ BU и K₂ на шельфе и СЛО до пк 625 (с интенсивными косослоистыми слоями) маркирующий. Кровля его в скв. Burger и Северо-Чукотском прогибе сопоставлялась с шельфовыми косослоистыми осадками позднего апта. При продвижении на северо-запад косослоистость поднимается вверх по разрезу, захватывая всё более молодые осадки альбского и, возможно, частично верхнемелового возраста, поэтому ОГ K₂ нельзя принять за опорный и правильнее рассматривать 2 КССК (ОГ BU–K₂) и (ОГ K₂–pсU) вместе. Судя по всему, в это время был очень интенсивный снос осадков с юга, юго-востока. Косослоистость в КССК наблюдается в Северо-Чукотском прогибе и до середины седловины Кучерова (пк 625). Далее, на северо-запад, эти комплексы резко утоняются от 7,5–3,0 км на юге, 3,4–2,2 на седловине, 1,8–1,6 в восточной впадине котл. Подводников до 0,6 км на поднятии Геофизиков, где верхний КССК (ОГ K₂–pсU) полностью эродирован. В комплексах ОГ

Es10z22m					
пикета					
	160	180	260	360	520
	$\frac{0,39}{1,8}/\frac{0,4}{1,8}$	$\frac{0,26}{1,8}/\frac{0,2}{1,8}$	$\frac{0,28}{1,7}/\frac{0,2}{1,7}$	$\frac{0,3}{2,0}/\frac{0,3}{2,0}$	$\frac{0,33}{1,7}/\frac{0,3}{1,7}$
	$\frac{1,28}{2,6}/\frac{1,7}{2,6}$	$\frac{0,36}{2,0}/\frac{0,4}{2,0}$	$\frac{0,19}{2,0}/\frac{0,2}{2,0}$		$\frac{0,28}{2,0}/\frac{0,3}{2,0}$
	$\frac{0,71}{3,3}/\frac{1,2}{3,3}$	$\frac{0,26}{2,3}/\frac{0,3}{2,3}$	$\frac{0,47}{2,7}/\frac{0,6}{2,7}$	$\frac{0,39}{2,7}/\frac{0,5}{2,7}$	$\frac{0,25}{2,4}/\frac{0,3}{2,4}$
	$\frac{0,44}{3,7}/\frac{0,8}{3,7}$	—	—	—	$\frac{0,18}{2,5}/\frac{0,2}{2,5}$
	$\frac{0,49}{3,8}/\frac{1,0}{3,8}$				$\frac{0,13}{2,8}/\frac{0,2}{2,8}$
	$\frac{0,71}{4,2}/\frac{1,6}{4,2}$				$\frac{0,3}{3,2}/\frac{0,5}{3,2}$
	$\frac{0,58}{4,3}/\frac{1,3}{4,3}$				—
	—				
	5,4	4,5	4,5	4,1	4,4

становятся протяженными, интенсивными. Пластовые скорости в нижнем комплексе от 4,2–3,6 км/с на юге, 3,4–3,2 на седловине и 3,4–3,7 в восточном прогибе котл. Подводников. В верхнем КССК Упл от 3,8–2,8 км/с на юге, 3,1–2,9 на седловине и 3,5–3,1 км/с в восточном прогибе. Протяжённые оси синфазности и относительно высокие скорости могут говорить об относительно глубоководном (с преобладанием глинистых фракций) режиме осадконакопления в это время в восточном прогибе котловины.

По характеру волновых полей представленных разрезов можно сделать вывод, что основные нарушения сейсмической записи произошли при формировании фундамента (независимо от его возраста), которые постоянно обновлялись. Активное обновление нарушений произошло на границе мезозоя и кайнозоя ОГ рСУ, в среднем миоцене ОГ RU и в настоящее время, менее активные дизъюнктивные дислокации, вероятно, были в начале и конце эоцена (ОГ ЕоU, UB).

Геологическое строение. В соответствии с парадигмой, утверждающей неперенное существование рифтов в основании всех крупных осадочных бассейнов, большинство исследователей полагают, что котл. Подводников имеет растянутую континентальную кору, утоненную в результате меловых рифтогенных процессов [1, 20, 21, 23]. Однако есть противоположная точка зрения. Например, котл. Подводников, как и поднятие Менделеева, – это юрско-раннемеловые спрединговые бассейны [15]. Согласно более поздним работам [14, 24], фундаментом котл. Подводников может быть эксгумированная серпентинизированная мантия.

По последним сейсмическим данным, подо всей котловиной предполагается элсмирский (позднекаледонский) складчатый фундамент, перекрытый пермско-кайнозойским осадочным чехлом [1, 11]. Мезозоиды Новосибирско-Чукотской складчатой системы трассируются лишь на присибирский сегмент хр. Ломоносова, не затрагивая более древний фундамент котл. Подводников. Учитывая неопределенность в региональной корреляции сейсмокомплексов и их возрастной идентификации, допускается существование под чехлом котловины докембрийского платформенного фундамента [11]. Стратиграфический объем чехла котловины трактуется по-разному. У одних авторов для всей котловины возрастной диапазон осадочных пород пермь – современные отложения [1]. У других – для западного суббассейна, примыкающего к хр. Ломоносова, осадочный чехол начинается с раннего мела, а для восточного суббассейна котл. Подводников (включая поднятие Геофизиков) базальные толщи чехла датируются верхней пермью [11].

Анализ волновых полей ОГ и КССК позволяет несколько по-иному рассматривать особенности геологического строения осадочного чехла и акустического фундамента котл. Подводников и соседних морфоструктур.

В котл. Подводников выделяются два прогиба с соизмеримой общей мощностью осадочного чехла порядка 5 км (табл. 1), но с разным стратиграфическим объемом. Граница прогибов – поднятие Геофизиков, которое по строению осадочного чехла и морфологии можно рассматривать как морфоструктурный отрог хр. Ломоносова. Если восточный прогиб заложился на элсмирском основании, продолжая разновозрастные складчатые комплексы Восточно-Арктического шельфа, то акустическим фундаментом западного прогиба котловины, вместе с южной частью хр. Ломоносова и, возможно, приломоносовской частью котл. Амундсена, является позднекеммерийский складчатый пояс, продолжающий Верхояно-Чукотские мезозоиды. В этой части котл. Амундсена наблюдаются те же КССК, что и в западном прогибе котл. Подводников.

После позднемезозойского тектогенеза возникли два орогена на месте современных хр. Ломоносова и Шелагского и Врангель-Геральдского поднятий на Северо-Востоке Евразии. Интенсивное разрушение орогенов вызвало накопление мощных апт-альбских и позднемеловых моласс с косослоистыми фациями и проградационными комплексами. Следует отметить, что в Северо-Чукотском прогибе (рис. 3) ОГ К₂ очень нечеткий. Эта граница диахронна, поэтому для самого прогиба лучше рассматривать апт-альбские и позднемеловые КССК совместно. Мощности накопившихся меловых комплексов огромны, более 6 км в Северо-Чукотском прогибе и более четырех в западном прогибе котл. Подводников. На обоих сейсмогеологических разрезах четко видно, что наиболее активный снос терригенного материала с орогенов происходил в апт-альбе, постепенно ослабевая в позднем мелу по мере их эрозии. Присутствие позднемеловых осадков в отдельных опущенных блоках хр. Ломоносова свидетельствует о блоковом строении позднекеммерийского орогена, его значительной эрозии и относительно низкой гипсометрии в позднем мелу. Дополнительный кластический материал мог поступать в котл. Подводников с юга, с современного российского шельфа.

К югу от котл. Подводников и хр. Ломоносова, на архипелаге Анжу и Ляховских островах, в юре и раннем мелу на периодические мелевшем континентальном шельфе накапливались морские аргиллиты и глины, сменившиеся в апт-альбе озерно-аллювиальными угленосными отложениями и наземными кислыми эффузивами [7]. Архипелаг Де-Лонга в позднем мезозое был высокостоящим сводовым поднятием, поставившим материал в котл. Подводников.

Кайнозойские осадки сплошным плащом перекрывают все структуры региона. Наличие мощных кор выветривания на островах Анжу [7] подтверждает региональную пенеplanation рельефа современных морфоструктур СЛО к началу кайнозоя. Анализ волновых полей показал, что в общем случае условия осадконакопления менялись от континентальных и прибрежно-морских в палеоцене до морских в эоцен-олигоцене и относительно глубоководных пелагических со среднего миоцена до настоящего момента. При этом на поднятиях мощность кайнозойских КССК обычно значительно меньше, иногда на порядок, чем в смежных прогибах. Палеоцен-эоценовых осадков очень мало либо они отсутствуют в апикальных частях хр. Ломоносова и поднятия Геофизиков. Это полностью согласуется с результатами бурения на хр. Ломоносова [22]. Осадки могли быть размывы либо совсем не накапливались, значит, поднятия уже существовали. Хотя градиенты относительных движений были явно меньше современных. В олигоцене в результате роста Шелагского поднятия на южном борту Северо-Чукотского прогиба накопилась мощная толща, представленная косослоистыми терригенными фациями, смятыми в спорадические складки. Повсеместное присутствие олигоцен-четвертичных осадков, даже на резко приподнятых блоках хр. Ломоносова и поднятия Менделеева, явно указывает на общую выровненность рельефа к олигоцену и определяющий фактор неотектоники. Это проявлено в рельефе дна и распределении крупных сквозных разломов, присутствующих только на границах современных морфоструктур. Покров олигоценых и особенно миоцен-четвертичных осадков подчиняется только разломной неотектонике, оставаясь сплошным, не зависящим от современной гипсометрии.

Меловых рифтов в котл. Подводников нет. Рельеф поверхности акустического фундамента достаточно ровный и сглаженный, осложненный немногочисленными дизъюнктивами с незначительным смещением, которые затрагивают складчатый фундамент (независимо от возраста) и иногда базальные горизонты осадочного чехла как в западном, так и в восточном прогибах котл. Подводников (рис. 2, 3). Блоковость фундамента и чехла значительно лучше проявлена на хр. Ломоносова и поднятиях Чукотское и Менделеева. Разломы в основном докайнозойские, разделяют современные приподнятые и опущенные блоки хребта и поднятий, тогда как внутри блоков развиты более мелкие разломы, затрагивающие фундамент и самые низы чехла. Это прекрасно иллюстрировано детальными разрезами на поднятии Менделеева [12]. Все наиболее крупные разломы со смещением, пронизывающие весь чехол и фундамент, приурочены исключительно к границам крупных морфоструктур, нередко проявляясь в рельефе

дна в виде уступов и ступеней. Уменьшение мощностей КССК на поднятиях и их значительное увеличение в прогибах в совокупности со сквозным характером граничных разломов свидетельствуют об унаследованности знака тектонических движений для положительных и отрицательных морфоструктур на протяжении всей истории формирования чехла. Наиболее активные градиентные движения происходили на неотектоническом этапе. Единственным объектом, похожим на рифт, является структура меловых и особенно апт-альбских отложений в западном прогибе котл. Подводников с двумя приподнятыми плечами, хр. Ломоносова и поднятием Геофизиков и опущенным трогом. Однако, принимая во внимание скромные размеры трога, он скорее соответствует грабенам, аналогичным зафиксированным в новосибирской системе грабенов и горстов. Рифт – значительная трансрегиональная структура протяженностью в сотни и тысячи километров. Относительное утонение коры котл. Подводников вряд ли связано с процессами рифтогенеза. Тем более что в восточном прогибе котловины, большем по размеру, никаких меловых грабенов нет, это обычный седиментационный бассейн. Вполне возможно, что некоторое утонение коры произошло благодаря вертикальной аккреции, процессам метаморфизма и изменениям реологических и плотностных свойств нижней части коры котловины [2]. В любом случае никаких значимых признаков растяжения коры котловины, а тем более спрединговых событий, не наблюдается. Северо-Чукотский прогиб тоже нельзя относить к рифтам, у него есть только южный борт, который возник явно позже верхнего палеозоя, времени заполнения прогиба осадками. Судя по асимметричной форме меловых отложений Северо-Чукотского прогиба, это скорее предгорный прогиб позднемезомерийского орогена.

Вещественный состав глубокопогруженного акустического фундамента под котл. Подводников неизвестен. По характеру волновых полей и результатам прослеживания ОГ и КССК можно лишь предполагать его складчатый характер и более молодой возраст под западным прогибом котловины и под хр. Ломоносова. Зато на соседних положительных структурах, хр. Ломоносова, поднятиях Чукотское и особенно Менделеева, выполнены большой объем драгирования крупномерного материала и бурение [8, 17]. При оценке возможной природы фундамента также учтены опубликованные сейсмические данные по поднятию Альфа-Менделеева [4, 12].

Драгированные породы на склонах подводного поднятия Менделеева представлены фаунистически охарактеризованными, преимущественно палеозойскими известняками, доломитами, в меньшей мере терригенными разностями, обломками базальтов и метаморфических сланцев. Несмотря на вполне оправданное допущение об эрратическом происхождении значительной части драгированного материала, образцы, полученные при разбурировании крутых склонов с подводного аппарата и заверенные видеосъемкой, несомненно, являются коренными породами [18]. Преобладают карбонаты, терригенных пород меньше, чем ниже по склону, древние, от ордовикских известняков и доломитов вниз по склону до пермских терригенных и карбонатных пород вверх. Это неоспоримо доказывает континентальное происхождение

поднятия Менделеева, представленного в опробованном интервале платформенным чехлом древней докембрийской платформы [6] либо переработанным элсмирской складчатостью основанием для молодого мезо-кайнозойского чехла, как предполагается на Чукотском поднятии [17]. Хотя не исключено, что визуально наблюдаемый значительный наклон пород произошел вследствие блоковых движений и сползания отдельных блоков вниз по склону. В отличие от поднятий Менделеева и Чукотского на хр. Ломоносова преобладают песчаники, аргиллиты и алевролиты, карбонаты в меньшем количестве, что больше соответствует верхоянскому терригенному комплексу, смятому в складки в позднекеммерийскую фазу.

История формирования и время возникновения котл. Подводников понимаются различно. Достаточно распространена точка зрения об апт-верхнемеловом ее возрасте [16]. Есть представления, что она, как и другие мезо-кайнозойские седиментационные бассейны Американо-Азиатской части СЛО, сформировалась в конце раннего мела в результате разрушения гетерогенного сводового поднятия на месте современных структур хр. Ломоносова и поднятия Менделеева. Импульс растяжения привел к образованию системы разрывных нарушений, которые и определили блоковую структуру области – котловину и смежные поднятия [11]. Наконец, из последней опубликованной работы [1] следует, что котловина как единый седиментационный бассейн заложилась в палеоцене на месте системы меловых рифтогенных прогибов, зафиксированных на значительно более обширной области СЛО.

Реконструкция истории формирования котл. Подводников возможна лишь с позднего палеозоя. Эпизелсмирские осадочные бассейны с позднего карбона до апта, вероятно, были относительно мелководными шельфами, сначала заполняясь терригенно-карбонатным материалом, аналогичным вскрытым скважинами на аляскинском шельфе, а затем исключительно терригенными осадками. Мощность доаптских сейсмокомплексов от 500 до 800 м на краях бассейнов до 3000 м в наиболее погруженных эпицентрах Северо-Чукотского прогиба и 2000 м в восточном прогибе котл. Подводников. Судя по трансгрессивному характеру осадочных толщ, седловина Кучерова до начала мезозоя делила седиментационное пространство на два бассейна, которые позже объединились. Резкий контакт по разломам поднятия Геофизиков с осадочными бассейнами западного и восточного прогибов котл. Подводников показывает, что это поднятие возникло значительно позже, к началу мела, периодически активизируясь вплоть до настоящего момента. Показательно, что на момент позднекеммерийских деформаций поднятие Геофизиков уже существовало, деля котловину на два прогиба. Отдельные горстообразные выступы фундамента в восточном прогибе котл. Подводников явно конседиментационные и возникли почти одновременно с поднятием Геофизиков. Сохранившиеся в узких опущенных трогах поднятия доготерив-барремские толщи, вероятно, следует рассматривать как подтверждение более позднего воздымания поднятия и размыва домеловых комплексов. Сейчас невозможно определить западные границы элсмирского складчатого пояса и доаптских

осадочных бассейнов. Наличие домеловых КССК в трогах поднятия Геофизиков и характер волновых полей позднекеммерийского фундамента не исключают того, что элсмирская тектоника затронула всю котл. Подводников и южную часть хр. Ломоносова. Зафиксированные на акустическом фундаменте поднятия Геофизиков проявления ареального магматизма траппового типа (рис. 3) могут быть как эффузивами, излившимися на границе юры–мела, так и позднемеловыми силлами, одновозрастными с НАЛIP поднятия Менделеева.

Единой котл. Подводников в апт-альбское и верхнемеловое время не существовало. Она была разделена растущим с начала мела поднятием Геофизиков на два самостоятельных бассейна, различающихся формой, размерами и режимом осадконакопления. Западный бассейн представлял собой прогиб, заполнявшийся сносимой с орогена хр. Ломоносова молассой, а восточный прогиб котл. Подводников, заполненный относительно глубоководными глинистыми толщами, через погребенную седловину Кучерова соединялся с Северо-Чукотским прогибом, в котором накапливались косослоистые комплексы огромной мощности, поступавшие с орогена северо-востока Евразии. Судя по стратиграфическому объему чехла, поднятия Менделеева и Чукотское тоже возникли в конце раннего мела – апта вначале как невысокое сводовое поднятие, внутренняя блоковая структура которого со временем увеличивала контрастность, образуя вдоль длинной оси поднятий субмеридиональную систему горстов и грабен.

Кайнозойские осадки трансгрессивно перекрывают все морфоструктуры региона. После перерыва в осадконакоплении на рубеже мела–палеогена и общей пенепленизации, затронувшей как положительные, так и отрицательные структуры, продолжают дальнейшее погружение осадочных бассейнов и рост поднятий. Процесс носит скачкообразный характер со значительными перерывами в осадконакоплении на поднятиях и их размыве, особенно в палеоцене–эоцене. Осевая часть хр. Ломоносова растет быстрее, чем его склоны, и котл. Подводников расширяется за счет интенсивного погружения (или отставания в росте) прилегающих флангов хр. Ломоносова. Поднятие Геофизиков до ОГ RU продолжает делить котловину на два прогиба, отличающихся мощностью накопившихся домиоценовых КССК в 2,5–3 раза при примерно равной общей мощности кайнозойского разреза. Например, в наиболее погруженной части западного прогиба мощности палеоценового, эоценового и олигоцен-раннемиоценового КССК 700, 200 и 100 м, в то время как для восточного прогиба они 200, 500 и 300 м. Вероятна различная роль преобладающих источников сноса хр. Ломоносова для западного и поднятия Менделеева для восточного прогибов. Миоцен-четвертичный комплекс плащеобразно, с практически одинаковой мощностью, перекрывает всю котловину, не считаясь с поднятием Геофизиков, проявленным даже в рельефе дна в виде уступа. Именно с этого времени можно считать котл. Подводников единой морфоструктурой. Доминирующим источником сноса становится южный шельф.

Современная котл. Подводников образует батиметрическую депрессию треугольной формы, сужаясь от Восточно-Сибирского шельфа

к северу до максимального сближения поднятия Менделеева с хр. Ломоносова. Далее на север она через узкий порог Arlis переходит в котл. Макарова. Котл. Подводников, как и соседние поднятия Менделеева и хр. Ломоносова, имеет ступенчатый характер, небольшой уступ делит ее на две полого погружающиеся на север террасы: южную большую с глубиной дна 2600–2800 м и северную меньшую – 3100–3200 м. Четко проявленные в рельефе дна котловины ступени – очевидный признак неотектонических процессов центриклинального обрушения, затронувших все крупные морфоструктуры СЛО.

Заключение. Как единая морфоструктура котл. Подводников возникла только в середине миоцена в результате общего центриклинального ступенчатого погружения материковых структур в зарождающийся СЛО. До этого на месте котловины были два прогиба, различающихся объемом и характером осадочных комплексов, возрастом складчатого основания и источником поступающего в них кластического материала. Западный прогиб заполнялся в основном продуктами разрушения хр. Ломоносова, тогда как восточный – поднятий Менделеева и, возможно, Де-Лонга. Лишь со среднего миоцена основным поставщиком терригенных осадков стал современный российский шельф. Прогибы разделяло поднятие Геофизиков, возникшее к началу мела.

Меловых рифтов, как и признаков заметного растяжения, в котл. Подводников нет. Мощные апт-альбские и верхнемеловые толщи накопились в западном прогибе котловины и в Северо-Чукотском прогибе вследствие разрушения орогенов хр. Ломоносова и Северо-Востока Евразии, сформировав предгорные молассы с характерными косослоистыми фациями и проградирующими комплексами.

Осадочные бассейны котл. Подводников и Северо-Чукотского прогиба, как и разделяющие их поднятия, развивались унаследованно все время их существования без инверсии тектонического режима. Процесс происходил итерационно. Основной перерыв в осадконакоплении приходится на мел-палеогеновый рубеж, когда произошли выравнивание и пенепленизация обширного региона Центральной Арктики. Более частные, но длительные перерывы с размывом смежных поднятий происходили периодически в начале и конце эоцена, возможно в олигоцене. Кардинальным событием стало общее погружение в миоцене, сформировавшее современный облик морфоструктур, сквозные разломы на границах которых указывают на продолжающуюся тектоническую активность.

Выделение элсмирского основания под восточным прогибом котл. Подводников позволяет почти замкнуть кольцо позднекаледонского складчатого пояса (арктиды. по Б. Х. Егизарову), что подтверждает идею существования в центральной части Арктического бассейна жесткого докембрийского массива [4, 6]. Периодическая коллизия этого полярного материка с континентальными массивами Евразии и Америки – причина появления гигантского складчатого кольца. Для реконструкции коллизионных процессов необходимо продолжение исследований по более четкому определению временных рамок формирования складчатости в различных сегментах пояса.

1. Арктический бассейн (геология и морфология) / ред. В.Д. Каминский. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2017. – 291 с.

2. *Артюшков Е.В., Чехович П.А.* Глубокие осадочные бассейны в акватории российской Арктики: механизмы образования, перспективы нефтегазоносности, обоснование принадлежности к континентальному шельфу // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2 (18). – С. 26–34.

3. *Дараган-Суцова Л.А., Копылова А.В.* Эмпирические зависимости пластовых скоростей от глубины погружения пластов по данным скважинных исследований и морской сейсморазведки // Геофизические методы изучения шельфа и континентального склона. – Л., 1990. – С. 28–31.

4. *Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Соболев Н.Н.* и др. Геология и тектоника северо-востока Российской Арктики (по сейсмическим данным) // Геотектоника. 2015. № 6. – С. 3–20.

5. *Дараган-Суцова Л.А., Соболев Н.Н., Петров Е.О.* и др. К обоснованию стратиграфической привязки опорных сейсмических горизонтов на Восточно-Арктическом шельфе и в области Центрально-Арктических поднятий // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. С. 5–21.

6. *Кабанков В.Я., Андреева И.А., Иванов В.И., Петрова В.И.* О геотектонической природе системы центрально-арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении // Геотектоника. 2004. № 6. – С. 33–48.

7. *Косыко М.К., Соболев Н.Н., Кораго Е.А.* и др. Геология Новосибирских островов – основа интерпретации геофизических данных по Восточно-Арктическому шельфу России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 2. – С. 1–36.

8. *Морозов А.Ф., Петров О.В., Шокальский С.П.* и др. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Регион. геология и металлогения. 2013. № 53. – С. 34–55.

9. *Петровская Н.А., Савишкина М.А.* Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 3. – С. 1–26.

10. *Петровская Н.А., Тришкина С.В., Савишкина М.А.* Основные черты геологического строения российского сектора Чукотского моря // Геология нефти и газа. 2008. № 6. – С. 20–28.

11. *Рекант П.В., Петров О.В., Кашубин С.Н.* и др. История формирования осадочного чехла глубоководной части Арктического бассейна по данным сейсмических исследований МОВ ОГТ // Регион. геология и металлогения. 2015. № 64. – С. 11–27.

12. *Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B.J.* et al. The nature of acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean // Tectonophysics. 2012. Vol. 514. – P. 123–145.

13. *Daragan-Sushchova L., Grinko L., Petrovskaya N., Daragan-Sushchov Yu.* On the problem of stratigraphic assignment of the key seismic horizons on the East-Arctic Shelf and in the area of Central Arctic uplifts // Amer. J. of Geosci. 2015. Vol. 5(1). – P. 1–11.

14. *Drachev S.S.* Fold belts and sedimentary basins of the Eurasian Arctic // Arctos. 2016. Vol. 2. – 21 p.

15. *Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M.* Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview / Eds. by B.A. Vining, S.C. Pickering // Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers. Proceedings of the 7th Petroleum Geol. Conf., Geol. Soc. – London. Petroleum Geol. Conf. series. 2010. Vol. 7. – P. 591–619.

16. *Franke D., Hinz K.* The structural style of sedimentary basins in the shelves of the Laptev Sea and the western East Siberian Sea, Siberian Arctic // J. of Petroleum Geol. 2005. Vol. 28. – P. 269–286.

17. *Grantz A., Clark D.L., Phillips R.L., Srivastava S.* Phanerozoic Stratigraphy of Nortwind Ridge, Magnetic anomaly

lies in the Canada basin, and the geometry of rifting in the Amerasian basin, Arctic Ocean // *Geol. Soc. of Amer. Bull.* 1998. Vol. 110. No 6. – P. 801–820.

18. Gusev E., Recant P., Kaminsky V. et al. Morphology of seamounts of the Mendeleev Rise, Arctic Ocean // *Polar Res.* 2017. Vol. 36. Iss. 1. <https://doi.org/10.1080/17518369.2017.1340109>.

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

20. Jokat W., Jckrath M., O'Connor J. Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev Ridges: Constraints of the geological evolution of the Amerasia basin, Arctic Ocean // *Geophys. Res. Lett.* 40 (19). 2013. – P. 5047–5051.

21. 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.

22. Moran K., Backman J. and the IODP Expedition 302 Science Party. The Arctic Coring Expedition (ACEX) recovers a Cenozoic history of the Arctic Ocean // *Oceanography.* 2006. Vol. 19. No 4. – P. 162–167.

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

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

25. Sherwood K.W. Structure of Hanna Trough and Facies of Ellesmerian Sequence, U.S. Chukchi Shelf Alaska // *Geol. Soc. of Amer.* 2006. Vol. 38. – P. 85–85.

1. Arkticheskiy basseyn (geologiya i morfologiya) [The Arctic Basin (Geology and Morphology)]. Ed. by V.D. Kaminsky. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya. 2017. 291 p.

2. Artjushkov E.V., Chehovich P.A. Deep sedimentary basins in the water area of the Russian Arctic: the mechanisms of formation, the prospects of oil and gas, the rationale for belonging to the continental shelf. *Arktika: ehkologiya i ehkonomika.* 2015. No 2 (18), pp. 26–34. (In Russian).

3. Daragan-Sushchova L.A., Kopylova A.V. Empirical dependences of reservoir velocities on the depth of subsidence of seams from the data of borehole studies and marine seismic survey. *Geophysical methods of studying the shelf and the continental slope.* Leningrad. 1990. Pp. 28–31. (In Russian).

4. Daragan-Sushchova L.A., Petrov O.V., Sobolev N.N., Daragan-Sushhov Ju.I., Grin'ko L.R., Petrovskaja N.A. Geology and tectonics of the northeast of the Russian Arctic (according to seismic data). *Geotektonika.* 2015. No 6, pp. 3–20. (In Russian).

5. Daragan-Sushchova L.A., Sobolev N.N., Petrov E.O., Grin'ko L.R., Petrovskaja N.A., Daragan-Sushhov Ju.I. To the substantiation of the stratigraphic binding of the reference seismic horizons on the East Arctic shelf and in the region of the Central Arctic uplifts. *Region. geologiya i metallogeniya.* 2014. No 58, pp. 5–21. (In Russian).

6. Kaban'kov V.Ja., Andreeva I.A., Ivanov V.I., Petrova V.I. On the geotectonic nature of the system of Central-Arctic morphostructures and the geological significance of bottom sediments in its determination. *Geotektonika.* 2004. No 6, pp. 33–48. (In Russian).

7. Kos'ko M.K., Sobolev N.N., Korago E.A., Proskurnin V.F., Stolbov N.M. Geology of the Novosibirsk Islands – the basis for the interpretation of geophysical data on the East Arctic shelf of Russia. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika.* 2013. Vol. 8. No 2, pp. 1–36. (In Russian).

8. Morozov A.F., Petrov O.V., Shokal'skij S.P., Kashubin S.N., Kremeneckij A.A., Shkatov M.Ju., Kaminskij V.D., Gusev E.A., Griukurov G.Je., Rekant P.V., Shevchenko S.S., Sergeev S.A., Shatov V.V. New geological data, substantiating

the continental nature of the region of the Central Arctic uplifts. *Region. geologiya i metallogeniya.* 2013. No 53, pp. 34–55. (In Russian).

9. Petrovskaja N.A., Savishkina M.A. Comparison of seismic complexes and major disagreements in the sedimentary cover of the shelf of the Eastern Arctic. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika.* 2014. Vol. 9. No 3, pp. 1–26. (In Russian).

10. Petrovskaja N.A., Trishkina S.V., Savishkina M.A. Main features of the geological structure of the Russian sector of the Chukchi Sea. *Geologija nefti i gaza.* 2008. No 6, pp. 20–28. (In Russian).

11. Rekant P.V., Petrov O.V., Kashubin S.N., Rybalka A.V., Vinokurov I.Ju., Gusev E.A. History of the formation of the sedimentary cover of the deep-water part of the Arctic basin according to the seismic survey data of the OGT MW. *Region. geologiya i metallogeniya.* 2015. No 64, pp. 11–27. (In Russian).

12. Bruvoll, V., Kristoffersen, Y., Coakley, B.J., Hopper, J.R., Planke, S., Kandilarov, A. 2012: The nature of acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean. *Tectonophysics, vol. 514.* 123–145.

13. Daragan-Sushchova, L., Grinko, L., Petrovskaya, N. and Daragan-Sushchov, Yu. 2015: On the problem of stratigraphic assignment of the key seismic horizons on the East-Arctic Shelf and in the area of Central Arctic uplifts. *Amer. J. of Geosci. Vol. 5(1).* 1–11.

14. Drachev, S.S. 2016: Fold belts and sedimentary basins of the Eurasian Arctic. *Arctos, vol. 2.* 21.

15. Drachev, S.S., Malyshev, N.A., Nikishin, A.M. 2010: Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview. In Vining, B.A., Pickering, S.C. (eds.): *Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers. Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference, Geological Society, London, Petroleum Geology Conference series. Vol. 7.* 591–619.

16. Franke, D., Hinz, K. 2005: The structural style of sedimentary basins in the shelves of the Laptev Sea and the western East Siberian Sea, Siberian Arctic. *J. of Petroleum Geol., vol. 28.* 269–286.

17. Grantz, A., Clark, D.L., Phillips, R.L., Srivastava, S. 1998: Phanerozoic Stratigraphy of Northwind Ridge, Magnetic anomalies in the Canada basin, and the geometry of rifting in the Amerasian basin, Arctic Ocean. *Geol. Soc. of Amer. Bull., vol. 110.* 6. 801–820.

18. Gusev, E., Recant, P., Kaminsky, V., Krylov, A., Morosov, A., Shokalsky, S., Kashubin, S. 2017: Morphology of seamounts of the Mendeleev Rise, Arctic Ocean. *Polar Research, vol. 36. Iss. 1.* <https://doi.org/10.1080/17518369.2017.1340109>.

19. Hegewald, A., Jokat, W. 2013: Tectonic and sedimentary structures in the northern Chukchi region, Arctic Ocean. *J. of Geophys. Res. Solid Earth, vol. 118.* 3285–3296.

20. Jokat, W., Jckrath, M., O'Connor, J. 2013: Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev Ridges: Constraints of the geological evolution of the Amerasia basin, Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters* 40 (19). 5047–5051.

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

22. Moran, K., Backman, J. and IODP Expedition 302 Science Party. 2006: The Arctic Coring Exped. (ACEX) Recovers A Cenozoic History of the Arctic Ocean. *Oceanography, vol. 19.* 4. 162–167.

23. Nikishin, A.M., Petrov, E.I., Malyshev, N.A., Ershova, V.P. 2017: Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics. *Geodynamics & tectonophysics, vol. 8.* Iss. 1. 11–43.

24. Pease, V., Drachev, S., Stephenson, R., Zhang, X. 2014: Arctic lithosphere – An overview. *Tectonophysics, vol. 628.* 1–25.

25. Sherwood, K.W. 2006: Structure of Hanna Trough and Facies of Ellesmerian Sequence, U.S. Chukchi Shelf Alaska. *Geol. Soc. of Amer., vol. 38.* 85–85.

Дараган-Суццова Лидия Анатольевна – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <LDaragan@vsegei.ru>
Петров Олег Владимирович – доктор геол.-минер. наук, доктор экон. наук, ген. директор, ВСЕГЕИ¹.
<OPetrov@vsegei.ru>

Соболев Николай Николаевич – канд. геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ¹. <Nikolay_Sobolev@vsegei.ru>

Дараган-Суццов Юрий Иосифович – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга. Английский пр., 1, Санкт-Петербург, 190121, Россия. <ydarag@vniio.nw.ru>

Попова Ирина Валерьевна – инженер, ВСЕГЕИ¹. <Irina_Popova@vsegei.ru>

Daragan-Sushchova Lidia Anatol'evna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Lead Researcher, VSEGEI¹. <LDaragan@vsegei.ru>

Petrov Oleg Vladimirovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Doctor of Economic Sciences, Director General, VSEGEI¹. <OPetrov@vsegei.ru>

Sobolev Nicolay Nicolaevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, VSEGEI¹. <Nikolay_Sobolev@vsegei.ru>

Daragan-Sushchov Yuriy Iosifovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Lead Researcher, The All-Russia Scientific Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after academician I.S. Gramberg. 1 Angliskiy Avenue, St. Petersburg, 190121, Russia. <ydarag@vniio.nw.ru>

Popova Irina Valer'evna – engineer, VSEGEI¹. <Irina_Popova@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.