

Статья принята в печать и будет опубликована в журнале:  
«Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле»



**Новые данные о строении четвертичного покрова  
Кандалакшского залива Белого моря по материалам  
высокоразрешающего сейсмического профилирования**

*Рыбалко Александр Евменьевич, Токарев Михаил Юрьевич,  
Рябчук Дарья Владимировна, Кудинов Артем Александрович, Терехина Яна Евгеньевна,  
Алешин Михаил Игоревич, Беляев Павел Юрьевич, Хлебникова Оксана Александровна,  
Бабушкина Ксения Владимировна, Аксенов Алексей Олегович*

DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.108>

Дата получения рукописи: 21.05.2024

Дата принятия рукописи в печать: 27.12.2024

**Для цитирования:** Рыбалко А. Е., Токарев М. Ю., Рябчук Д. В., Кудинов А. А., Терехина Я. Е., Алешин М. И., Беляев П. Ю., Хлебникова О. А., Бабушкина К. В., Аксенов А. О. (2025) Новые данные о строении четвертичного покрова Кандалакшского залива Белого моря по материалам высокоразрешающего сейсмического профилирования. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 70 (1).

<https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.108>

Это неотредактированный файл принятой к публикации рукописи. До публикации в окончательном виде она будет подвергнута редактированию и верстке. Обратите внимание, что во время производственного процесса могут быть выявлены ошибки, влияющие на содержание. К данной рукописи применяются все правовые оговорки, относящиеся к журналу.

1 УДК 551.462+268.34

2  
3 **Новые данные о строении четвертичного покрова Кандалакшского залива Белого**  
4 **морья по материалам высокоразрешающего сейсмического профилирования<sup>1</sup>**

5  
6 *Рыбалко А.Е.<sup>1,2,3</sup>, Токарев М.Ю.<sup>4</sup>, Рябчук Д.В.<sup>5</sup>, Кудинов А.А.<sup>1</sup>, Терехина Я.Е.<sup>4</sup>, Алешин*  
7 *М.И.<sup>6,7,8</sup>, Беляев П.Ю.<sup>2</sup>, Хлебникова О.А.<sup>4</sup>, Бабушкина К.В.<sup>4</sup>, Аксенов А.О.<sup>1,5</sup>*

8  
9 <sup>1</sup>Институт наук о Земле СПбГУ, Россия, 199178, Санкт-Петербург, 10-я линия В.О., 33-35

10 <sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов  
11 Мирового океана им. акад., И.С. Грамберга, Россия, 190121, Санкт-Петербург, Английский  
12 пр., 1

13 <sup>3</sup>ООО «Морской центр», Россия, 119607, Москва, Раменский б-р, 1

14 <sup>4</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва,  
15 ул. Холмогорова, 1

16 <sup>5</sup>Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского, Россия, 199106, Санкт-  
17 Петербург, Средний пр., 74

18 <sup>6</sup>ООО «Сплит», Россия, 198504, Москва, Университетский проспект, 13, стр. 16

19 <sup>7</sup>Институт Физики Земли РАН, Россия, 123242, Москва, Б. Грузинская ул., 10 стр. 1

20 <sup>8</sup>Институт океанологии РАН, Россия, 117218, Москва, Нахимовский пр., 36

21  
22 Рыбалко Александр Евменьевич – [alek-rybalko@yandex.ru](mailto:alek-rybalko@yandex.ru), ORCID: 0000-0002-2871-5177

23 Токарев Михаил Юрьевич – [mjtokarev@gmail.com](mailto:mjtokarev@gmail.com), ORCID: 0000-0001-8630-6083

24 Рябчук Дарья Владимировна – [daria\\_ryabchuk@karpinskyinstitute.ru](mailto:daria_ryabchuk@karpinskyinstitute.ru), ORCID: 0000-0003-2266-  
25 8688

26 Кудинов Артем Александрович – [artem.kudinov@gmail.com](mailto:artem.kudinov@gmail.com), ORCID: 0009-0006-6727-8586

27 Терехина Яна Евгеньевна – [yana.msu@gmail.com](mailto:yana.msu@gmail.com), ORCID: 0000-0003-3739-7657

28 Алешин Михаил Игоревич. – [mikhail.aleshin@split-k.com](mailto:mikhail.aleshin@split-k.com), ORCID: 0000-0001-9383-4730

29 Беляев Павел Юрьевич. – [borat78@yandex.com](mailto:borat78@yandex.com), ORCID: 0000-0003-0907-7461

30 Хлебникова Оксана Александровна. – [oxana.khlebnikova@gmail.com](mailto:oxana.khlebnikova@gmail.com), ORCID: 0000-0001-  
31 5905-2903

---

<sup>1</sup> Все проведенные исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 22-17-00081). Авторы также благодарят коллег из научной компании «Сплит» и ЦМИ МГУ им. М.В. Ломоносова, с которыми они долгое время проводят совместные исследования геологического строения Кандалакшского залива. И наша благодарность ББС МГУ, предоставившей судно для наших исследований и на базе которой были проведены эти работы.

32 Бабушкина Ксения Владимировна – ksen.msu@gmail.com  
33 Аксенов Алексей.Олегович – [a.aksenov@spbu.ru](mailto:a.aksenov@spbu.ru), ORCID: 0000-0002-4950-4571  
34  
35 Рыбалко Александр Евменьевич  
36 E-mail: [alek-rybalko@yandex.ru](mailto:alek-rybalko@yandex.ru)  
37 Адрес: ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Английский пр., д.1  
38

### 39 **Аннотация**

40 В статье рассмотрены особенности строения зоны перехода от глубоководной к  
41 мелководной части Кандалакшского залива Белого моря, которая представлена грядой  
42 гетерогенного (структурного, ледникового и ледниково-водного) происхождения. Она  
43 разделяет глубоководную часть рифейского грабена и узкую мелководную верхнюю части  
44 Кандалакшского залива. Статья основана на новых данных, полученных с помощью  
45 непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП). Использовались  
46 многоканальные высокочастотные модификации сейсмической аппаратуры. Подробно  
47 рассмотрены и проинтерпретированы несколько сейсмопрофилей вдоль подножия склона  
48 и вкрест его простираия. Это позволило провести более детальное  
49 сеймостратиграфическое расчленение толщ надледниковых (ледниково-озерных и  
50 ледниково-морских) и морских нефелоидных отложений. В частности, в толще слоистых  
51 надледниковых осадков было выделено три горизонта по текстурным особенностям, Они  
52 отражают эволюцию первичных ледниково-озерных в ледниково-морские. Выделяются  
53 мощные конусы вынос в верхней части гряды. Эти конусы выноса интрагляциальных вод,  
54 во многом сформировали рельеф изученной гряды. Эти и другие полученные данные  
55 позволяют ставить вопрос о превращении в определенной период времени в рамках  
56 процесса деградации Скандинавского ледника континентального ледника в шельфовый.

57 Показано широкое развитие современных геодинамических движений, существенно  
58 влияющих на характер донного рельефа и сопутствующих им гравитационных процессов.  
59 С этими движениями связан ступенчатый рельеф, чередование локальных бассейнов  
60 голоценовой нефелоидной аккумуляции, разделенных относительно крутыми склонами,  
61 практически лишенных рыхлых осадков. Сеймотектонические явления явились триггером  
62 для гравитационных процессов, также хорошо выделяющихся на сейсмограммах.

63 Полученные материалы позволяют существенно детализировать  
64 палеогеографические условия в позднем неоплейстоцене-голоцене, в частности, более  
65 полно охарактеризовать этап смены ледникового этапа развития ледниково-морским и  
66 морским.

67

68 **Ключевые слова:** Белое море, Кандалакшский залив, сейсмоакустическое  
69 профилирование, ледниковые, ледниково-озерные и ледниково-морские отложения,  
70 современные геодинамические движения, гравитационные процессы

71

## 72 **1. Введение и постановка проблемы**

73 Изучение четвертичных отложений внутренних морей (Балтийское и Белое) и  
74 крупных озер (Ладожское и Онежское) по восточной периферии Балтийского  
75 кристаллического щита играет важную роль для восстановления палеогеографических  
76 условий в позднем неоплейстоцене-голоцене. Особую роль играют геофизические, в  
77 частности, сейсмоакустические методы, которые позволяют оценить мощность всего  
78 рыхлого покрова и провести его стратификацию. Учитывая высокую степень изученности  
79 четвертичных отложений Белого моря (Балуев и др., 2012; Рыбалко, Журавлев и др., 2017;  
80 Рыбалко и др., 2011; Старовойтов и др., 2022), сеймостратиграфическое расчленение  
81 четвертичного покрова позволяет переходить непосредственно к выделению геологических  
82 горизонтов различного ранга, что, в свою очередь, существенно уточняет особенности  
83 палеогеографического развития беломорского бассейна с момента деградации  
84 Скандинавского ледника до наших дней.

85 Белое море можно считать одной из двух колыбелей отечественной сейсмоакустики,  
86 которая зародилась в МГУ им. М.В. Ломоносова. Первые сейсмоакустические работы  
87 проводились на Черном море. В Белом море эти работы начали выполняться в 1972 году в  
88 рамках опытно-методических и опытно-производственных геологосъемочных работ  
89 среднего масштаба (ВСЕГЕИ), где за геофизический блок исследований отвечала  
90 Лаборатория сейсмометрии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под  
91 руководством А.В. Калинина (Рыбалко и др., 2022). Впервые был охарактеризован разрез  
92 четвертичных отложений в Кандалакшском заливе. В нем были выделены моренные,  
93 надледниковые (ледниково-морские и ледниково-озерные) и морские нефелоидные  
94 отложения (Алявдин и др., 2017; Девдариани, 1985; Старовойтов и др., 2022). Также  
95 впервые были получены сведения как о Кандалакшском верхнепротерозойском грабене  
96 (авлакогене), заполненном терригенными отложениями рифейского возраста, так и о  
97 неотектонических движениях, нарушающих структуру чехла четвертичных отложений  
98 (Девдариани, 1985; Рыбалко и др., 2020; Спиридонов и др., 1980). Сейсмоакустические  
99 методы легли в основу Государственных геологических карт (листы Q-36,37,38) масштаба  
100 1: 000 000 (ГС-1000), изданных в 2012г. (Астафьев и др., 2012а; Астафьев и др., 2012б).

101 Таким образом, в XX веке были сформулированы основные черты строения рыхлого  
102 покрова Белого моря (в том числе Кандалакшского залива), которые и использовались в  
103 большинстве опубликованных работ (Рыбалко и др., 2011; Rybalko et al., 2018). В начале  
104 XXI века в Кандалакшском заливе на базе ББС (Беломорской биологической станции МГУ  
105 им. М.В.Ломоносова), сформировался центр по внедрению новых технологий в  
106 сейсмоакустическое профилирование. Применение современных систем сейсмического  
107 профилирования с использованием разночастотных источников и многоканальных кос для  
108 изучения четвертичных отложений позволило существенно расширить представления о  
109 строении рыхлого покрова Белого моря. Большие успехи были достигнуты в более детальном  
110 расчленении толщи надледниковых ленточнослоистых отложений с разделением их на  
111 ледниково-озерные и ледниково-морские образования, выделении в основании толщи  
112 морских нефелоидов голоценового возраста горизонта пребореал-бореального времени,  
113 когда происходила смена приледникового ледниково-морского режима морским.

114 Работы в проливе Великая Салма показали огромную роль гравитационных  
115 процессов в формировании рыхлых отложений. Одним из наиболее значимых выводов из  
116 появившихся новых данных является широкое развитие геодинамических (молодых  
117 неотектонических) движений, которые существенным образом влияли на распределение  
118 донных отложений четвертичного возраста по дну Белого моря (Рыбалко и др., 2011, 2017;  
119 Шварев, Никонов, 2018). При этом была прослежена тесная связь между сейсмогенными и  
120 гравитационными формами рельефа, для которых современные геодинамические явления  
121 играют роль триггера для начала гравитационного перемещения осадочного материала.

122 На примере Кандалакшского залива Белого моря показаны особенности строения  
123 верхней части четвертичного разреза с использованием новых технологий  
124 сейсмоакустических методов (в том числе, ультравысокоразрешающих модификаций) и  
125 особенностей обработки полученных данных, а также роль современных геодинамических  
126 и тесно связанных с ним гравитационных процессов в формировании четвертичных  
127 отложений.

## 129 2. Материалы и методы исследований

130 В работе использованы материалы геофизических съемок, выполненных в период с  
131 2021 по 2023 гг. В 2022г. научной компанией ООО «Сплит» (Москва) по заказу ФБГУ  
132 ВСЕГЕИ и ФГБУ «ВНИИОкеангеология» было проведено сейсмоакустическое  
133 профилирование в районе гряды Средние Луды (рис. 1,2). Всего было пройдено более 800  
134 пог. км сейсмоакустических профилей.

135 Все геофизические работы выполнялись с борта НИС «Профессор Зенкевич»,  
136 принадлежащего ББС МГУ им. М.В. Ломоносова. Средняя скорость движения судна во  
137 время выполнения НСП составляла 4 узла.

138 За один проход судна выполнялся комплекс геофизических методов: гидролокация  
139 бокового обзора (ГЛБО); сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР).

140 Для навигационного обеспечения был использован навигационный комплекс на  
141 основе u-blox ZED-F9P. Все работы проводились в системе координат WGS-84.

142 Целью проведения работ методом ССВР являлось изучение верхней части разреза  
143 отложений на глубину до 100 м от поверхности дна с разрешающей способностью до 0,5-2  
144 м. Для этого были использованы следующие устройства: многоканальная сейсмокода  
145 SplitMultiSeisStreamer 16 Chan (количество каналов – 16, шаг между каналами – 2м,  
146 частотный диапазон – 60-4000 Гц; сеймостанция SMSbeta 14/16 (количество каналов -16,  
147 разрядность АЦП – 14, частотный диапазон – от 1 до 64 000Гц, напряжение питания – 110-  
148 250В (50/60Гц), формат записи - SEG-Y, SEG-D); сейсмический накопитель энергии  
149 SplitMultiSeisSource 2500-2500 HP (накапливаемая энергия – 300-2500 Дж, потребляемая  
150 мощность – 5 кВт, тип разрядника – теристорный); блок синхронизации  
151 SplitMultiSeisSyncroBox 5.0 – 2 шт.

152 Сбор данных осуществлялся в программном пакете SborEx, позволяющем оператору  
153 производить визуальный контроль качества данных непосредственно в процессе съемки  
154 (целостность записи, форму импульса, спектральные характеристики шума и сигнала).  
155 Обработка данных выполнялась в программном продукте SeisPro 2023.2, разработанным  
156 компанией ООО “Деко-геофизика СК”. Для удобства и более детального анализа  
157 сейсмограмм длинные профили разбивались на ряд отрезков.

158

### 159 **3. Результаты работ**

160 Белое море представляет собой внутриплитную морфоструктуру, расположенную на  
161 границе Балтийского (Фенноскандинавского) кристаллического щита и Русской плиты. В  
162 значительной мере контур современного морского бассейна Беломорской депрессии  
163 наследует структурный план рифейской системы. Северо-западная часть Кандалакшского  
164 залива практически пространственно совпадает с рифейским грабеном-авлакогеном и  
165 является наиболее глубоководной частью Белого моря. Она протягивается до скальной,  
166 поперечной по отношению к простиранию залива, гряды Средних Луд, которая, по мнению  
167 А.С. Балужева, разделяет его на (Балуев и др., 2012):

168 – одноименный Кандалакшский грабен (на юго-востоке залива), который  
169 унаследовал древний рифейский прогиб позднепротерозойского палеорифта и  
170 активизированный (воссозданный) в неоплейстоцене до наступления валдайского ледника;

171 – Колвицкий грабен (Кандалуха), который является зоной развития современного  
172 рифта, развитие которого направлено на северо-запад.

173 В зоне гряды происходит перенос напряжений растяжения с юго-западного борта  
174 (южная часть рифтовой зоны) на северо-восточный борт (северная часть рифтовой зоны),  
175 где и расположена узкая прерывистая наиболее глубоководная ложбина, протягивающуюся  
176 вдоль Кольского берега (Балуев и др., 2012):

177 Характер залегания четвертичных отложений и особенности рельефа  
178 глубоководного Кандалакшского грабена представлены на профиле 1, пройденном в 2022  
179 г. и расположенном у подножия гряды (рис.2).

180 Южный склон имеет отчетливый ступенчатый характер и обусловлен, по нашему  
181 мнению, тектоническими причинами (серией сбросов). Разрез четвертичных отложений на  
182 каждой из ступеней близок к классическому: ледниковые (моренные) (1), ледниково-  
183 морские слоистые (2) и морские нефелоидные отложения (3). При этом, обращает на себя  
184 внимание значительная мощность ледниково-морских отложений, особенно в верхней  
185 части склона, напротив пикета 1251, где отчетливо прослеживаются 2 горизонта в ее  
186 строении: верхний слоистый и нижний полупрозрачный (рис.3).

187 Здесь же фиксируются гравитационные формы (показаны красной стрелкой). Судя  
188 по всему, изогнуты в результате гравитационных процессов и слоистые глины на второй  
189 гравитационной ступени (пикет 2501, рис.3). Таким образом, можно фиксировать, что  
190 южный склон имеет структурно-денудационное происхождение, осложненное  
191 гравитационными процессами. Его подножие фиксируется на глубинах порядка 210-215 м.  
192 Далее от склона до середины залива располагается морская нефелоидная аккумулятивная  
193 равнина голоценового возраста. В основании ее лежат моренные отложения с характерной  
194 “хаотической” записью. Однако они не формируют сплошного покрова, как представлялось  
195 ранее, а имеют “островное” распространение. Мощность их достигает местами 10 и более  
196 метров. Такое распределение указывает, что в момент движения ледника днище желоба  
197 представляло собой преимущественно зону экзарации и лишь местами происходило  
198 отложение моренного материала. Зонами накопления этих образований были борта  
199 ложбины и их подножие.

200 Обращает на себя внимание большая мощность толщи слоистых отложений,  
201 особенно в прибортовой части ложбины. На сейсмограммах иногда отчетливо  
202 просматривается трехчленное строение этих толщ, что позволяет выделять в основании

203 ледниково-озерные отложения, которые перекрыты сложно построенной толщей  
204 ледниково-морских. Возраст их по ранее полученным биостратиграфическим данным  
205 укладывается в верхний неоплейстоцен (Алявдин и др., 1977; Джиноридзе и др., 1979;  
206 Рыбалко и др., 2011).

207 Голоценовые нефелоидные отложения в виде достаточно равномерного по  
208 мощности слоя (5-8м), облекающего доголоценовую поверхность, представлены абсолютно  
209 прозрачным горизонтом (рис.3).

210 В средней части глубоководного желоба выделяется структурный выступ,  
211 протягивающийся до подножия Кольского берега с относительным превышением до 75-  
212 80м (рис. 4). Структурное происхождение этого поднятия подчеркивается ступенчатым  
213 характером рельефа, а смещение слоев по простиранию характерно даже для горизонта  
214 голоценовых морских отложений. Характерно, что на приподнятой части донной  
215 поверхности практически исчезает слой горизонтально слоистых осадков (ледниково-  
216 водных), хотя перед уступом четко прорисовывается локальная ванна, где их мощность  
217 превышает 30м т.е. это зона интенсивного приледникового осадконакопления. Вероятно,  
218 это поднятие существовало до начала наступления ледника, служило преимущественно  
219 зоной экзарации и последующего накопления (при таянии ледника) моренного материала,  
220 а в прилежащей глубоководной части существовал приледниковый локальный бассейн, где  
221 последовательно накапливались ледниково-озерные и ледниково-морские осадки.

222 Описанная поверхность с отметками 150-180м протягивается вплоть до подножия  
223 Кольского берега, после чего начинает полого воздыматься в северном направлении (рис.5).  
224 По морфологии она резко отличается от южного склона, здесь практически отсутствуют  
225 проявления тектоники. В геологическом отношении склон характеризуется классическим  
226 для данного района разрезом четвертичных образований (морена-надледниковые  
227 отложения), однако, на его протяжении соотношение горизонтов меняется. На глубинах  
228 более 200м развита аккумулятивная субгоризонтальная аккумулятивная равнина со  
229 стандартным разрезом: ледниковые – ледниково-морские – морские отложения (gIIIost –  
230 mgIII – mH). На глубинах 70-200 м склон абразионно-аккумулятивный, причем до глубин  
231 100-120 м он более крутой и характеризуется классическим разрезом от ледниковых  
232 отложений до морских нефелоидов. Мощность рыхлого покрова – 30-50 м, он подстилается  
233 рифейскими песчаниками верхнего протерозоя. Далее, вверх по склону происходит его  
234 выполаживание. Мощность рыхлых осадков увеличивается до 40-70м. При этом, по  
235 геофизическим данным, они представлены прерывистым покровом морены и мощной  
236 толщей слоистых осадков, в которой, вероятно, ледниково-озерные осадки сменяются  
237 ледниково-морскими. Горизонт нефелоидных отложений выклинивается или становится

238 очень маломощным. (т.е. мощность его составляет менее 5м), а на поверхности развиты  
239 преимущественно ледниково-морские глины. С отметок 40-50м крутизна склона резко  
240 возрастает, и он становится структурно-денудационным (в основании разреза залегают  
241 кристаллические породы). Они прикрыты маломощным покровом морены, а в локальных  
242 впадинах в межгрядовых пространствах исключительно размытыми с поверхности  
243 ледниково-морскими отложениями. Мощность покрова рыхлых отложений снижается до 8-  
244 10м и менее.

245 Параллельный поперечный профиль (профиль 3, линия 2, рис.2) проходит в нижней  
246 части склона на глубинах 50-90м и характеризуется чередованием приподнятых участков  
247 морского дна, лишенных покрова морских голоценовых осадков, и протяженных впадин,  
248 выполненных относительно мощным (до 5 и более метров), прерывистым горизонтом  
249 слоистых осадков. Моренные отложения иногда отсутствуют и надледниковые осадки  
250 практически залегают на поверхности кристаллического фундамента.

251 Наибольшую информацию о строении гряды дают профили, пройденные вкрест  
252 гряды (профили 5, линия 4 и 7, линия 6, рис.2). Так профиль 5, идущий вдоль южного берега  
253 Кандалакшского залива (рис.6), в его северо-западной части, представляет типичную  
254 структурно-денудационную поверхность, развитую на кристаллическом субстрате.  
255 Глубины здесь составляют 15-40м, дно неровное в понижениях кристаллического  
256 фундамента фиксируются скопления моренного материала, иногда слегка прикрытого  
257 тонким слоем надледниковых осадков.

258 Далее, на юго-восток, начиная с пикета 2751, начинается крутой склон до глубин  
259 130-140м. На бровке отмечается моренный вал мощностью до 30м. Склон покрыт  
260 гравитационными осадками, в верхней части – четкими оползнями. Ниже они  
261 предположительно переходят в зону оплывания (слампинг).

262 Между пикетами 4001 – 4751 располагается узкая ложбина, являющаяся  
263 продолжением депрессии входа в губу Бабье море из Кандалакшского залив и, имеющая,  
264 вероятно, структурное происхождение. Дно ложбины выстлано маломощными моренными  
265 отложениями, которые перекрыты достаточно мощной (более 30м) толщей ледниково-  
266 озерных и ледниково-морских осадков. Морские нефелоиды установлены только в  
267 центральной части ложбины. По обоим краям ложбины они, вероятно, уничтожены (или не  
268 отлагались) в результате эрозионных процессов.

269 Далее профиль проходит к северо-востоку от о-ва Наумиха. Сам остров представлен  
270 кристаллическими породами, но вот поднятие вокруг этого острова до пикета 7251,  
271 (вершина на глубине 30м) представляет наибольший интерес (рис.6). Оно полностью  
272 сложено толщей слоистых пород. Первоначально, было высказано предположение, что это

273 гляциоотторженец рифейских пород. Однако, возникает вопрос, откуда он принесен, т.к. в  
274 Губе Кандалуха, откуда и шел ледник, этих пород нет. Видимо, это очень мощный конус  
275 выноса, о чем говорят текстурные особенности этой толщи, причем снос шел в юго-  
276 восточном направлении. Мощность данной толщи более 100-120м. Далее вниз следует  
277 тектонический склон и конус выноса вырождается. Особенности внутреннего строения  
278 гряды детально показаны на рис.7. Возможно, это отложения мощного  
279 флювиогляциального потока.

280 Сама гряда расположена на склоне о-ва Великий и можно предполагать, что конус  
281 вынос этого потока был повернут на восток, в сторону максимальных глубин, а сам поток,  
282 который возник, вероятно, при длительной остановке ледника, шел со стороны  
283 современного Бабьего моря.

284 Юго-восточный склон описываемой гряды осложнен гравитационными процессами,  
285 преимущественно формами оплывания. Ниже следует ступенчатый, структурно  
286 предопределенный склон до глубин 220м с отчетливыми ступенями на уровнях 150м и 170-  
287 180м (рис.6). Характер залегания четвертичных отложений здесь очень сложный.  
288 Локальные моренные гряды мощностью до 10-15м чередуются с локальными депрессиями,  
289 заполненными надледниковыми отложениями, причем на 150-метровом уровне  
290 преобладают ледниково-озерные и ледниково-морские осадки, а на более низких отметках  
291 развит преимущественно покров морских нефелоидов голоценового возраста.

292 Далее, напротив входа в пролив Великая Салма, развита морская ступенчатая  
293 нефелоидная аккумулятивная равнина (рис.6). Ступенчатость здесь вызвана в основном  
294 грядовым залеганием моренных отложений. Постепенное воздымание поверхности дна на  
295 юго-восток обусловлено неотектоническими движениями.

296 Профиль 7 (линия 6), секущий гряду по осевой зоне Кандалакшского залива к северу  
297 от о-вов Средние Луды (острова сложены кристаллическими породами), начинается на  
298 северо-западе от берегов Кольского полуострова и пересекает наиболее глубоководную  
299 часть узкой ложбины, идущей вдоль его южного побережья, которая, по мнению А.С.  
300 Балуева, и представляет зародыш современного рифта (Балуев и др., 2012). Однако на  
301 сейсмограмме здесь выделяется аккумулятивно-денудационная поверхность, что не очень  
302 согласуется с этим мнением. Далее на юго-восток расположена скальная гряда с  
303 отчетливым грядовым рельефом, у подножия которой располагается узкая ложбина,  
304 отделяющая ее от гряды островов Средние Луды (рис. 8).

305 Глубина дна здесь достигает 180м (что, кстати, отсутствует на навигационной карте)  
306 и она выполнена толщей слоистых отложений, мощность которых превышает 60м.  
307 Вероятно, здесь происходила интенсивная аккумуляция обломочного материала,

308 поступающая из-под ледника. Крутой ступенчато-грядовый характер северного склона не  
309 оставляет сомнений, что эта ложбина имеет тектоническое происхождение, а  
310 формирование ее возможно происходило в позднем неоплейстоцене. Ледник практически  
311 не моделировал эту форму рельефа. Далее эта ложбина прослеживается на юго-восток и,  
312 возможно, является морфологическим выражением молодого рифта (Балуев и др., 2012).

313 Далее следует новая двухвершинная гряда, которая развита в непосредственной  
314 близости от островов Средние Луды. Состав и, соответственно, генезис этой гряды по  
315 данным сейсмоакустического профилирования нельзя интерпретировать однозначно. С  
316 одной стороны, эти гряды узкие и их морфология, отсутствие сейсмической записи  
317 непосредственно под поверхностью дна позволяет сопоставлять их со структурной грядой,  
318 расположенной до тектоногенной ложбины. С другой стороны, при детальной  
319 интерпретации и сильно растянутой записи достаточно отчетливо видно, что верхняя часть  
320 гряды сложена практически прозрачными осадками, которые отделяются от нижележащих  
321 скрытослоистых осадков достаточно четко выраженным отражающим горизонтом (рис.9).  
322 При этом мощность рыхлого чехла здесь достигает более 100м. Ниже по склону (с отметок  
323 минус 180м), прямо перед фронтом гряд, развита аккумулятивная равнина с мощной  
324 толщей ледниково-озерных и ледниково-морских отложений мощностью более 40м и, судя  
325 по отражающим рефлексам, формировавшаяся в несколько циклов седиментации.  
326 Начиная с глубин 190 м, толща слоистых отложений перекрыта устойчивым покровом  
327 морских нефелоидов голоценового возраста мощностью 5-10м. Далее на юго-восток склон  
328 достигает глубин 220-230м и на поверхности морского дна развита субгоризонтальная  
329 морская аккумулятивная равнина голоценового возраста.

330

#### 331 **4. Обсуждение результатов**

332 Использование современных геофизических (сейсмоакустических) технологий  
333 позволило существенно расширить знания о строении четвертичного покрова в  
334 относительно хорошо изученном районе Белого моря. Изучение гряды Средних луд в  
335 Кандалакшском заливе показало, что само строение чехла рыхлых отложений носит  
336 гораздо более сложный характер, чем это представлялось по данным, полученным ранее во  
337 второй половине XX века. Применение высокочастотных методов свидетельствует, что как  
338 накопление толщи слоистых осадков, так и перекрывающих их морских нефелоидов  
339 происходило с перерывами в течение 2-3 циклов. Это подтвердило данные  
340 палинологических исследований донных трубок о наличии перерывов в осадконакоплении  
341 во внешне однородной толще осадков (Спиридонов и др., 1980). Что касается толщи  
342 слоистых осадков, то указанные циклы, вероятно, отражают переформатирование

343 характера осадконакопления с первично ледниково-озерного в ледниково-морское. Это  
344 позволяет возвратиться к данным Р.Н. Джиноридзе, о том, что подобный переход в северо-  
345 западной части Белого моря произошел в конце аллерёда. (Джиноридзе и др., 1979). При  
346 этом, если накопление слоистых осадков в глубоководной части Кандалакшского залива  
347 носило площадной характер, в результате чего мощность накапливаемой толщи была  
348 достаточно однородной и не превышала 10м, то непосредственно вблизи гряд или в  
349 восточной части губы Кандалуха (узкой кутовой части залива) оно носило явно очаговый  
350 характер и скорости осадконакопления, судя по мощности и интервалу времени накопления  
351 (поздний неоплейстоцен), носило “ураганный” характер. Мощности отложений в ряде  
352 случаев превышали 50-60м, а накопление их, вероятно, происходило еще в более короткие  
353 интервалы времени.

354 Еще одним из интересных новых фактов оказалось, что ледниковые отложения,  
355 интерпретируемые как донная или основная морена (Старовойтов и др., 2022), формируют  
356 прерывистый покров и в ряде случаев полностью отсутствуют. Кроме того, что очень  
357 важно, иногда они фациально замещаются толщей, где на сейсмограммах отчетливо  
358 выражены отражающие рефлекторы, а иногда видно что-то подобное слоистости. По-  
359 видимому, это говорит о многофазном накоплении ледниковых образований на дне  
360 Кандалакшского залива, возможно даже в течении более ранних этапов неоплейстоцена, а  
361 также формировании в ряде случаев ледниковых отложений при активном участии  
362 интрагляциальных вод. При этом на северо-западном склоне гряды (профиль 7, рис.9)  
363 широко развиты моренные отложения. Возможно, именно здесь и находился фронт ледника  
364 во время одной из осцилляций.

365 Наиболее интересным оказалось детальное изучение гряды, надводным выражением  
366 которой являются острова Средние Луды, и которая отделяет глубоководную часть  
367 Кандалакшского залива от расположенной к северо-западу мелководной “Кандалухи”. Эта  
368 гряда имеет гетерогенное строение и отнюдь не представляет единый скальный выступ, как  
369 это представлялось ранее (Рыбалко и др., 2011). Хотя наличие скальных выходов  
370 кристаллического фундамента бесспорно, что подтверждается составом пород, слагающих  
371 эти острова, огромную роль играет вокруг этого поля обнажений коренных пород,  
372 скопления рыхлых осадков, накопление которых, в свою очередь, носит явно выраженный  
373 “очаговый” характер. Прежде всего, это касается установленных мощных конусов выноса,  
374 которые часто играют рельефообразующую роль и слагают гребни описываемой гряды  
375 (рис.6). Кроме того, по предварительным данным, они образуют обширное поле у подножия  
376 гряды преимущественно в ее южной половине, что указывает на движение потоков  
377 интрагляциальных вод, выносящих большие объемы так называемого “ледникового

378 молока” (разнозернистого, преимущественно, тонкозернистого материала, содержащегося  
379 в теле ледника в интрагляциальных водах) на юго-восток. Это позволяет реконструировать  
380 край ледника в верхней части уступа, после чего в стадию отступления существовал этап  
381 шельфового ледника, из-под которого и происходил вынос обломочного материала,  
382 который распределялся по площади и формировал конусы выноса (более песчанистого  
383 состава) в проксимальной части приледникового бассейна.

384 Одним из наиболее впечатляющих результатов является установление наличия  
385 тектонических вертикальных движений в позднем неоплейстоцене и раннем голоцене (?).  
386 Об этом свидетельствует ступенчатый характер юго-восточного склона гряды, что может  
387 быть следствием разницы вертикального и горизонтального масштабов сейсмограмм. На  
388 приведенных рисунках отчетливо видно смещение толщ как слоистых осадков, так и даже  
389 морских нефелоидов. Кроме того, на различных по батиметрии ступенях при разорванном  
390 характере ранее единой толщи слоистых осадков, формируются индивидуальные и  
391 различающиеся по разрезу толщи надледниковых отложений. Еще одним доказательством  
392 молодых геодинамических движений является широкое развитие на склонах различных  
393 видов проявления гравитационных процессов. Это и мелкие, достаточно четко очерченные  
394 блоковые оползни (слайдинг), и ступенчатые тела, которые уже потеряли четкость  
395 контуров и отчетливо вытянуты вдоль склона (слампинг).

396 Ранее нами было показано широкое развитие гравитационных процессов в соседнем  
397 проливе Великая Салма, отделяющей о. Великий от коренного побережья. Это позволяет  
398 считать гравитационный фактор как особый тип седиментогенеза, характерный именно для  
399 щельфа Кандалакшского залива, где его побережье до сих пор сохранило тенденцию к  
400 вертикальным восходящим движениям (Рыбалко и др., 2017, 2020).

401 В результате проведенных исследований были получены определенные  
402 доказательства в пользу развития идеи А.С Балуева о становлении в северо-западной части  
403 Кандалакшского залива современной зоны спрединга или зоны растяжения. Об этом  
404 говорит выявление узкой грабенообразной зоны, секущей частично гряды Средних Луд и  
405 протягивающуюся далее на запад.

406 Приведенные факты позволяют перейти к более детальной интерпретации  
407 палеогеографического развития региона в период смены ледникового и приледникового  
408 озерного этапа развития этой части Карело-Кольского региона и становления морского  
409 режима в Кандалакшском заливе на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена.

410

411 **5. Заключение**

412 Проведенные сейсмоакустические исследования в зоне сочленения глубоководной и  
413 мелководной (северо-западной) частей Кандалакшского залива с помощью  
414 высокочастотных многоканальных технологий позволило выявить новые, ранее  
415 неизвестные черты строения гряды, разделяющей эти части залива и сформированной в  
416 результате как проявления современных геодинамических движений, так и формирования  
417 локальной зоны отступления Скандинавского ледника, для которой характерно проявление  
418 различных фациальных обстановок ледниково-водного генезиса. Использование  
419 высокочастотных модификаций непрерывного сейсмопрофилирования позволило более  
420 детально расчленить толщи надледниковых отложений, показать их очаговое накопление.  
421 Для рассматриваемого района характерно широкое развитие разнообразных  
422 гравитационных процессов в позднем неоплейстоцене и голоцене, триггером для которых  
423 являлись геодинамические (сеймотектонические) движения. Это, в свою очередь,  
424 позволяет внести существенные дополнения в схему структурного строения  
425 Кандалакшского залива, развиваемой в настоящее время С.В. Шваревым (Шварев,  
426 Никонов, 2018). Представленные результаты при их важности, можно рассматривать как  
427 предварительные, которые необходимо дополнить результатами геологических  
428 наблюдений, проведенных также в ходе выполнения проекта РНФ.

429

#### 430 Литература

431 Алявдин Ф.А., Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова Е.А.,  
432 Эйхгорн Г.Л. (1977). Новые данные по геологии северо-западной части Белого моря.  
433 *Природа и хозяйство Севера*, (6), 30–38.

434 Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., Воинов А.С., Журавлев В.А., Ногина  
435 М.Ю., Парамонова М.С., Пешкова И.Н., Поляков А.А., Рыбалко А.Е., Солонина С.Ф.,  
436 Семенова Л.Р., Суриков С.Н., Шаров Н.В., Шкарубо С.И. (2012а) Государственная  
437 геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1000000 (третье поколение). Сер.  
438 Балтийская. Л. Q-37. Архангельск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая  
439 фабрика ВСЕГЕИ, 302.

440 Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., Воинов А.С., Горбачев Н.Р.,  
441 Журавлев В.А., Ногина М.Ю., Парамонова М.С., Проскурин Г.Ю., Рыбалко А.Е., Семенова  
442 Л.Р., Суриков С.Н., Шкарубо С.И. (2012б). Государственная геологическая карта  
443 Российской Федерации. М-б 1 : 1000000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Л. Q-(35), 36.  
444 Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 436.

445 Балувев А.С., Журавлев В. А., Терехов Е.Н., Пржиялговский Е.С. (2012). Тектоника  
446 Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к «Тектонической карте  
447 Белого моря и прилегающих территорий» масштаба 1:1500000). М.: ГЕОС, 104.

448 Девдариани Н.А.(1985). Геологическое строение Беломорской впадины: Автореф.  
449 дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 21.

450 Джиноридзе Р.Н., Калугина Л.В., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова  
451 Е.А. (1979). Стратиграфия верхнечетвертичных отложений северной части Белого моря. В:  
452 Д.Е. Гершанович под ред. *Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и*  
453 *внутренних морей*. М.: Наука, 34–39.

454 Рыбалко А.Е., Барымова А.А. Токарев М.Ю., Репкина Т.Ю. (2020). Четвертичные  
455 отложения и рельеф Кандалакшского залива: история изучения и современные данные об  
456 их формировании. *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*, 17, 465–469.  
457 <https://doi.org/10.31241/FNS>

458 Рыбалко А.Е., Журавлев В.А., Семенова Л.Р., Токарев М.Ю.(2017). Четвертичные  
459 отложения Белого моря и история развития современного Беломорского бассейна в позднем  
460 неоплейстоцене-голоцене. В: А.П. Лисицин, под ред., *Система Белого моря. Т. IV.*  
461 *Процессы осадкообразования, геология и история*. М.: Научный мир, 16–84.

462 Рыбалко А.Е., Локтев А.С., Токарев М.Ю., Росляков А.Г., Миронюк С.Г.,  
463 Корост Д.В. (2017). Подводные гравитационные процессы в шельфовых морях и их  
464 изучение при проведении инженерно-геологических изысканий.*Перспективы развития*  
465 *инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы докладов*  
466 *XIII Общероссийской конференции изыскательских организаций, Москва, 29 ноября – 01*  
467 *2017 года*. М.: Геомаркетинг, 541-543.

468 Рыбалко А.Е., Семенова Л.Р., Журавлев В.А. (2011). Четвертичные отложения  
469 Белого моря. В: А.П. Лисицин под ред., *Геология морей и океанов: Материалы XIX*  
470 *Международ. науч. конф. (Школы) по морской геологии, Т. III*. М.: ГЕОС, 256–260.

471 Рыбалко А.Е., Субетто Д.А., Репкина Т.Ю., Старовойтов А.В., Зарецкая Н.Е.,  
472 Корсакова О.П., Токарев М.Ю., Беляев П.Ю.(2022). Основные этапы изучения геологии  
473 четвертичных отложений Белого моря и дискуссионные проблемы его палеогеографии в  
474 позднем неоплейстоцене–голоцене. *Известия Российской академии наук. Серия*  
475 *географическая*, 86(6), 848–869. <https://doi.org/10.31857/S2587556622060152>

476 Спиридонов М.А., Девдариани Н.А., Калинин А.В., Кропачев Ю.П., Мануйлов С.Ф.,  
477 Рыбалко А.Е., Спиридонова Е.А. (1980). Геология Белого моря. *Советская геология*,(4), 45–  
478 55.

479 Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Замотина З.С., Терехина Я.Е. Роль ледникового и  
480 литодинамического факторов в формировании осадочного чехла пролива Великая Салма  
481 (Белое море). *Вестн. МГУ. Сер. Геологическая*, (1), 62–70. [https://doi.org/10.33623/0579-9406-](https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-1-62-70)  
482 2022-1-62-70

483 Шварев С.В., Никонов А.А. (2018). Морфотектоника бассейна Белого моря в  
484 сопоставлении с уточненными характеристиками исторических землетрясений. В:  
485 *Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история*  
486 *Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология*. М.: 174-  
487 180.

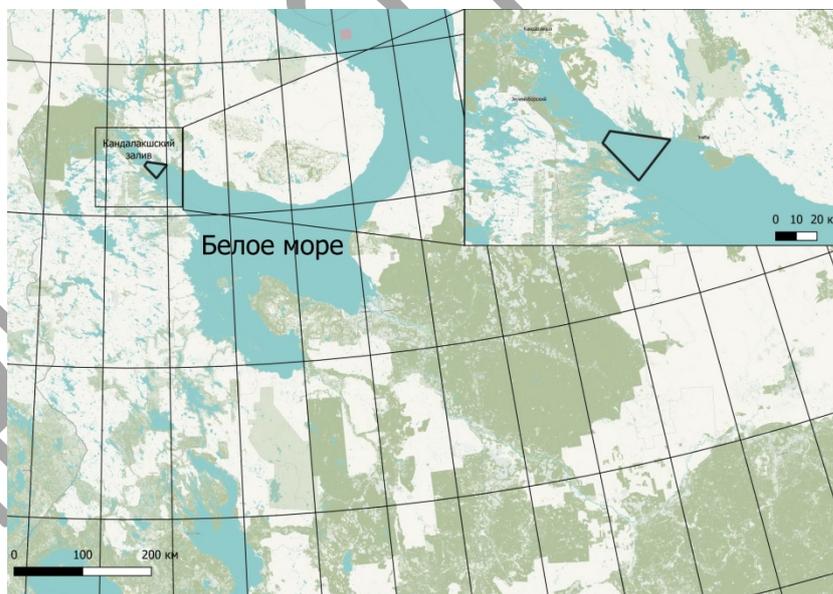
488 Rybalko A.E., Zhuravlyov V.A., Semenova L.R., Tokarev M.Yu. (2018). Development  
489 history and Quaternary deposits of the White Sea basin. In: A.P. Lisitzin and L.L. Demina, Ed.,  
490 *Sedimentation Processes in the White Sea*. Switzerland AG: Springer Nature,  
491 287. [https://doi.org/10.1007/698\\_2018\\_318](https://doi.org/10.1007/698_2018_318)

492 <https://www.esri.com> (Accessed 2023)

493 [https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World\\_Ocean\\_Base/MapSe](https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World_Ocean_Base/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D&zmax=20&zmin=0)  
494 [rver/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D&zmax=20&zmin=0](https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World_Ocean_Base/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D&zmax=20&zmin=0) (Accessed 2023)

495

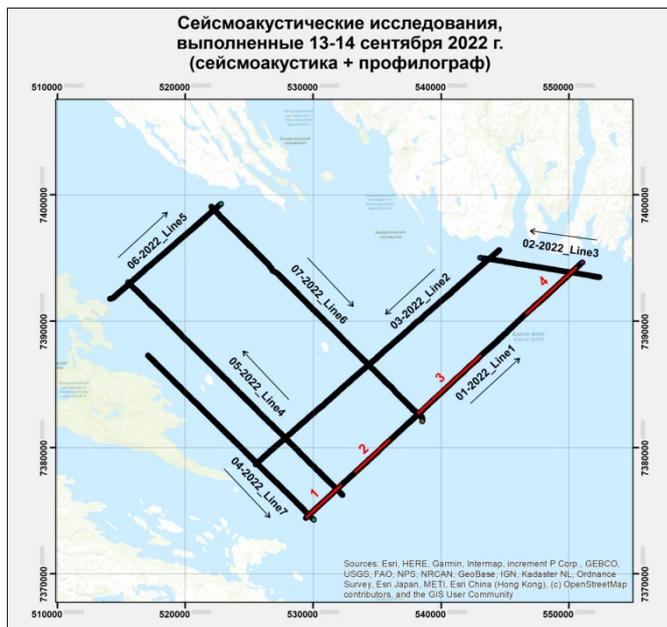
#### 496 Рисунки



497

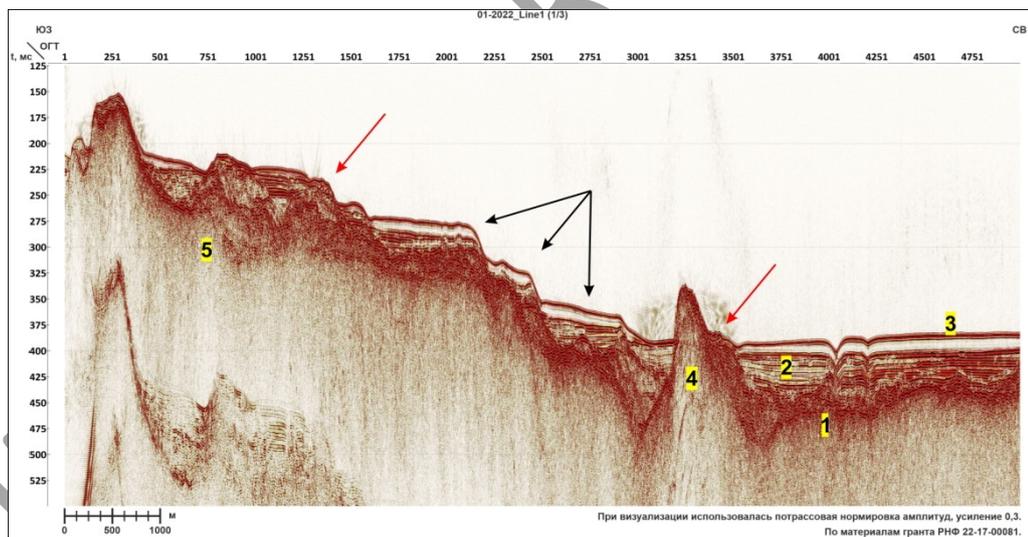
498 Рис. 1. Схема положения участка работ в 2021-2022 г.г. (по данным  
499 [https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World\\_Ocean\\_Base/MapSe](https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World_Ocean_Base/MapSe) с  
500 добавлениями)

501



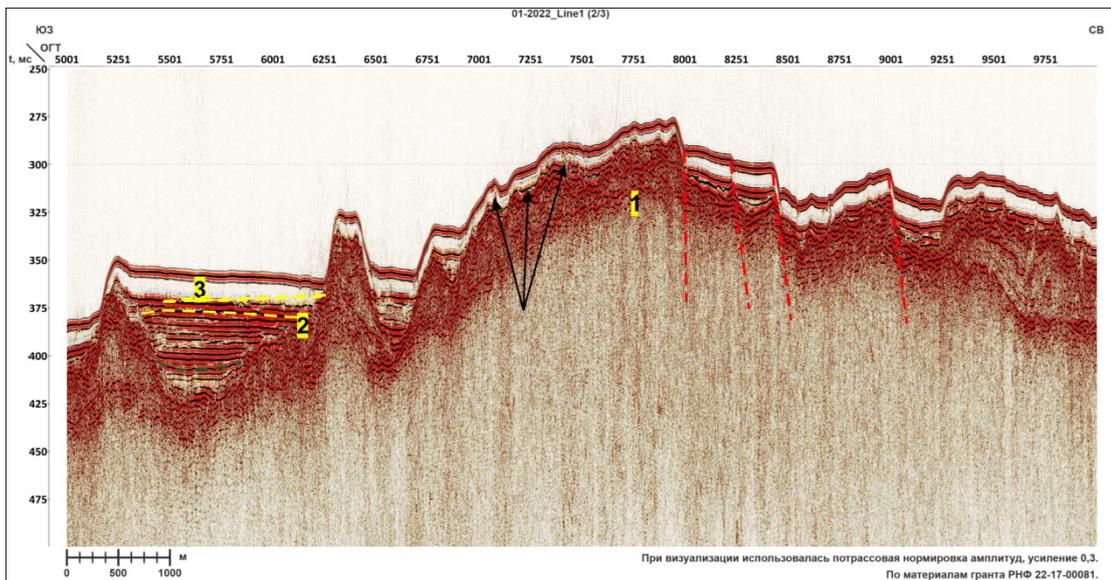
502  
503  
504  
505  
506  
507

Рис.2. Схема фактического материала сейсмоакустического профилирования, выполненного в 2022 г. Красным цветом показаны фрагменты, изображенные на рис.3,4,5. Профиль 5 показан на рис.6  
Рельеф – по данным <https://www.esri.com> (Accessed 2023)



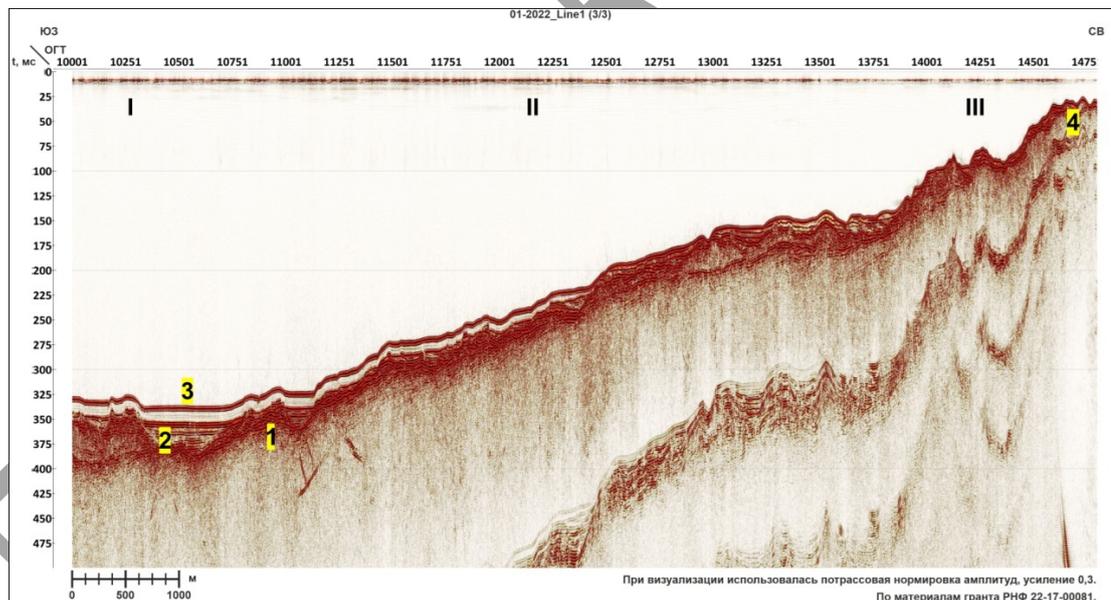
508  
509  
510  
511  
512  
513  
514  
515

Рис.3. Профиль1 (Line1). Юго-западный склон Кандалакшского залива. Цифрами обозначены: 1– ледниковые отложения (gIIIos), 2 – Толща слоистых (ледниково-озерных и ледниково-морских) отложений (lg, mgIII), 3 – морские нефелоидные отложения (mH) 4– скальная гряда, сложенная архей-нижнепротерозойскими породами, 5 – погребенные моренные гряды. Черные стрелки – структурно-гравитационные уступы, красные стрелки – оползни. Положение разреза –фрагмент 1 на рис.2.



516  
517  
518  
519  
520  
521  
522

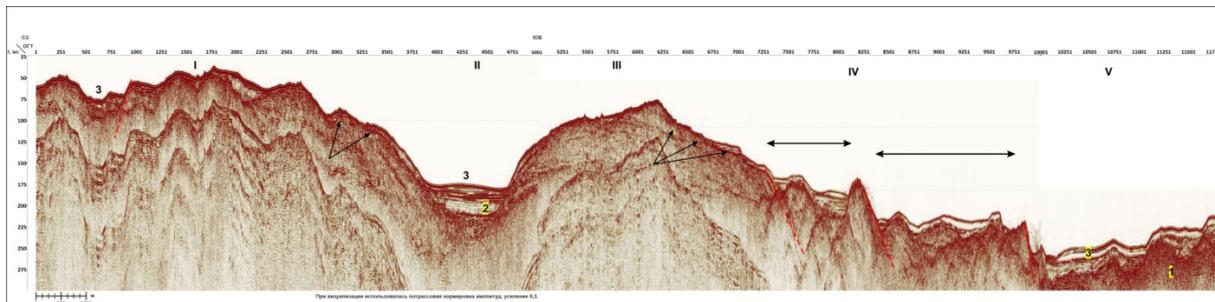
Рис.4. Профиль1 (Line1). Центральная часть Кандалакшского залива. Обозначения цифрами – см. рис.3. Черные стрелки – оползни, красные пунктирные линии- разломы, желтый и зеленый пунктир в толще слоистых осадков – отражающие рефлекторы, свидетельствующие о многофазном накоплении этих осадков. Положение разреза – фрагмент 3 на рис.2.



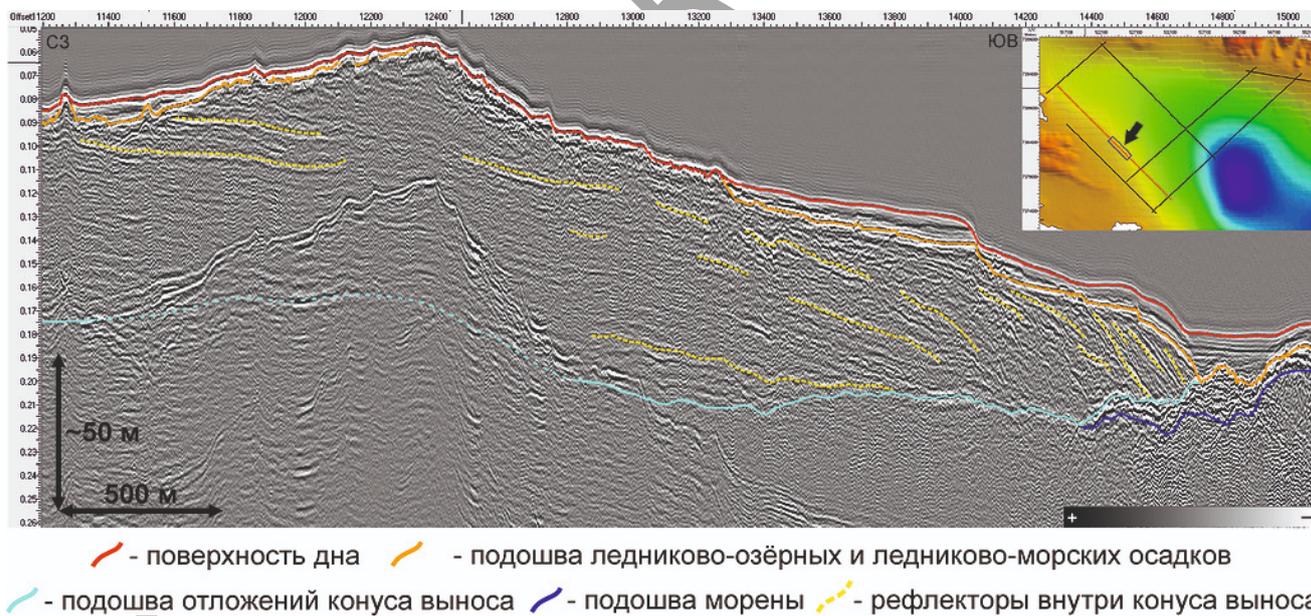
523  
524  
525  
526  
527  
528  
529

Рис.5. Профиль1 (Line1). Северная часть Кандалакшского залива. Геоморфологические зоны: I – глубоководная морская аккумулятивная нефелоидная равнина, II – аккумулятивно-абразионный склон (в нижней части с покровом морских нефелоидов, в верхней части – абразионная поверхность ледниково-морских осадков), III – структурно-денудационный ступенчатый склон. Цифрами обозначены: 1– ледниковые отложения (gШOs), 2 – толща слоистых (ледниково-озерных и ледниково-морских)

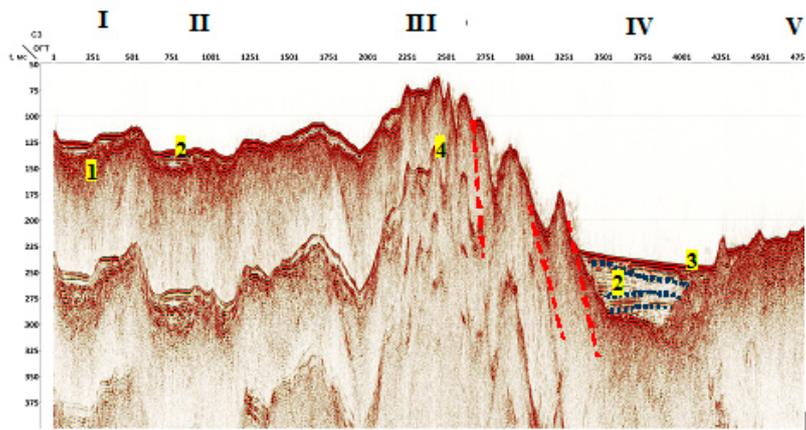
530 отложений (lg, mgIII), 3 – морские нефелоидные отложения (mH), 4 – кристаллические  
 531 архей-нижнепротерозойские породы. Положение разреза – фрагмент 3 на рис.2.  
 532



533  
 534 Рис.6. Профиль 5, линия 4, идущий вдоль южного берега Кандалакшского залива  
 535 (рис.2). Геоморфологические зоны: I – прибрежная мелководная абразионно-  
 536 аккумулятивная равнина, II – глубоководный структурно predetermined желоб, III –  
 537 гряда о.Наумиха (конус выноса приледниковых потоков). IV– структурно- денудационный  
 538 ступенчатый склон гряды Средних Луд (юго-восточный), V – глубоководная морская  
 539 аккумулятивная равнина, слабоступенчатая. Цифровые обозначения – см. рис.3. Стрелками  
 540 показаны оползни, а двойные стрелки обозначают положение структурно-денудационных  
 541 ступеней. Красные пунктирные линии - разломы.

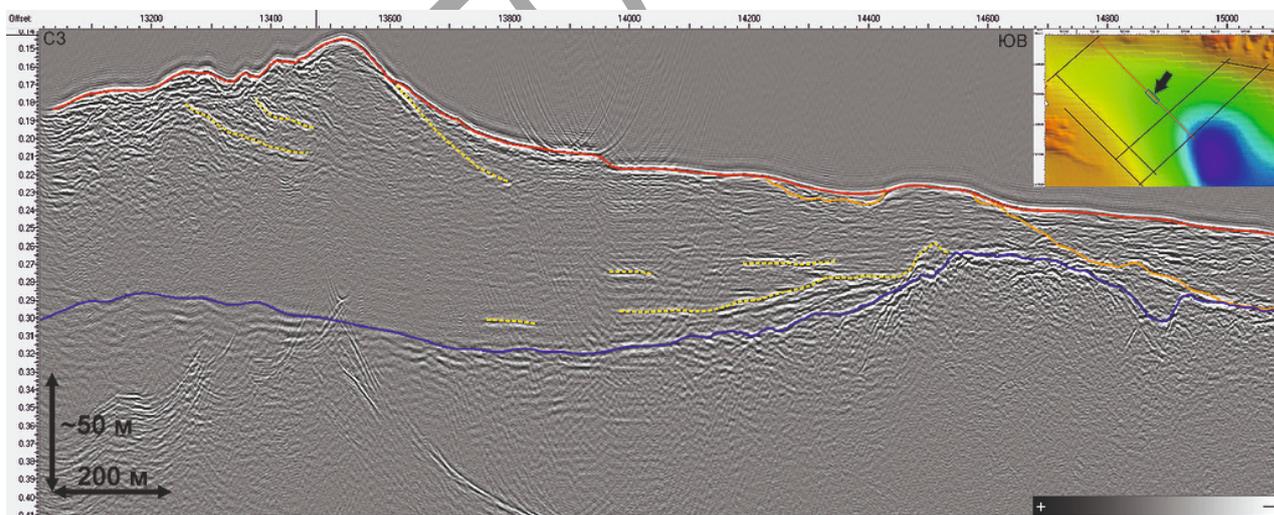


542  
 543 Рис.7. Детальное изображение конуса выноса у острова Наумиха. Положение слайда  
 544 показано на маленьком рисунке в верхнем правом углу, где прямоугольник – слайд, а  
 545 цветами показан генерализированный рельеф. Желтым цветом показаны отражающие  
 546 рефлекторы внутри конуса выноса, голубым – предполагаемая нижняя граница конуса  
 547 выноса и темно синим – кровля кристаллических пород  
 548



549  
550  
551  
552  
553  
554  
555  
556  
557  
558  
559

Рис.8. Профиль 7, линия 6, идущий вдоль оси Кандалакшского залива (рис.2). Геоморфологические зоны: I – прибрежная мелководная абразионно-аккумулятивная равнина Кольского полуострова, II – мелкий структурно predetermined желоб, выполненный ледниково-морскими осадками, III – скальная гряда. IV– глубоководный структурно- денудационный желоб, рассекающий гряду Средних Луд и выполненный мощной толщей слоистых (ледниково-озерных и ледниково-морских) осадков, V – Северо-западный склон гряды Средних Луд, покрытый преимущественно моренными отложениями.



— - поверхность дна    — - подошва ледниково-озёрных и ледниково-морских осадков  
— - кровля фундамента    - - - - рефлекторы внутри скрытослоистой толщи

560  
561  
562

Рис.9. Сейсмограмма через гряду островов Средние Луды.

563 **New Data on the Structure of the Quaternary Cover of the Kandalaksha Bay the White Sea**  
564 **based on High-Resolution Seismic Profiling Materials<sup>2</sup>**

565

566 *Alexander E. Rybalko<sup>1,2,3</sup>, Mikhail Yu. Tokarev<sup>4</sup>, Daria V. Ryabchuk<sup>5</sup>, Artem A. Kudinov<sup>1</sup>, Yana E.*  
567 *Terekhina<sup>4</sup>, Mikhail I. Aleshin<sup>6,7,6</sup>, Pavel Yu. Belyaev<sup>2</sup>, Oksana A. Khlebnikova<sup>4</sup>, Ksenia V.*  
568 *Babushkina<sup>4</sup>, Aleksei O. Aksenov<sup>1,5</sup>*

569

570 <sup>1</sup>Institute of Earth Sciences SPBU, Russian Federation, 199178, Saint-Petersburg, 10line VO, 33-  
571 35

572 <sup>2</sup>FSBI “VNIIOkeangeologia”, Russian Federation, 190121, Saint-Petersburg, Angliyskiy av., 1

573 <sup>3</sup>Marine Center LLC, Russian Federation, 119607, Moscow, Ramenskii blvd, 1

574 <sup>4</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Russian Federation, 119991, Moscow, Kolmogorov  
575 str., 1

576 <sup>5</sup>A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Russian Federation, 199106, Saint-  
577 Petersburg, Srednii av. VO, 74

578 <sup>6</sup>Split LLC, Russian Federation, 198504, Moscow, Universitetskii av., 13, bld. 16

579 <sup>7</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russian  
580 Federation, 123242, Moscow, B. Gruzinskaya str., 10, bld. 1

581 <sup>8</sup>Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Russian Federation, 117218, Moscow, Nakhimovskii av.,  
582 36

583

584 Rybalko Aleksandr – [alek-rybalko@yandex.ru](mailto:alek-rybalko@yandex.ru), ORCID: 0000-0002-2871-5177

585 Tokarev Mikhail – [mjtokarev@gmail.com](mailto:mjtokarev@gmail.com), ORCID: 0000-0001-8630-6083

586 Ryabchuk Daria – [daria\\_ryabchuk@karpinskyinstitute.ru](mailto:daria_ryabchuk@karpinskyinstitute.ru), ORCID: 0000-0003-2266-8688

587 Kudinov Artem – [artem.kudinov@gmail.com](mailto:artem.kudinov@gmail.com), ORCID: 0009-0006-6727-8586

588 Terekhina Yana – [yana.msu@gmail.com](mailto:yana.msu@gmail.com), ORCID: 0000-0003-3739-7657

589 Aleshin Mikhail – [mikhail.aleshin@split-k.com](mailto:mikhail.aleshin@split-k.com), ORCID: 0000-0001-9383-4730

590 Belyaev Pavel – [borat78@yandex.com](mailto:borat78@yandex.com), ORCID: 0000-0003-0907-7461

591 Khlebnikova Oksana – [oxana.khlebnikova@gmail.com](mailto:oxana.khlebnikova@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5905-2903

592 Babushkina Ksenia – [ksen.msu@gmail.com](mailto:ksen.msu@gmail.com)

593 Aksenov Aleksey – [a.aksenov@spbu.ru](mailto:a.aksenov@spbu.ru), ORCID: 0000-0002-4950-4571

---

<sup>2</sup> All the conducted research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (RSF grant No. 22-17-00081). The authors also thank their colleagues from the scientific company "Split" and the CMI of Moscow State University, with whom they have been conducting joint research of the geological structure of the Kandalaksha Gulf for a long time. We express our gratitude to the BBS MSU, which provided a vessel for our research and on whose basis these works were carried out.

594

595 **Annotation**

596 The article examines the features of the transition zone from the deep-water to the shallow-  
597 water part of the Kandalaksha Bay of the White Sea, which is represented by a ridge of  
598 heterogeneous (structural, glacial, and water-glacial) origin. The materials are based on new data  
599 obtained through continuous seismic-acoustic profiling (CSP). Multi-channel high-frequency  
600 modifications of seismic equipment were used. This allowed to execute a more detailed seismic-  
601 stratigraphic division of the thicknesses of subglacial (glacio-lacustrine and glacio-marine) and  
602 marine nepheloid deposits. In particular, three horizons were distinguished in the thickness of  
603 layered supraglacial sediments by textural features. They reflect the evolution of primary glacial-  
604 lake basin into glacial-marine. Large ice-proximal fans with high sediment thickness are  
605 distinguished in the upper part of the ridge. These fans mainly formed the relief of the studied  
606 ridge. These and other obtained data allow us to raise the question of the transformation of the  
607 continental glacier into a shelf glacier in a certain period of time within the process of degradation  
608 of the Scandinavian glacier. The wide development of modern geodynamic movements,  
609 significantly affecting the nature of the bottom relief and the accompanying gravitational  
610 processes, is shown. Stepped relief, alternation of local basins of Holocene nepheloid  
611 accumulation, separated by relatively steep slopes lacking sedimentary cover, are associated with  
612 these movements. Seismotectonic phenomena were a trigger for gravitational processes, which are  
613 also clearly visible on seismograms.

614 The obtained materials allow for a substantial detalization of the paleogeographic  
615 conditions in the Late Pleistocene-Holocene, in particular, to more fully characterize the stage of  
616 environmental evolution from the glacial conditions to the glacial-marine and marine.

617

618 **Key words:** the White Sea, the Kandalaksha Bay, Seismoacoustic Profiling, Glacial Deposits,  
619 Glacio-lacustrine and Glacio-marine Sediments, Modern Geodynamic movements, Gravitational  
620 Processes.

621

622 **References**

623 Alyavdin F.A., Manuilov S.F., Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Spiridonova E.A.,  
624 Eyghorn G.L. (1977). New data on the geology of the northwestern part of the White Sea.  
625 *PrirodaihozjajstvoSevera*, (6), 30-38 (In Russian)

626 Astafiev B.Yu., Bogdanov Yu.B., Voinova O.A., Voinov A.S., Zhuravlv V.A.,  
627 Nogina M.Yu., Paramonova M.S., Peshkova I.N., Polyakov A.A., Rybalko A.E., Solonina S.F.,  
628 Semenova L.R., Surikov S.N., Sharov N.V., Shkarubo S.I. (2012a). State geological map of

629 Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Baltic Series. Page Q-(35),36. Apatity.  
630 Explanatory note. Saint-Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory Publ., 302. (In Russian)

631 Astafiev B.Yu., Bogdanov Yu.B., Voinova O.A., Voinov A.S., Zhuravlyov V.A.,  
632 Nogina M.Yu., Paramonova M.S., Peshkova I.N., Polyakov A.A., Rybalko A.E., Solonina S.F.,  
633 Semenova L.R., Surikov S.N., Sharov N.V., Shkarubo S.I. (2012b). State geological map of  
634 Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Baltic Series. Page Q-37. Arkhangelsk.  
635 Explanatory note. Saint-Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory Publ., 436. (In Russian)

636 Baluev A.S., Zhuravlyov V.A., Terekhov E.N., Przhiyalgovskii E.S. (2012). Tectonics of  
637 the White Sea and Adjacent Territories (Explanatory Note to the “Tectonic Map of the White Sea  
638 and Adjacent Territories” at a scale of 1:1500000). Moscow: GEOS Publ., 104. (In Russian)

639 Devdariani N.A. (1985). The Geological Structure of the White Sea Basin. PhD thesis.  
640 Moscow: Moscow State University, 21. (In Russian)

641 Dzhinoridze R.N., Kalugina L.V., Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Spiridonova E.A.  
642 (1979). Stratigraphy of the Upper Quaternary Deposits in the Northern Part of the White Sea. In:  
643 *Pozdnechetvertichnaja istorija sedimentogeneza i razvitiya hivykh i vodnykh resursov v  
644 Rossii i sosednykh stranakh. Materialy dokladov XIII Obshherossijskoj konferencii i  
645 zyskatel'skih organizacij, Moskva, 29 nojabrja – 01 dekabrja 2017 goda.* Moscow: Geomarketing Publ., 34-39. (In Russian)

645 Rybalko A.E., Barymova A.A., Tokarev M.Yu., Repkina T.Yu. (2020). Quaternary  
646 Deposits and Relief of the Kandalaksha Bay: History of Study and Modern Data on Their  
647 Formation. *Trudy Fersmanovskoj nauchnoj sessii GI KNC RAN*, 17, 465-469. (In Russian)  
648 <https://doi.org/10.31241/FNS>

649 Rybalko A.E., Loktev A.S., Tokarev M.Yu., Roslyakov A.G., Mironyuk S.G., Korost D.V.  
650 (2017). Underwater Gravitational Processes in Shelf Seas and Their Study in Engineering-  
651 Geological Surveys. *Perspektivy razvitiya inzhenernykh zyskanij v stroitel'stve v  
652 Rossijskoj Federacii. Materialy dokladov XIII Obshherossijskoj konferencii i  
653 zyskatel'skih organizacij, Moskva, 29 nojabrja – 01 dekabrja 2017  
654 goda.* Moscow: Geomarketing Publ., 541-543. (In Russian)

655 Rybalko A.E., Repkina T.Yu., Starovoitov A.V., Zaretskaya N.E., Korsakova O.P., Subetto  
656 D.A., Tokarev M.Yu., Beliaev P.Yu. The Main Stages in Studying Quaternary Deposits of the  
657 White Sea and Controversial Problems of Its Late Pleistocene and Holocene Paleogeography.  
658 *Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 86(6), 848-869. (In Russian).  
659 <https://doi.org/10.31857/S2587556622060152>

660 Rybalko A.E., Semenova L.R., Zhuravlyov V.A. (2011). Quaternary Deposits of the White  
661 Sea. In: *Geologija morej i okeanov: Materialy XIX Mezhdunar. nauch. konf. (Shkoly)  
662 pomorskoj geologii, T. III.* Moscow: GEOS Publ., 256-260. (In Russian)

663 Rybalko A.E., Zhuravlyov V.A., Semenova L.R., Tokarev M.Yu. (2017). Quaternary  
664 Deposits of the White Sea and the Evolutionary History of the Modern White Sea Basin during  
665 the Late Neopleistocene to Holocene. In: Sistema Belogomorja. T. IV.  
666 *Processyosadkoobrazovanija, geologijaiistorija*. Moscow: Nauchnyjmir Publ., 16-84. (In  
667 Russian)

668 Rybalko A.E., Zhuravlyov V.A., Semenova L.R., Tokarev M.Yu. (2018). Development  
669 history and Quaternary deposits of the White Sea basin. *Sedimentation Processes in the White*  
670 *Sea*, A.P. Lisitzin and L.L. Demina, Eds., Switzerland AG: Springer Nature, 287.  
671 [https://doi.org/10.1007/698\\_2018\\_318](https://doi.org/10.1007/698_2018_318)

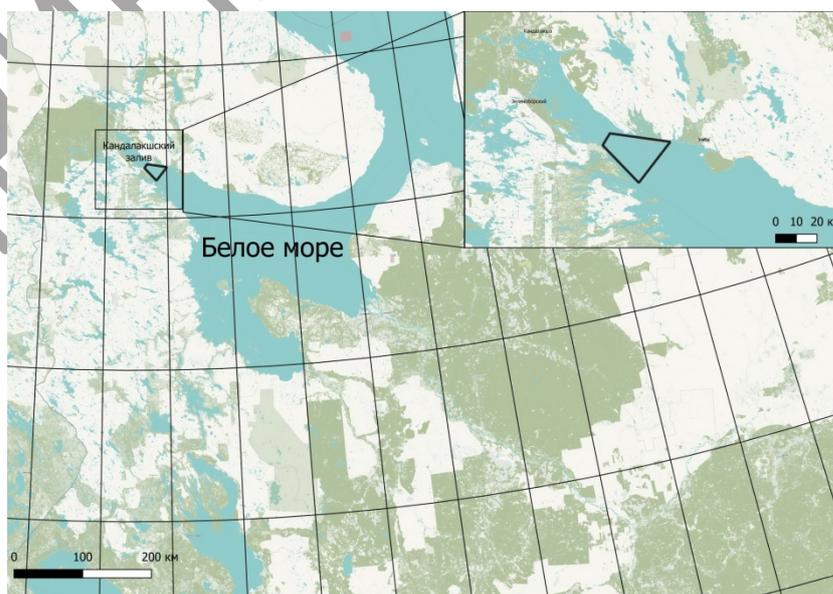
672 Shvarev S.V., Nikonov A.A. (2018). Morphotectonics of the White Sea Basin in  
673 Comparison with Refined Characteristics of Historical Earthquakes. In:  
674 *MaterialyVserossijskojnauchnojkonferencii «Pozdne- ipostglacial'najaistorijaBelogomorja:*  
675 *geologija, tektonika, sedimentacionnyyestobstanovki, hronologija*. Moscow: Universitetskajakniga  
676 Publ., 174-180. (In Russian)

677 Spiridonov M.A., Devdariani N.A., Kalinin A.V., Kropachev Yu.P., Manuilov S.F.,  
678 Rybalko A.E., Spiridonova E.A. (1980). Geology of the White Sea. *Sovetskajageologija*, 4, 45-55.  
679 (In Russian)

680 Starovoytov A.V., Tokarev M.Yu., Zamotina Z.S., Terehina Ya.E. Role of glacial and  
681 lithodynamic factors in the formation of the sedimentary cover structure of the Great Salma Strait  
682 (White sea). *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 2022, (1), 62-70. (In Russian).  
683 <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-1-62-70>

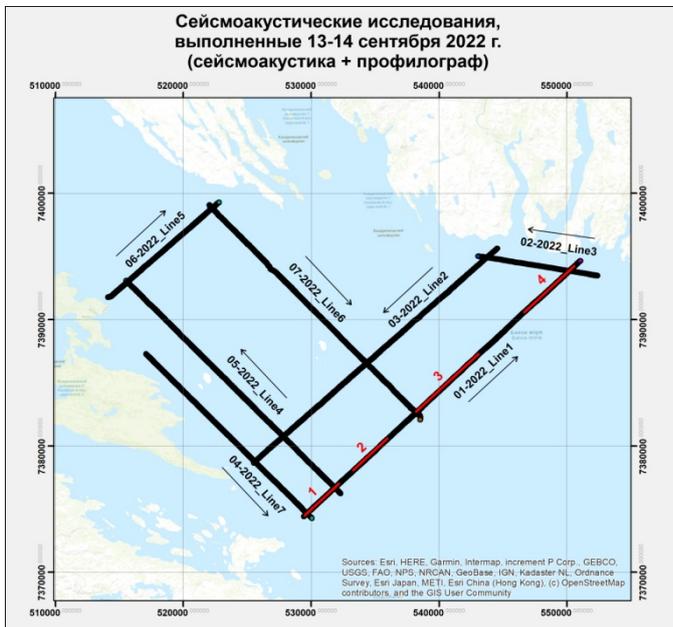
684

## 685 **Figures**

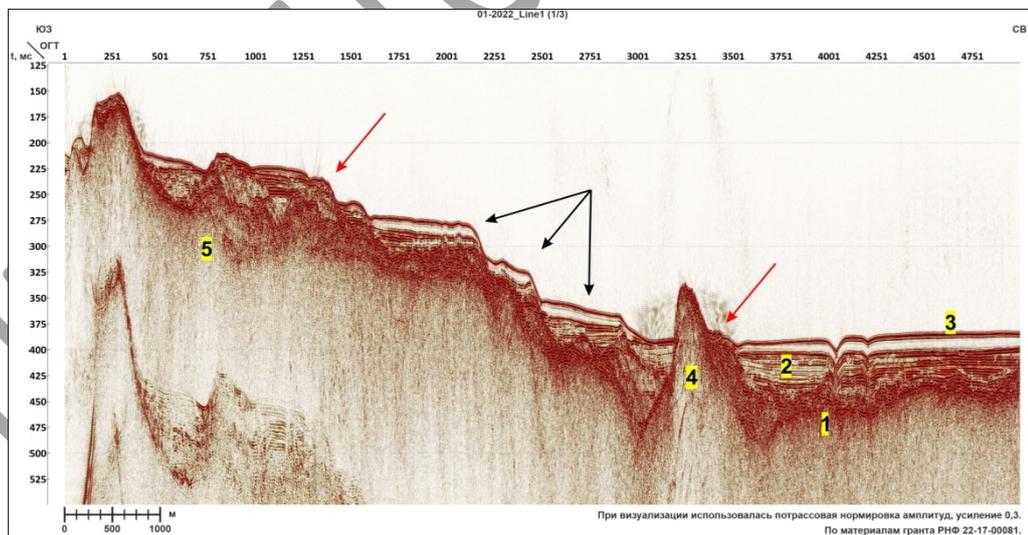


686

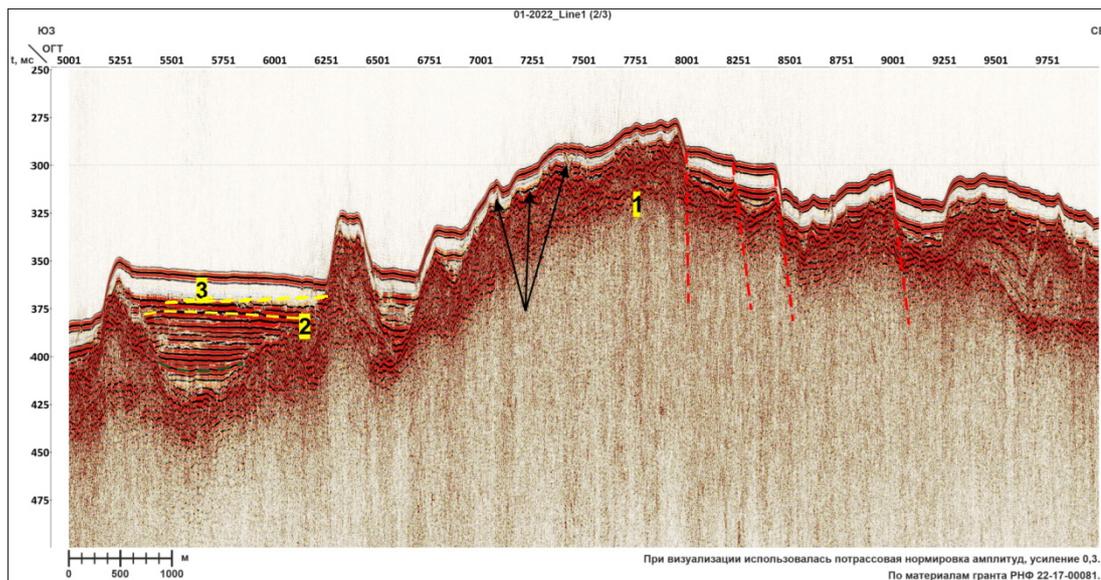
687 Fig. 1. Scheme of the study site in 2021 and 2022  
 688 ([https://services.arcgis.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World\\_Ocean\\_Base/MapSe](https://services.arcgis.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World_Ocean_Base/MapSe) with  
 689 additions)  
 690



691  
 692 Fig. 2. Scheme of the seismoacoustic profiling performed in 2022. The red fragments are  
 693 shown in Fig. 3, 4, 5. Profile 5 is shown in Fig. 6 Relief (according to data from  
 694 <https://www.esri.com>, accessed 2023)  
 695



696  
 697 Fig. 3. Profile1 (Line1). Southwestern slope of the Kandalaksha Bay. The numbers  
 698 indicate: 1 – glacial deposits (gIIlos), 2 – laminated deposits (glacial-lacustrine and glaciomarine)  
 699 unit (lg, mgIII), 3 – marine nepheloid deposits (mH) 4 – ridge composed of Archean-Lower  
 700 Proterozoic rocks, 5 – buried moraine ridges. Black arrows – structural-gravitational cliffs, red  
 701 arrows – landslides. Position of the section– fragment 1 in Fig. 2.



703

704

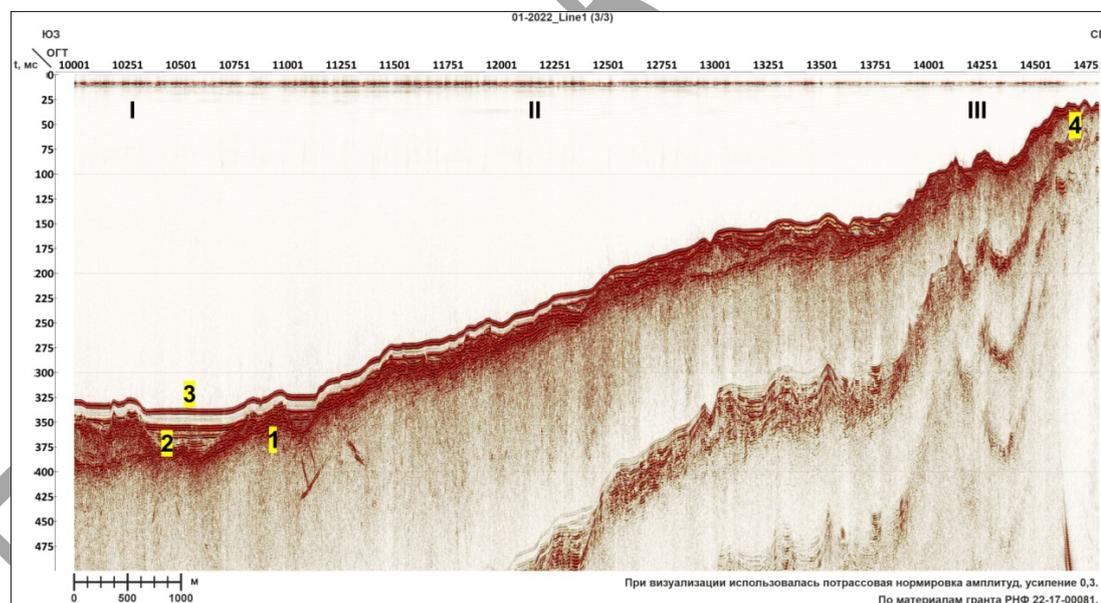
705

706

707

708

Fig. 4. Profile1 (Line1). The central part of the Kandalaksha Bay. For number indexes – see fig. 3. Black arrows – landslides, red dotted lines – faults, yellow and green dotted lines in the thickness of layered sediments – reflections, indicating the multiphase accumulation of the sediments. Position of the section – fragment 3 in Fig. 2.



709

710

711

712

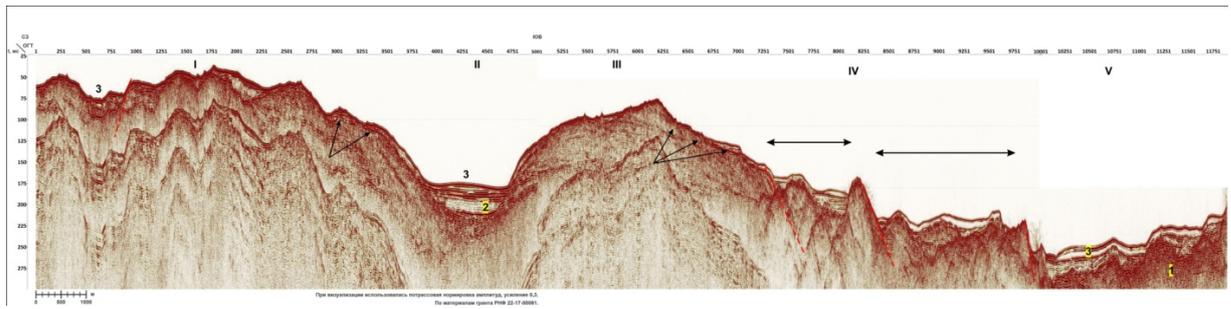
713

714

715

716

Fig. 5. Profile 1 (Line1). Northern part of the Kandalaksha Bay. Geomorphic zones: I – deep-water marine accumulative nepheloid plain, II – accumulative-abrasive slope (with marine nepheloid cover in the lower part and an abrasive surface of glacio-marine deposits in the upper part), III – structural-denudational terraced slope. 1 – glacial deposits (gIIIos), 2 – unit of layered (glacio-lacustrine and glacio-marine) deposits (lg, mgIII), 3 – marine nepheloid deposits (mH), 4 – crystalline Archaean-lower Proterozoic rocks. Position of the section – fragment 3 in Fig. 2.

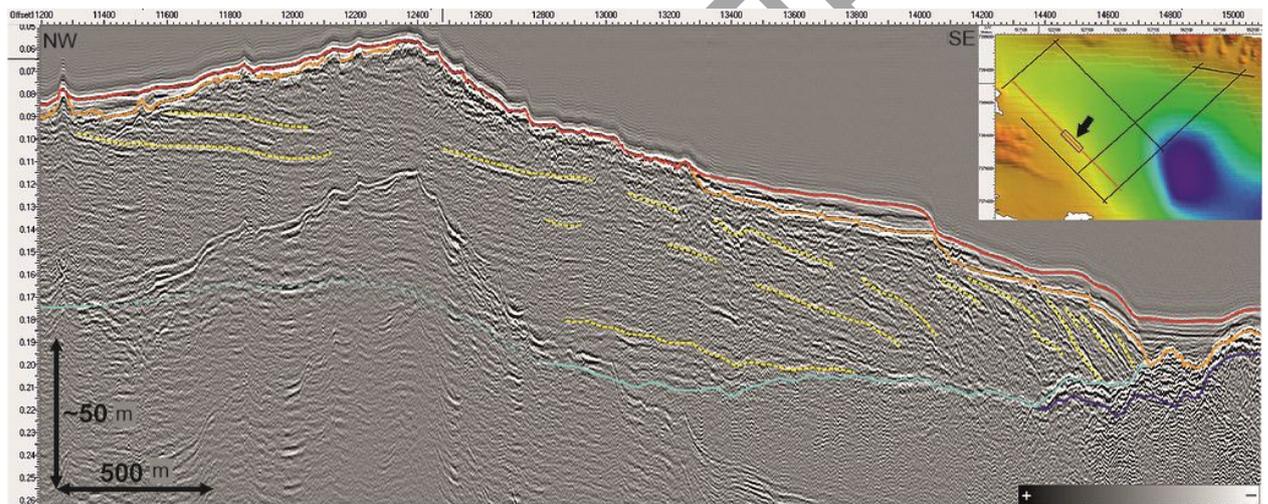


717

718 Fig. 6. Profile 5, Line 4, running along the southern coast of the Kandalaksha Bay (Fig. 2).

719 Geomorphic zones: I – coastal shallow-water abrasive-accumulative plain, II – deep-water  
 720 structurally predetermined trough, III – Naumikha Island ridge (ice-proximal outwash fan), IV –  
 721 structural-denudational terraced slope of the Srednie Ludy ridges (southeastern), V – deep-water  
 722 marine accumulative plain, weakly terraced. For number indexes – see fig. 3. Arrows indicate  
 723 landslides, and double arrows denote the position of structural-denudational steps. Red dashed  
 724 lines - faults.

725

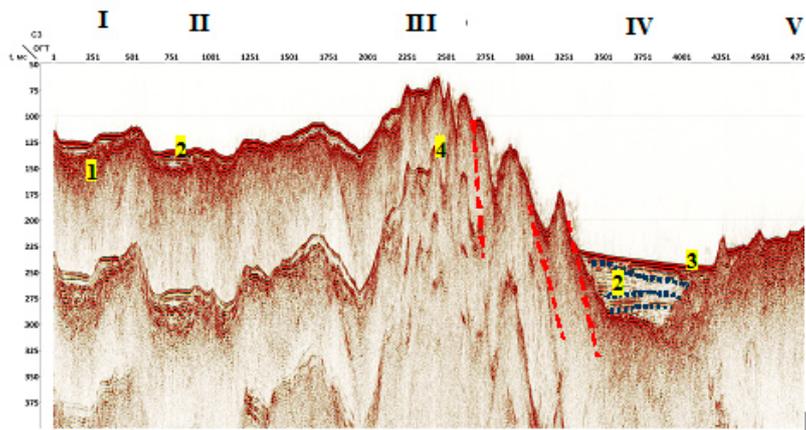


726

— bottom surface — bottom boundary of glacial lacustrine and glacial-marine unit  
 — bottom boundary of fan unit — bottom boundary of till unit — fan internal reflections

727

728 Fig. 7. Detailed depiction of the ice-proximal outwash fan near Naumikha Island. The  
 729 position of the profile is indicated in the small image in the upper right corner, where the rectangle  
 730 represents the section, and the colors depict the generalized relief.



731

732

733

734

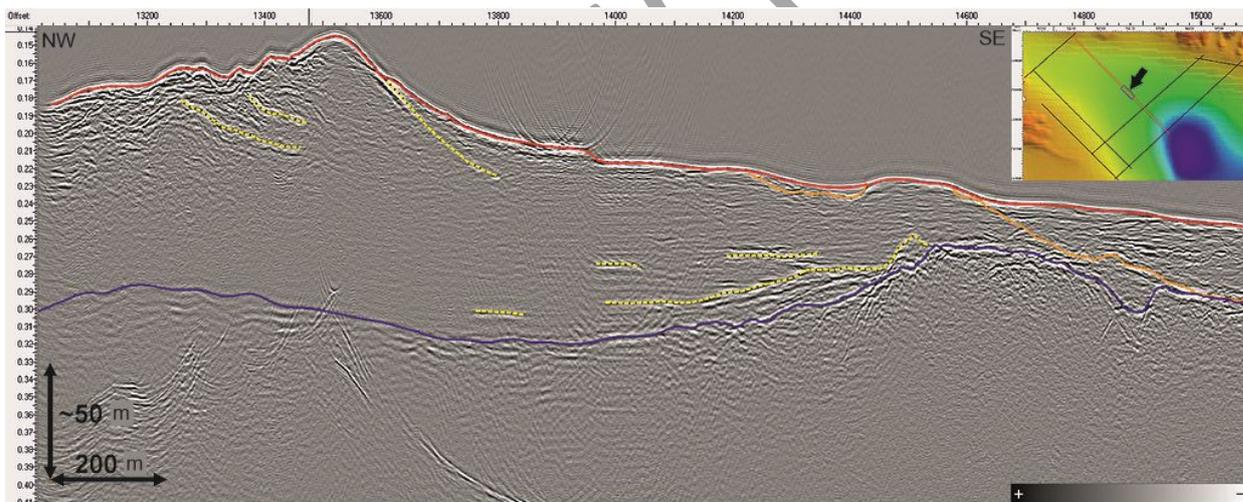
735

736

737

738

Fig. 8. Profile 7, Line 6, running along the axis of the Kandalaksha Bay (Fig. 2).  
 Geomorphic zones: I – coastal shallow-water abrasive-accumulative plain of the Kola Peninsula,  
 II – shallow structurally predetermined trough formed by glacio-marine deposits, III – structural  
 ridge. IV – deep-water structurally denudational trough, intersecting the Srednie Ludy ridge and  
 formed by a thick layer of layered (glacio-lacustrine and glacio-marine) deposits, V – northwestern  
 slope of the Srednie Ludy ridge, predominantly covered with glacial deposits.



— bottom surface    — bottom boundary of glacial lacustrine and glcaimarine unit  
 — acoustic basement    - - - fan internal reflections

739

740

741

742

743

Fig. 9. Seismogram across the Srednie Ludy Islands ridge. The position of the profile is  
 indicated in the small image in the upper right corner, where the rectangle represents the section,  
 and the colors depict the generalized relief.