

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ СТРОЕНИЯ КРАЙНЕГО СЕВЕРНОГО СЕГМЕНТА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ПОЛУОСТРОВА СРЕДНИЙ И РЫБАЧИЙ) ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Э. В. Шипилов, В. А. Любич, О. Т. Саакян, Ю. А. Шаповалова, М. В. Швец

Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН (Мурманск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 6 ноября 2025 г.

Для цитирования

Шипилов Э. В., Любич В. А., Саакян О. Т. и др. К характеристике строения крайнего северного сегмента Кольского полуострова (полуострова Средний и Рыбачий) по комплексу геолого-геофизических данных // Арктика: экология и экономика. — 2026. — Т. 16, № 2. — С. 181—192. — DOI: 10.25283/2223-4594-2026-2-181-192.

На основе анализа, сопоставления и интерпретации комплекса геолого-геофизических материалов, включающих результаты бурения скважин, сейсморазведки, электромагнитных (ЭМЗ) и аудиоманнителлурических зондирований (АМТЗ), оценено распределение мощности верхнепротерозойского чехла в пределах перикратонной области Восточно-Европейской платформы (полуостров Средний) и Тимано-Варангерского пояса байкалит (полуостров Рыбачий). Проиллюстрировано различие в строении этих геоструктурно-формационных блоков, отраженное не только в условиях залегания пород и в параметрах вскрытых скважинами разрезов, но и в волновом поле, а по данным электромагнитного зондирования и в характерных изменениях графиков зависимости действующего сопротивления среды от действующей глубины. Впервые на базе сводного геолого-геофизического разреза через полуострова продемонстрировано наличие структурно-деформационных неоднородностей чехла в виде чешуйчатой складчатости на полуострове Рыбачий, отраженной как на региональном сейсмическом, так и на геоэлектрическом разрезе АМТЗ.

Ключевые слова: Кольский полуостров, полуострова Средний и Рыбачий, Восточно-Европейская и Западно-Арктическая платформы, зона сочленения, перикратонная область, геолого-геофизические материалы, структурно-формационные комплексы, складчато-надвиговые дислокации, сейсморазведка, скважины, гравиметрия, электромагнитные исследования, структурно-тектонический план.

Введение

Рассматриваемый район, в состав которого входят полуострова Средний и Рыбачий, в физико-географическом отношении отвечает переходу от суши Кольского полуострова к шельфу Баренцева моря, а в современном тектоническом плане выступает в качестве фрагмента зоны сочленения Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ [1—6].

Восточно-Европейская платформа представлена своим крайним северо-восточным сегментом, в структуре которого выделяют Балтийский щит и Северо-Кольскую перикратонную область (рис. 1а).

Перикратонная область объединяет территории полуострова Средний, мыса Мотка (юг полуострова Рыбачий) и острова Кильдин и отделена от архейского кристаллического щита Кольского побережья сбросом по разлому линии Карпинского. С северо-востока перикратонная часть платформы ограничена тектоническим швом линеамента Тролляфиорд-Рыбачий-Кильдин (ТРК), определяя край платформы. Считается, что этот шов обусловлен системой разломов и является пограничным разделом Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ и вместе с тем двух геоструктурно-формационных блоков, соотносящихся с полуостровами Средний и Рыбачий. Исследованиями установлено [1; 7; 8 и др.], что осадочный комплекс Среднего сложен

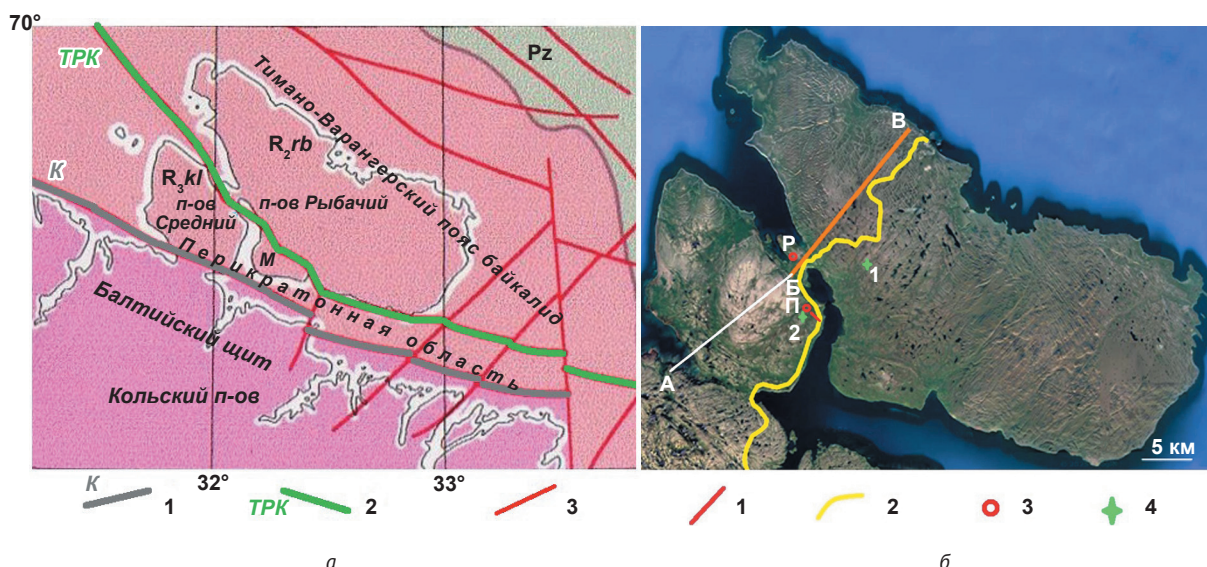


Рис. 1. Тектоническая схема [1; 2; 4] с изменениями (а) и расположение геолого-геофизических разрезов, скважин и точек электромагнитного зондирования (ЭМЗ) (б). а: 1 К – линия Карпинского, 2 ТРК – линеамент Тролляфиорд-Рыбачий-Кильдин, 3 – прочие разломы; М – мыс Мотка; б: 1 – профиль геоэлектрического разреза аудиоманнителлурического зондирования (АМТЗ), 2 – региональный профиль по методу общей глубинной точки (МОГТ), 3 – скважины (П – на полуострове Средний, Р – на перешейке полуострова Рыбачий), 4 – точки ЭМЗ. Линия А-Б-В – положение профиля рельефа

Fig. 1. Tectonic scheme [1; 2; 4] with modifications (a) and the location of geological and geophysical sections, boreholes, and electromagnetic sounding points (б). а: 1 К – Karpinsky line, 2 ТРК – Trollfjord-Rybachi-Kildin lineament, 3 – other faults; М – Cape Motka; б: 1 – AMTS (audio magnetotelluric sounding) geoelectric section profile, 2 – regional CDP (common depth point method) profile, 3 – boreholes: P – on the Sredny Peninsula, R – on the Rybachi Peninsula isthmus, 4 – EMS (electromagnetic sounding) points. Line А-Б-В – position of the relief profile

вендскими и верхнерифейскими терригенными образованиями. На Рыбачьем верхнепротерозойские отложения представлены среднерифейскими обломочными комплексами. По мнению большинства исследователей, тектонический контакт, проявленный в виде линеамента ТРК и пролегающий на юге перешейка, соединяющего полуострова, имеет все признаки надвига со сдвиговой амплитудой. Этот разломный элемент, пролегающий между полуостровами, продолжается к юго-востоку в виде Западно-Тиманского разлома и по существу является фронтальной частью сложной трансрегиональной системы взбросо- и надвига-сдвиговых дислокаций Канино-Тиманского (Варангер-Тиманского) пояса байкалид, обрамляющего Восточно-Европейскую платформу.

Полуострова Средний и Рыбачий, а также остров Кильдин являются, пожалуй, единственным местом, где обнажаются и могут быть изучены и в совокупности сопоставлены особенности и специфика поведения структурно-формационных осадочных комплексов верхнепротерозойских пород в зоне перехода от континента к шельфу Баренцева моря. Однако определенное сопоставление можно провести и с отложениями рифтогенных бассейнов Беломорского региона [9].

Рассмотренная скелетная схема строения исследуемого района отражает основные черты структурно-тектонического плана сформированного буферной геодинамикой взаимодействия Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ.

Вместе с тем целый ряд немаловажных параметров строения, таких как положение границы фундамент/осадочный чехол, распределение мощности и структура верхнепротерозойского чехла, характер складчатых дислокаций и их отражение в материалах геофизических работ и др., во многом еще требуют изучения и уточнений.

В представленной работе на основе анализа различных геолого-геофизических материалов с привлечением новых данных электромагнитного зондирования (ЭМЗ) и аудиоманнителлурических зондирований (АМТЗ) сделана попытка дать ответы на некоторые из поставленных вопросов.

Объект, фактический материал и методы

Основными объектами исследований являются полуострова Средний и Рыбачий, расположенные на северной периферии Кольского полуострова и вдающиеся в шельфовое пространство Баренцева моря.

На полуостровах, несмотря на сложный рельеф и отдаленное географическое положение, выполнен определенный объем геолого-геофизических исследований (рис. 1б).

В статье в интерпретационном аспекте использовались данные, полученные в результате проведения сейсмических работ [10–13], бурения двух параметрических скважин [14; 15], АМТЗ и в последние годы экспериментальных электромагнитных исследований ЭМЗ [16; 17].

ФГУ ГНПП «Спецгеофизика» в 2000 г. отработаны по ломаным линиям, ориентированным вдоль грун-

товых дорог, три региональных профиля МОГТ 2D общим объемом 107,45 км. В 2003 г. ОАО «Саратовнефтегеофизика» на полуостровах выполнен небольшой дополнительный объем сейсморазведочных работ МОВ ОГТ.

В дальнейшем в 2004—2006 гг. на полуостровах были пробурены две глубокие параметрические скважины: Пограничная П-1 в северо-восточной части Среднего (5202 м) и Р-1 в южной части Рыбачьего в районе перешейка (3001 м) (см. рис. 1б). Кроме того, в районе Рыбачинской скважины Р-1 пройдены две поисковые скважины: Р-2 (800 м) и К-1 (1000 м).

С учетом результатов перечисленных геолого-геофизических исследований авторы выполнили комплексный интерпретационный анализ данных и их сопоставление на основе структурно-тектонического разреза полуостровов Средний и Рыбачий как фрагмента зоны сочленения Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ.

Общая характеристика района исследований и элементы геолого-структурного плана

Рассматриваемые полуострова существенно отличаются как в орографическом отношении [18], так и в структурно-тектоническом плане [1; 6; 8] (рис. 2).

Полуостров Средний характеризуется куполообразными формами рельефа с максимальными высотными отметками, достигающими здесь более 340 м и превышающими таковые Рыбачьего в среднем на сотню метров. В пределах последнего наивысшие точки рельефа (свыше 200 м) сосредоточены в основном в продольной полосе средней части полуострова с СЗ на ЮВ, прерываясь поперечной линейной долиной, тектонически обусловленной грабенообразной структурой с отметками рельефа в ней 100—140 м (см. рис. 2е).

Считается, что полуостров Средний является сброшенным по разлому Карпинского блоком Мурманского сегмента Балтийского щита. Амплитуда сбросообразования, судя по всему, незначительна и обозначена лишь в рельефных особенностях линеймента Карпинского, тогда как на сейсмическом разрезе такие видимые свидетельства не обнаруживаются.

Заметные черты отличия наблюдаются как в параметрах залегания отложений полуостровов, так и в их структурно-тектоническом облике. На полуострове Рыбачий все признаки указывают на аллохтонный характер структурирования пород, представленных в обнажениях (см. рис. 2а и 2б), а на полуострове Средний и острове Кильдин залегание комплексов отличается спокойным моноклиальным, приближенным к нормальному стилем, отвечающим стабилизирующей обстановке перикратонной области (см. рис. 2в и 2г).

Полуостров Рыбачий в современной трактовке надвинут в юго-западном направлении на Средний. Сама зона надвига не является единообразно построенной, а скорее напоминает развальцованную в обе стороны разломно-структурную систему ши-

риной 1—1,5 км [19]. По данным сейсморазведки, комплексы осадочного чехла со стороны Рыбачьего на подходе к полосе ТРК на перешейке между полуостровами сужаются до клинообразной конфигурации на разрезе. Вместе с тем в разрезе осадочного чехла подошвенной части этой клинообразной аллохтонной структуры поисковыми скважинами на глубинах 790—800 м зафиксированы брекчированные образования [8]. Очевидно, что дезинтегрированные породы и наличие брекчий являются индикаторами разрушающего воздействия перемещений по разлому. В совокупности такая структурно-тектоническая ситуация может трактоваться как результат надвигообразования.

В строении рассматриваемых территорий выделяют две структурно-формационные зоны (без северо-западной Скарбеевской площади). Кильдинская зона охватывает полуостров Средний и мыс Мотка (на юге полуострова Рыбачий) и состоит из кильдинской и волоковой серий позднерифейско-вендского возраста. Рыбачинская структурно-формационная зона основной части одноименного полуострова, согласно мнению большинства исследователей, включает отложения средне-позднерифейского возраста, представленные боргуотной и зйновской сериями.

На полуострове Средний и мысе Мотка, а также на острове Кильдин перикратонные комплексы характеризуются довольно пологим залеганием, имеют близкостепенные простирания и углы падения 10—15° в северо-восточных румбах (см. рис. 2в и 2г). Отметим, что по результатам бурения скважины Пограничная П-1 на полуострове Средний на контакте рифейских пород с гранитогнейсовыми образованиями фундамента признаки коры выветривания не отмечены [8].

В соответствии с главным С-3 трендом простирания полуострова Рыбачий слагающие его комплексы отложений протягиваются в этом же направлении (290—310°) и характеризуются чередованием широких моноклиналей, наклоненных на СВ под углами 15—35°, и линейных зон напряженной складчатости. Как отмечено в [1], ширина складок составляет 400—700 м, при этом наблюдается их асимметрия с наклоном осевых плоскостей на ЮЗ. Возраст складчатых деформаций связывается с байкальским орогенезом и подновлением их каледонскими движениями [8; 20].

Материалы геологических и гравимагнитных исследований свидетельствуют о том, что складчатые образования полуострова Рыбачий являются фрагментом (звенном) Тимано-Варангерского пояса байкалит, который протягивается от Тимана через полуостров Канин вдоль побережья Кольского полуострова и через полуостров Рыбачий на полуостров Варангер. Краевой шов этой складчатой системы, в том числе и ТРК, отражает положение границы крупнейшего надвига пояса байкалит на перикратонные образования Восточно-Европейской платформы. Об интенсивности складкообразующих процессов, в частности на полуострове Канин, помимо известных данных можно судить по обломочному фрагменту складки, фото которого приведено на рис. 2д.

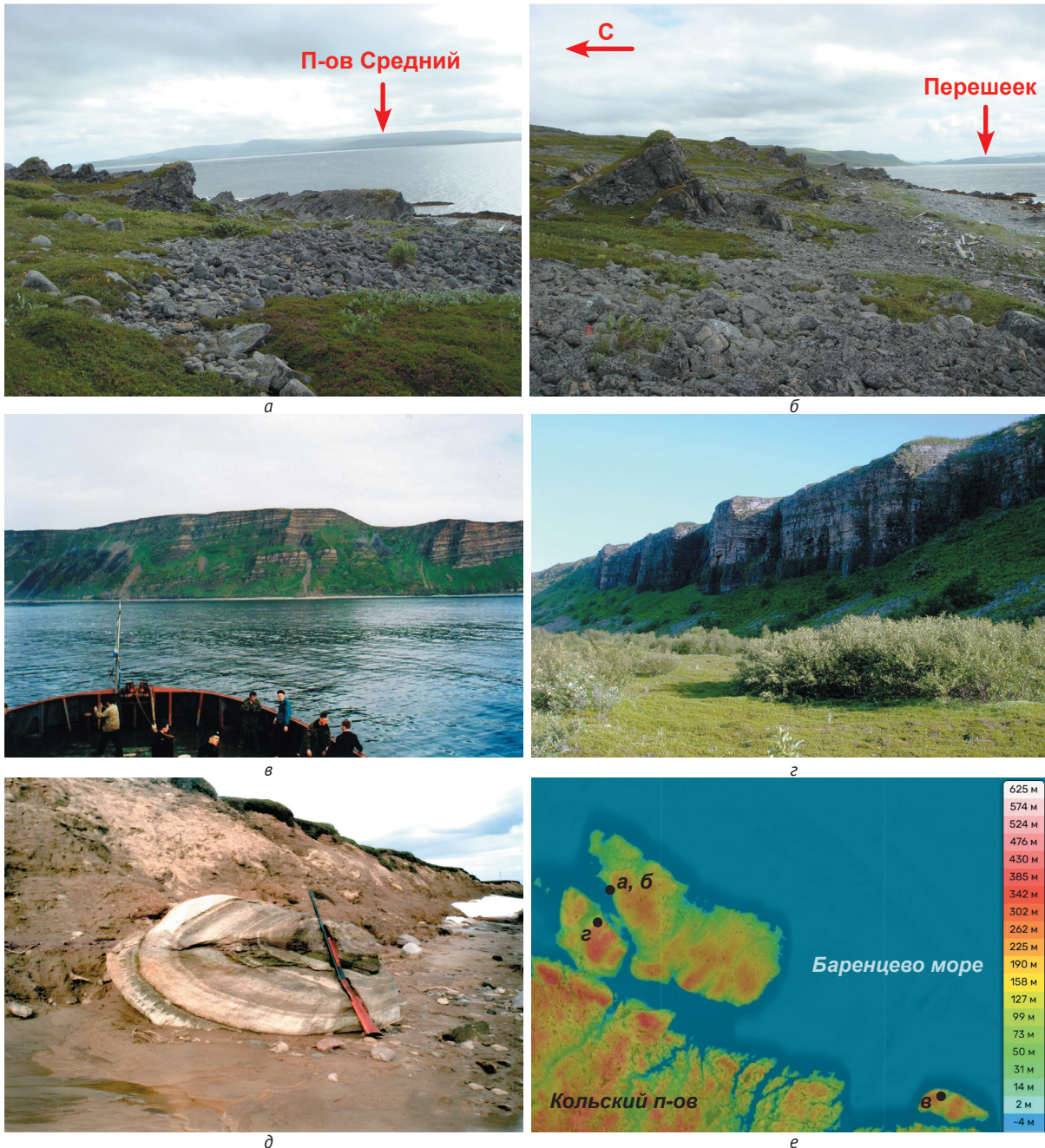


Рис. 2. Обнажения разрезов слагающих побережья исследуемого района пород, иллюстрирующие структурно-тектонические условия их залегания (фото Э. В. Шпилова).

а, б – южное побережье губы Большая Волоковая, полуостров Рыбачий. Обнажения рифейских пород Эйновской серии (лонская свита), вовлеченных в надвиговые деформации. Углы падения пластов различны и иногда превышают 40°. На рис. а на поверхности пласта отчетливо видны борозды скольжения.

в, г – обнажения верхнерифейских пород кильдинской серии (землепахтинская свита): в – на северном побережье острова Кильдин (фото с борта пограничного сторожевого корабля «Ладога»), г – на северном побережье полуострова Средний губы Большая Волоковая в зоне влияния структурного шва ТРК.

д – замковая часть байкальской складки, вскрытой абразионно-волноприбойной деятельностью на побережье полуострова Канин.

е – схема превышений рельефа (Google maps) с точками расположения объектов на приведенных фото

Fig. 2. Outcrops of rock sections making up the coast of the study area and illustrating the structural and tectonic conditions of their occurrence (photos by E. V. Shipilov).

а, б – southern coast of Bolshaya Volokovaya Bay, Rybachy Peninsula. Outcrops of Riphean rocks of the Einovskaya Series (Lonskaya Formation) involved in thrust deformations. The dip angles of the strata vary and sometimes exceed 40°. In Fig. а, slip grooves are clearly visible on the strata surface.

в, г – outcrops of Upper Riphean rocks of the Kildin Series (Zemlepakhtinskaya Formation): в – on the northern coast of Kildin Island (photo from onboard the border patrol ship “Ladoga”) and г – on the northern coast of the Sredny Peninsula, Bolshaya Volokovaya Bay, in the zone of influence of the TRK structural suture.

д – the hinge part of the Baikal fold exposed by abrasion and surf activity on the coast of the Kanin Peninsula.

е – relief elevation map (Google maps) with the locations of objects in the photos

На полуострове Среднем наиболее заметные тектонические дислокации отмечаются в полосе близлежащего влияния системы разломов ТРК. Здесь прежде всего обращает на себя внимание контрастно выраженный в рельефе уступ на северном побережье полуострова на границе с перешейком (см. фото на рис. 2г).

Геолого-геофизические данные (с интеграцией материалов ЭМЗ и АМТЗ) о распределении мощности осадочного комплекса

К настоящему времени на полуостровах имеются две точки с установленной мощностью осадочного чехла и отметками положения кровли фундамента: в пределах перикратонной области на полуострове Средний и обрамляющего пояса байкалитид-тиманид на полуострове Рыбачий. Обе точки расположены по разные стороны зоны разломов ТРК (см. рис. 1б).

Бурение скважины Пограничная П-1 в северо-восточной части полуострова Средний показало, что подошва верхнерифейских отложений (или кровля кристаллического фундамента) находится на глубине 1100 м [8; 14; 15; 21] (рис. 3).

Сейсмический разрез по профилю 1503001 с положением скважины П-1 показывает (см. рис. 3а), что подошва осадочного комплекса довольно устойчиво погружается в северо-восточном направлении и представлена горизонтом контрастных двухфазных отражений, не оставляющих сомнений о своей природе как рубеже различных по параметрам геологических образований. Принимая во внимание глубину залегания этой границы по результатам бурения и ее положение на временном сейсмическом разрезе, используя известную формулу, получаем значение пластовой скорости в чехле порядка 4,9 км/с, которое может быть использовано при дальнейших исследованиях. Например, при этой пластовой скорости максимальная мощность чехла на окончании приведенного фрагмента разреза по профилю 1503001 составляет уже порядка 1,5 км.

Нижняя часть осадочного комплекса заметно стратифицирована, отмечается присутствие клиноформ, отражающие площадки в основном залегают субсогласно кровле фундамента. Верхняя часть разреза характеризуется отсутствием каких-либо выдержанных горизонтов и скорее всего представлена свалом терригенного материала, снесенного с прилегающего щита.

Ниже поверхности кровли фундамента на сейсмическом разрезе зафиксирован непрерывный волнообразный горизонт, ступенчато углубляющийся на северо-восток. Эта граница в волновой картине представлена сопряженной комбинацией пакетов многофазных «жестких» отражающих горизонтов, обусловленных присутствием, как показывают результаты бурения, пластовых тел базальтоидов (см. рис. 3в).

На полуострове Рыбачий ситуация с определением структуры чехла и положения поверхности фундамента представляется более сложной. В сква-

жине Р-1 верхняя часть разреза до глубины 17 м занята терригенными отложениями, затем в интервале 17—400 м вскрыты плагиограниты с катаклазитами и глинками трения, еще ниже вскрыта 1000-метровая толща осадочных пород верхнего протерозоя. Полученные результаты бурения позволили предположить, что такая структурно-тектоническая картина (как один из вариантов) может быть обусловлена наличием лежащей антиклинальной складки, надвигнутой в южном направлении. Ядро складки сложено катаклазированными гранитами, при этом верхнее крыло почти полностью эродировано, а мощность нижнего крыла оценивается в 1000 м [15].

Таким образом, имеющиеся сведения о строении тектонических элементов зоны сочленения Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ как минимум требуют либо уточнения, либо подтверждения другими методами геолого-геофизических исследований, что подразумевает необходимость их сопоставления и комплексного анализа.

В этой связи сотрудники Полярного геофизического института РАН провели экспериментальные работы по электромагнитному зондированию земной коры полуостровов Средний и Рыбачий. Технические и методические вопросы проведения этих исследований описаны нами в [16; 17 и др.]. Здесь же мы излагаем наиболее важные для расшифровки геологического строения данные, зафиксированные в результирующих графиках и их интерпретационных характеристиках, что позволяет представить обобщенные геоэлектрические разрезы в выбранных точках на полуостровах.

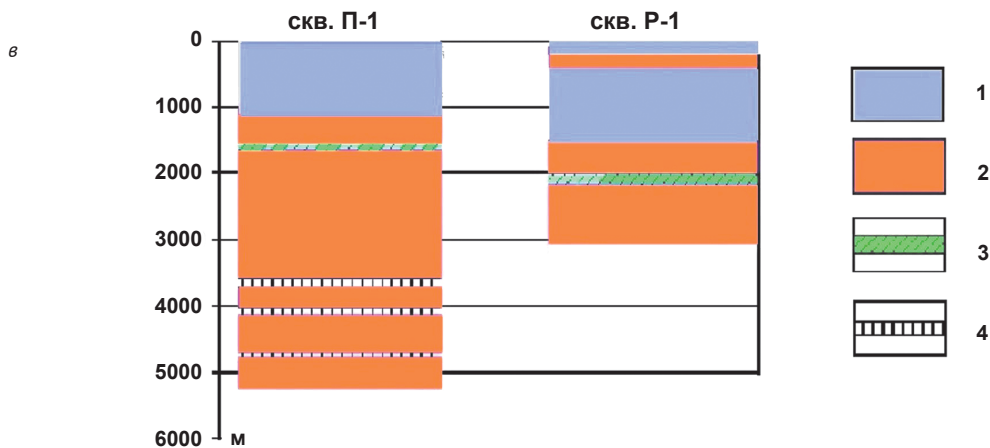
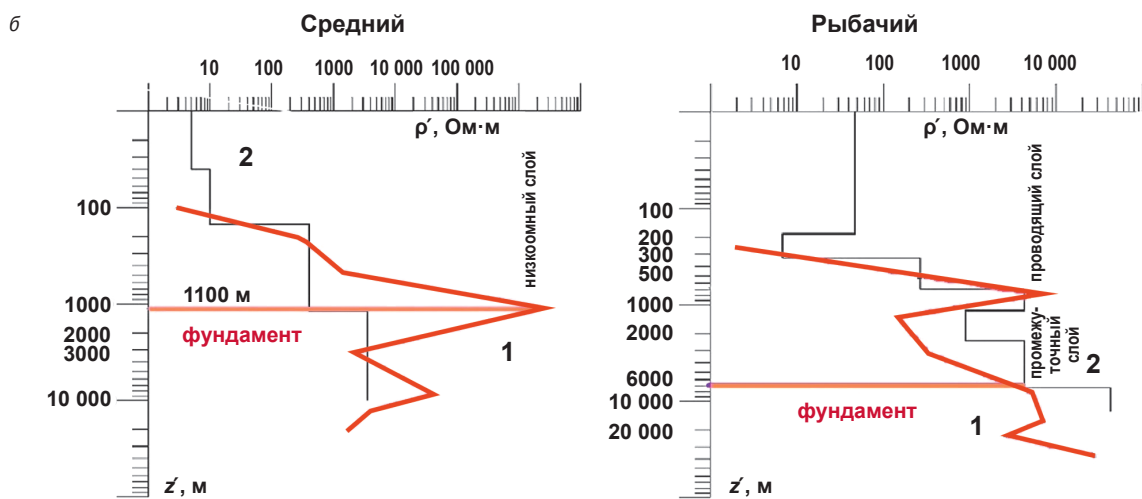
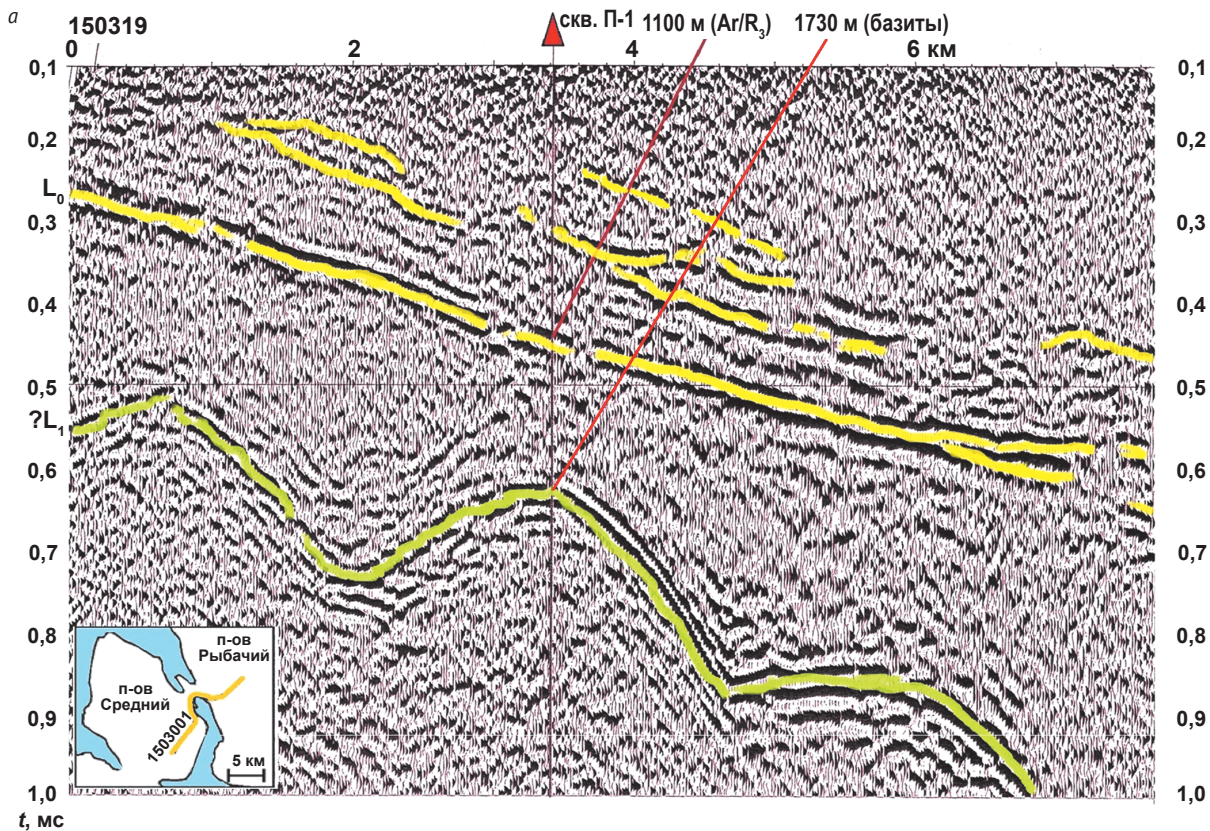
Расположение одной точки ЭМЗ было выбрано вблизи от скважины П-1 на полуострове Средний, чтобы провести непосредственную корреляцию (калибровку) геоэлектрического разреза с разрезом скважины. Другая точка ЭМЗ располагается в южной части полуострова Рыбачий примерно в 5 км к северо-востоку от скважины Р-1.

Для построения геоэлектрических разрезов земной коры полученные экспериментальные кривые зависимости кажущегося сопротивления ρ_k от частоты электромагнитного поля f были преобразованы в графики зависимости действующего сопротивления среды ρ' от действующей глубины z' с помощью существующих методик [17]. Соответствующие графики представлены на рис. 3б.

Первые результаты, изложенные в [16; 17], заключались в подборе одномерных моделей геоэлектрических разрезов земной коры отдельно для полуостровов Средний и Рыбачий.

На полуострове Средний геоэлектрическая модель земной коры (кривая 2 на рис. 3б) более соответствует простой двухслойной среде. Она состоит из низкоомного верхнего слоя до глубины 1200 м с сопротивлением порядка 5—400 Ом·м и относительно высокоомного основания с сопротивлением 3500 Ом·м.

По полученным данным ЭМЗ построены графики зависимости действующего сопротивления среды ρ' от действующей глубины z' (кривая 1 на рис. 3б).



Из приведенных графиков видно, что для полуострова Средний на кривой трансформации данных ЭМЗ главный максимум на глубине 1120 м соответствует положению границы кристаллического фундамента, вскрытой скважиной Пограничная-1 на глубине 1100 м (рис. 3в). Второй максимум на глубине 8580 м соответствует некоторой границе в земной коре, установленной по данным сейсмики. По сейсмическим данным на этих глубинах ранее предполагалась граница фундамента [12; 13].

Для полуострова Рыбачий геоэлектрическая модель (кривая 2 на рис. 3б) состоит из проводящего верхнего слоя до глубины 600 м с сопротивлением порядка 7—300 Ом·м и относительно высокоомного слоя с сопротивлением 5000 Ом·м в пределах глубин 600—1000 м. На глубинах 1000—2000 м выделяется слой с относительно пониженным сопротивлением 1000 Ом·м. Слой с сопротивлением 5000 Ом·м находится в пределах глубин 2000—6000 м и подстилается высокоомным основанием с сопротивлением 50 000 Ом·м.

Точка ЭМЗ на полуострове Рыбачий, как уже отмечалось, находится на удалении около 5 км от скважины Р-1, поэтому здесь наблюдается определенное отличие геоэлектрического разреза ЭМЗ от разреза скважины. Первый максимум на графике зависимости действующего сопротивления среды ρ' от действующей глубины z' по данным ЭМЗ (кривая 1 на рис. 3б), наблюдаемый на глубине 670 м, соответствует приповерхностным породам осадоч-

ного чехла, что согласуется с данными двухмерной инверсии данных АМТЗ [22]. Если судить по разрезу пробуренной на перешейке между полуостровами Средний и Рыбачий скважины Р-1 [14; 15], верхний слой до 600 м составляют относительно высокоомные песчаники и гравеллиты. Далее происходит понижение действующего сопротивления среды с глубиной, вероятно, обусловленное более низкоомными осадочными породами. Второй широкий диапазон повышения действующего сопротивления соответствует глубинам 5700—10 000 м. На глубинах порядка 6000 м по результатам двухмерной инверсии данных АМТЗ для южной части полуострова Рыбачий (севернее скважины Р-1) и в районе расположения точки наблюдения 1 (см. рис. 1б) предполагается граница фундамента [22]. По данным сейсмики, на глубинах порядка 6000 и 10 000 м также отбиваются некоторые границы [12; 13], но в целом кривая данных ЭМЗ демонстрирует в этом интервале высокое действующее сопротивление среды, характерное для пород кристаллического фундамента.

Сводный геолого-геофизический разрез и его интерпретация

С учетом имеющихся данных нами составлен комплексный геолого-геофизический разрез по профилю, проложенному через полуострова и соединяющую их перемычку до кристаллических образований Кольского полуострова. Положение профиля выбрано исходя из ориентировки на локализацию в поле его нахождения линии сейсморазведочного разреза, точек ЭМЗ и АМТЗ, позиции параметрических скважин (см. рис. 1б). Разрез дополнен графиком аномалий силы тяжести и профилем рельефа суши полуостровов (рис. 4). Подчеркнем, что извилистая линия сейсмического профиля превосходит по длине геоэлектрический разрез АМТЗ. Тем не менее мы сочли возможным графически сопоставить разрезы МОВ ОГТ [10—13] и АМТЗ [22] на всю длину обоих, несмотря на различие в масштабах, чтобы отразить всю зафиксированную ими информацию.

Прежде всего следует отметить соотношение профиля рельефа и графика гравитационного поля (см. рис. 4а и 4в). Из их сравнения следует, что полуостров Рыбачий, уступающий Среднему в высотных отметках, характеризуется более высоким уровнем значений на графике гравитационного поля, на фоне которого заметен его небольшой локальный минимум. Гравитационный максимум на графике связывается с выступом фундамента в районе скважины Р-1 и разломной зоны ТРК, после которого уровень поля заметно снижается в пределах полуострова Средний. Даже одни эти показатели свидетельствуют о значимом различии в строении полуостровов.

Как показывает геоэлектрический разрез АМТЗ через полуостров Рыбачий (см. рис. 4б), в его недрах залегают породы, характеризующиеся высокой степенью нарушенности и дезинтеграции. Расположенные по обе стороны полуостровов морские бассейны в тектоническом отношении соединены между со-

4 Рис. 3. Сопоставление положения границы осадочный чехол/фундамент по данным сейсморазведки МОВ ОГТ, ЭМЗ и бурения.

а — юго-западный фрагмент временно́го сейсмического разреза по профилю 150001 (на врезке его положение на карте) (по материалам ОАО «Саратовнефтегеофизика», 2003) с изменениями и интерпретацией автора;

б — графики зависимости действующего сопротивления среды ρ' от действующей глубины z' для точек на полуостровах Средний и Рыбачий. Кривые 1 соответствуют результатам трансформации для данных ЭМЗ с контролируемым источником, кривые 2 демонстрируют подобранные одномерные модели геоэлектрического разреза среды [16; 17];

в — схематические геологические колонки по скважинам П-1 и Р-1 по [14; 15] с изменениями: 1 — осадочные породы протерозоя, 2 — гранитоиды архея, 3 — базиты, 4 — метагипербазиты

Fig. 3. Comparison of the sedimentary cover/basement boundary position based on SRM (seismic reflection method) SDP, EMS and drilling seismic data.

а — southwestern fragment of the time seismic section along profile 150001 (position in the inset) (based on materials from Saratovneftegeofizika, 2003) with modifications and author's interpretation;

б — graphs of the effective resistivity of the medium ρ' versus the effective depth z' for points on the Sredniy and Rybachy Peninsulas. Curves 1 correspond to the transformation results for EMS data with a controlled source, curves 2 demonstrate the selected one-dimensional models of the geoelectric section of the medium [16; 17];

в — schematic geological columns for wells P-1 and R-1 according to [14; 15] with changes: 1 — sedimentary rocks of the Proterozoic, 2 — granite gneisses of the Archean, 3 — basites, 4 — metahyperbasites

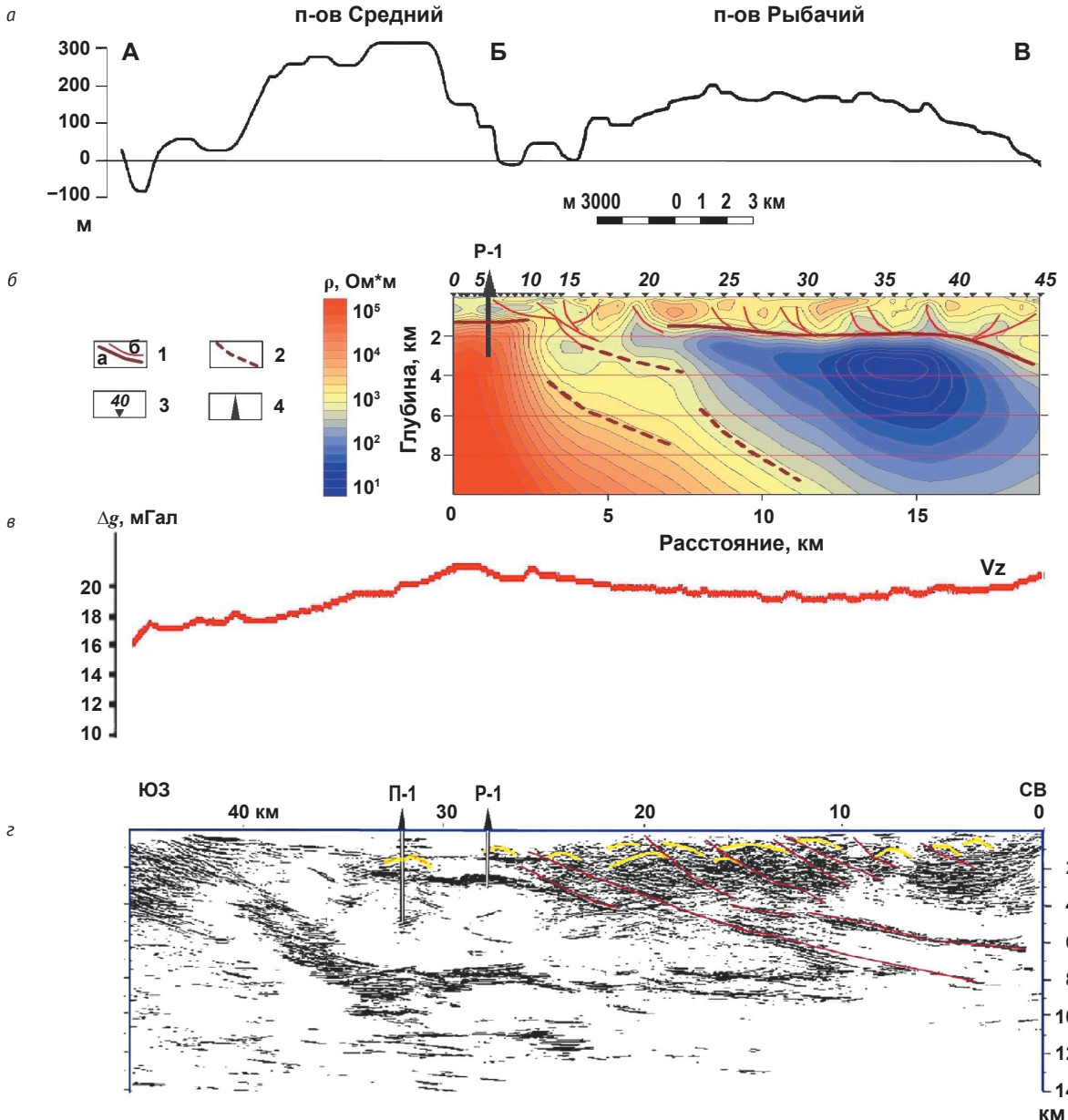


Рис. 4. Комплексный геолого-геофизический разрез через полуострова Средний и Рыбачий. а – кривая профиля рельефа по линии А-Б-В (положение указано на рис. 16); б – геоэлектрический разрез по результатам двухмерной инверсии данных АМТЗ по [22] с изменениями и дополнениями; 1 – уверенные границы, 2 – предполагаемые границы, 3 – точки АМТЗ, 4 – скважина; в – график гравитационного поля по линии сейсмического профиля (положение профиля указано на рис. 16); z – глубинный сейсмический разрез МОВ [13] с интерпретацией, изменениями и дополнениями (положение указано на рис. 16)

Fig. 4. Complex geological and geophysical section across the Sredny and Rybachy Peninsulas. а – relief profile curve along line A-B-C (location in Fig. 16); б – geoelectric section based on the results of two-dimensional inversion of AMTS (audio magnetotelluric sounding) data according to [22], with modifications and additions; 1 – confident boundaries, 2 – inferred boundaries, 3 – AMTS points, 4 – well; в – gravity field graph along the seismic profile line (location in Fig. 16); z – deep seismic reflection section [13], with interpretation, modifications, and additions (location in Fig. 16)

бой наклонной зоной надвиго-сдвиговых разломов ТРК. Эта зона послужила водопродводящей системой, что привело к водонасыщенности трещиноватых пород, о чем свидетельствует наличие высокопроводящей линзообразной области под полуостровом (по существу резервуара), зафиксированной на разрезе АМТЗ (см. рис. 4б).

Безусловно, отмеченные элементы строения оказали соответствующее влияние и на уровень гра-

витационной составляющей полуострова. Однако, как представляется, основополагающие факторы, предопределившие структурно-тектонический облик полуострова Рыбачий, — это процессы надвигообразования, приведшие к динамическому сжатию и складкообразованию. Несмотря на неоднозначную интерпретационную информативность регионального сейсмического разреза МОГТ [11–13], можно констатировать, что в верхней части вол-

новой картины примерно до глубины 2,5 км можно различить некоторые структурные неоднородности в осадочном чехле (см. рис. 4г).

В этом интервале разреза нами с различной степенью уверенности выделяется серия коротких дугообразных отражающих горизонтов. Наличие таких структурных элементов, обозначенных в волновой картине на сейсморазрезе, подтверждается отображением подобных антиклинальных структур в верхней части на разрезе АМТЗ, свидетельствуя об их реальном присутствии (см. рис. 4б). На геоэлектрическом разрезе такие многочисленные «антиклинальные складки» в [22] связываются с разломной тектоникой. Однако, по нашему мнению, учитывая общетектоническую характеристику Тимано-Варангерского пояса байкалит, приведенные данные с большой вероятностью свидетельствуют, что такая структурно-тектоническая ситуация (сочетание разломов и складок) обусловлена процессами чешуйчатого надвигообразования. В ряде публикаций указывается на наклон осевых поверхностей складок в юго-западном направлении. Учитывая приведенные данные, мы предполагаем чешуйчатое строение этих деформаций. Наша интерпретационная версия проиллюстрирована в верхней части геоэлектрического разреза (см. рис. 4б). В подошвенной части этих деформаций не исключено наличие детачмента как необходимого геодинамического элемента механизма создания подобной геоструктурной ситуации.

Обсуждение и заключение

Приведенные в статье фактические данные свидетельствуют о существенном вкладе методов электромагнитного зондирования в расшифровку строения таких малоизученных районов, как полуострова Средний и Рыбачий, значительно расширяя параметрическую базу данных об их дифференцированной структуре. Если на Среднем строение разреза относительно простое — осадочная толща и фундамент, то на Рыбачьем надвиго-сдвиговые процессы значительно усложнили конструкцию разреза. Показательны в этом отношении не только результаты бурения (хотя по скважине на Рыбачьем имеется ряд вопросов, связанных с расчленением и стратификацией вскрытого разреза), но и материалы ЭМЗ. Построенные по результатам этих работ графики зависимости действующего сопротивления среды от действующей глубины и подобранные модели геоэлектрического разреза указывают не только на увеличение мощности чехла до 6—7 км, но и на чередование в его строении различных по физическим свойствам литологических разностей пород с присутствием относительно высокоомных слоев. При этом на полуострове Средний графики ЭМЗ показывают, что породы кристаллического основания (фундамента) имеют значительно большее сопротивление среды, чем на Рыбачьем. Сложная сейсмическая картина на разрезе в пределах последнего позволяет предположить значительное влияние на

волновое поле пологих зон разломов, выявление и наличие которых еще предстоит обосновать.

Геофизические материалы подтверждают значительную концентрацию складчато-разрывных деформаций на полуострове Рыбачий. В противоположность этому приведенные сейсмические разрезы и другие материалы по Среднему не дают оснований говорить о наличии каких-либо заметных нарушений или разломов, но указывают на нарастание мощности чехла в северном направлении до ~1,5 км непосредственно у зоны ТРК. Севернее, на другой стороне ТРК, в пределах уже южной территории полуострова Рыбачий на разрезе АМТЗ обнаруживается что-то наподобие кармана, заполненного, судя по всему, поднадвиговыми отложениями мощностью до 6—7 км. Наши данные ЭМЗ подтверждают наличие преувеличенной мощности осадочного чехла на юге этого полуострова.

Что касается предполагаемой поверхности срыва (детачмента) как необходимого элемента в механизме формирования серии складчатых структур на полуострове Рыбачий, то схожая тектоническая ситуация имеет место на полуострове Варангер [20], куда прослеживается зона разломов ТРК.

Финансирование

Работа подготовлена в рамках выполнения госзадания FMES-2025-0001 по теме «Применение электромагнитных волн искусственного и естественного происхождения (включая волны крайне низкочастотного диапазона) для исследования перколяционных систем в высокоширотной ионосфере и литосфере Российской Арктики».

Благодарность

Авторы статьи выражают признательность рецензенту за высказанные замечания, способствовавшие ее улучшению и более глубокому проникновению в суть геологической архитектуры объекта исследования.

Литература/References

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист R-(35), 36: Объяснительная записка. — Мурманск; Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. — 289 с.
State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Sheet R-(35), 36. Explanatory Note. Murmansk; St. Petersburg, VSEGEI Publ. House, 2005, 289 p. (In Russian).
2. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И., Журавлев В. А. Глубинное строение и тектоника зоны сочленения Восточно-Европейского кратона (Балтийский щит) и Западно-Арктической платформы по комплексу геолого-геофизических данных // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. — Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2008. — С. 356—358.
Shipilov E. V., Shkarubo S. I., Zhuravlev V. A. Deep structure and tectonics of the junction zone of the East

European Craton (Baltic Shield) and the West Arctic Platform based on a set of geological and geophysical data. Relationship of surface structures of the earth's crust with deep ones. Petrozavodsk, Publ. House of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2008, pp. 356—358. (In Russian).

3. Шипилов Э. В., Орго В. В., Шкарубо С. И., Мусатов Е. Е. Тектоника: Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист R-38-40 — о. Колгуев. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. — С. 128—148.

Shipilov E. V., Orgo V. V., Shkarubo S. I., Musatov E. E. Tectonics: Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (new series). Sheet R-38-40 — Kolguev Island. St. Petersburg, VSEGEI, 2003, pp. 128—148. (In Russian).

4. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И., Ковальчук Е. А. Структура и литологический состав разреза отложений Кольского залива (фиорда) по данным бурения и сейсмоакустики и неотектонические условия его формирования // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 4 (28). — С. 72—82.

Shipilov E. V., Shkarubo S. I., Kovalchuk E. A. Structure and the lithological composition of the section of the deposits of Kola Bay (Fiord) according to the data of drilling wells and seismoacoustics and the neotectonic conditions of its formation. Arctic: Ecology and Economy, 2017, no. 4 (28), pp. 72—82. (In Russian).

5. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И. Тектоника. Западно-Арктическая платформа: Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Листы R-37, 38: м. Святой Нос, м. Канин Нос. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. — С. 131—142.

Shipilov E. V., Shkarubo S. I. Tectonics. West Arctic platform: Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Sheets R-37, 38: Cape Svyatoy Nos, Cape Kanin Nos. St. Petersburg, VSEGEI, 2008, pp. 131—142. (In Russian).

6. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И. Тектоника Баренцево-морской континентальной окраины: Система Баренцева моря / Под ред. А. П. Лисицына. — М.: GEOS, 2021. — С. 11—25.

Shipilov E. V., Shkarubo S. I. Tectonics of the Barents Sea continental margin: Barents Sea System. Ed. by A. P. Lisitsyn. Moscow, GEOS, 2021, pp. 11—25. (In Russian).

7. Mitrofanov F. P., Pozhilenko V. I., Smolkin V. F., Arzamastsev A. A., Yevzerov V. Ya., Lyubtsov V. V., Shipilov E. V., Nikolayeva S. B., Fedotov Z. A. Geology of the Kola peninsula (Baltic shield). Geological Institute, Kola Science Centre. Apatity, 1995, 145 p.

8. Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е., Глазнев В. Н. и др. Архей и неопротерозой полуостровов Рыбачий и Средний (Балтийский щит): геология, геодинамика, нефтегазоносность и алмазоносность. — Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2022. — 853 с.

Sorokhtin N. O., Kozlov N. E., Glaznev V. N., Kulikov N. V., Chikirev I. V., Martynov E. V., Marchuk T. S. Archean and Neoproterozoic of the Rybachy and Sredny Peninsulas

(Baltic Shield): Geology, Geodynamics, Oil and Gas Potential, and Diamond Potential. Apatity, Publ. House of the Federal Research Center of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 2022, 853 p. (In Russian).

9. Журавлев В. А., Шипилов Э. В. Строение бассейнов Беломорской рифтовой системы // Океанология. — 2008. — Т. 48, № 1. — С. 123—131.

Zhuravlev V. A., Shipilov E. V. Structure of the basins of the White Sea rift system. Oceanology, 2008, vol. 48, no. 1, pp. 123—131. (In Russian).

10. Заможняя Н. Г. Регионально-зональные сейсморазведочные работы МОВ ОГТ на п-ове Рыбачий с целью изучения геологического строения и перспектив нефтегазоносности рифейских отложений. — М.: М-во природ. ресурсов РФ, ФГУ ГНПП «Спецгеофизика», 2001. — 120 с.

Zamozhnaya N. G. Regional-zonal seismic exploration works using CDP on the Rybachy Peninsula with the aim of studying the geological structure and oil and gas potential of the Riphean deposits. Moscow, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Federal State Research and Production Enterprise "Spetsgeofizika", 2001, 120 p. (In Russian).

11. Исанина Э. В., Крупнова Н. А., Пожиленко В. И. и др. Возможности сейсмических методов при детальном изучении строения земной коры района полуостровов Средний-Рыбачий (суша-море) // Тр. Ферсман. науч. сессии ГИ КНЦ РАН. — 2007. — № 4. — С. 272—275.

Isanina E. V., Krupnova N. A., Pozhilenko V. I., Stupak V. M., Sharov N. V. Capabilities of seismic methods in a detailed study of the structure of the earth's crust in the area of the Sredny-Rybachy Peninsulas (land-sea). Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Geological Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 2007, no. 4, pp. 272—275. (In Russian).

12. Строение литосферы российской части Баренц-региона / Ред. Н. В. Шаров, Ф. П. Митрофанов, М. Л. Верба, К. Гиллен. — Петрозаводск: Кар. науч. центр РАН, 2005. — 318 с.

Structure of the lithosphere of the Russian part of the Barents region. Ed. by N. V. Sharov, F. P. Mitrofanov, M. L. Verba, K. Gillen. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2005, 318 p. (In Russian).

13. Шаров Н. В., Исанина Э. В., Крупнова Н. А. и др. Повышение достоверности геологических моделей земной коры района полуостровов Средний — Рыбачий на основе комплексирования сейсмических методов ОГТ, ГСЗ, МРС // Урал. геофиз. вестн. — 2007. — № 4 (13). — С. 98—106.

Sharov N. V., Isanina E. V., Krupnova N. A., Pozhilenko V. I., Stupak V. M. Increasing the reliability of geological models of the earth's crust in the area of the Sredny — Rybachy Peninsulas based on the integration of seismic methods of CDP, DSS, and MRS. Ural Geophysical Bull., 2007, no. 4 (13), pp. 98—106. (In Russian).

14. Куликов Н. В., Коновалов В. А., Медведев С. А., Чигвинцев В. Д. Новые данные о геологическом строе-

- нии севера Кольского полуострова // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 4. — С. 22—25.
- Kulikov N. V., Kononov V. A., Medvedev S. A., Chigvinsev V. D. New data on the geological structure of the north of the Kola Peninsula. Exploration and protection of mineral resources, 2007, no. 4, pp. 22—25. (In Russian).
15. Медведев С. А., Медведев Ст. А., Коновалов В. А. Новые данные о геологическом строении северной части Кольского полуострова (блок Рыбачий-Средний) // Отечеств. геология. — 2009. — № 6. — С. 60—65.
- Medvedev S. A., Medvedev St. A., Kononov V. A. New data on the geological structure of the northern part of the Kola Peninsula (Rybachy-Sredny block). Otechestvennaya Geologiya, 2009, no. 6, pp. 60—65. (In Russian).
16. Любич В. А., Шпилов Э. В., Юрик Р. Ю. Первые результаты экспериментального электромагнитного зондирования земной коры на полуостровах Средний и Рыбачий // Тр. Ферсман. науч. сессии ГИ КНЦ РАН. — 2020. — № 17. — С. 334—338.
- Lyubchich V. A., Shipilov E. V., Yurik R. Yu. First results of experimental electromagnetic sounding of the earth's crust on the Sredny and Rybachy peninsulas. Proceedings of the Fersman scientific session of the Geological Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 2020, no. 17, pp. 334—338. (In Russian).
17. Любич В. А. Исследование строения литосферы высокоширотных районов Западно-Арктической континентальной окраины по результатам эксперимента FENICS-2019 // Изв. РАН. Сер. Физическая. — 2021. — Т. 85, № 3. — С. 378—382.
- Lyubchich V. A. Study of the structure of the lithosphere of high-latitude regions of the West Arctic continental margin based on the results of the FENICS-2019 experiment. Bull. of the Russian Academy of Sciences. Physical Series, 2021, vol. 85, no. 3, pp. 378—382. (In Russian).
18. Митяев М. В. Вертикальная расчлененность рельефа и линеаменты полуостровов Рыбачий и Средний (Кольский полуостров) // Тр. Кольского науч. центра РАН. Сер. Естеств. и гуманитар. науки. — 2025. — Т. 4, № 2. — С. 106—123.
- Mityaev M. V. Vertical dissection of the relief and lineaments of the Rybachy and Sredny Peninsulas (Kola Peninsula). Transactions of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. Ser. Natural Sciences and Humanities, 2025, vol. 4, no. 2, pp. 106—123. (In Russian).
19. Зайцев В. А., Морозов Ю. А., Шолпо В. Н. Структурно-кинематический анализ деформаций рифейского комплекса полуостровов Рыбачий и Средний // Тезисы XXXIV Тектонического совещания. — Т. 1. — М.: ГЕОС, 2001. — С. 235—239.
- Zaitsev V. A., Morozov Yu. A., Sholpo V. N. Structural and kinematic analysis of deformations of the Riphean complex of the Rybachy and Sredny Peninsulas. Neogene Tectonics: General and Regional Aspects. Proceedings of the XXXIV Tectonic Conference. Vol. 1. Moscow, GEOS, 2001, pp. 235—239. (In Russian).
20. Gabrielsen R. H., Roberts D., Gjelsvik T., Sygnabere T. O., Hassaan V., Faleide J. I. Double-folding and thrust-front geometries associated with the Timanian and Caledonian orogenies in the Varanger Peninsula, Finnmark, North Norway. J. of the Geological Society, 2022, vol. 179.
21. Глазнев В. Н., Сорохтин Н. О., Раевский А. Б., Козлов Н. Е. Идентификация коровых отражений в зоне перехода от Балтийского щита к Баренцево-морской плите как основа прогнозирования полезных ископаемых // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. — 2014. — № 1. — С. 95—102.
- Glaznev V. N., Sorokhtin N. O., Raevsky A. B., Kozlov N. E. Identification of crustal reflections in the transition zone from the Baltic Shield to the Barents Sea Plate as a basis for mineral resource forecasting. Bull. of Voronezh State University. Ser. Geology, 2014, no. 1, pp. 95—102. (In Russian).
22. Сараев А. К., Антащук К. М., Еремин И. С. Возможности аудиоманнителлурических зондирования с бесконтактными электрическими линиями при изучении геоэлектрического строения полуострова Рыбачий (Мурманская область) // Криосфера Земли. — 2018. — Т. 22, № 5. — С. 65—76.
- Saraev A. K., Antashchuk K. M., Eremin I. S. Possibilities of audio magnetotelluric soundings with contactless electric lines in studying the geoelectric structure of the Rybachy Peninsula (Murmansk region). Earth's Cryosphere, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 65—76. (In Russian).

Информация об авторах

Шпилов Эдуард Викторович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН (183010, Россия, Мурманск, ул. Халтурина, д. 15), e-mail: shipilov@pgi.ru.

Любич Владимир Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН (183010, Россия, Мурманск, ул. Халтурина, д. 15).

Саакян Олег Товмасович, старший инженер, Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН (183010, Россия, Мурманск, ул. Халтурина, д. 15), e-mail: saakyan@pgi.ru.

Шаповалова Юлия Александровна, младший научный сотрудник, Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН (183010, Россия, Мурманск, ул. Халтурина, д. 15), e-mail: yulia@pgi.ru.

Швец Михаил Васильевич, ведущий электроник, Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН (183010, Россия, Мурманск, ул. Халтурина, д. 15), e-mail: shvec@pgi.ru.

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE EXTREME NORTHERN SEGMENT OF THE KOLA PENINSULA (SREDNY AND RYBACHY PENINSULAS) BASED ON A SET OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA

Shipilov, E. V., Lyubchich, V. A., Saakyan, O. T., Shapovalova, Yu. A., Shvets, M. V.

Polar Geophysical Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Murmansk, Russian Federation)

The article was received on November 6, 2025

For citing

Shipilov E. V., Lyubchich V. A., Saakyan O. T., Shapovalova Yu. A., Shvets M. V. Structural characteristics of the extreme northern segment of the Kola Peninsula (Sredny and Rybachy Peninsulas) based on a set of geological and geophysical data. *Arctic: Ecology and Economy*, 2026, vol. 16, no. 2, pp. 181—192. DOI: 10.25283/2223-4594-16-2-181-192. (In Russian).

Abstract

Based on the analysis, comparison, and interpretation of a set of geological and geophysical data, including the results of borehole drilling, seismic exploration, electromagnetic (EMT) and audio-magnetotelluric (AMT) soundings, the authors have estimated the thickness distribution of the Upper Proterozoic cover within the pericratonic region of the East European Platform (Sredniy Peninsula) and the Timan-Varanger Belt of the Baikhalides (Rybachy Peninsula). They have illustrated differences in the structure of these geostructural-formational blocks, reflected not only in the rock bedding conditions and the parameters of the wellbore sections, but also in the wave field and, according to EMS data, in characteristic changes in the graphs of the effective resistivity versus effective depth. On the Sredny Peninsula, EMS graphs show that the crystalline basement rocks have significantly higher resistivity than on the Rybachy Peninsula. The complex seismic pattern in the section within the latter suggests a significant influence of gently sloping fault zones on the wave field. For the first time, based on a consolidated geological and geophysical section across the peninsula, the authors have demonstrated the presence of structural-deformational heterogeneities of the cover in the form of scaly folding on the Rybachy Peninsula, reflected both in the regional seismic and in the AMTS geoelectric section.

Keywords: *Kola Peninsula, Sredny and Rybachy Peninsulas, East European and West Arctic platforms, junction zone, pericratonic region, geological and geophysical data, structural and formational complexes, fold-and-thrust dislocations, seismic exploration, boreholes, gravimetry, electromagnetic studies, structural and tectonic plan.*

Funding

The paper was prepared as part of State Assignment FMES-2025-0001 on the topic “Application of Artificial and Natural Electromagnetic Waves (Including Extremely Low-Frequency Waves) to Study Percolation Systems in the High-Latitude Ionosphere and Lithosphere of the Russian Arctic”.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the reviewer for his comments, which contributed to the improvement and a deeper understanding of the geological architecture of the study object.

Information about the authors

Shipilov, Eduard Viktorovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief Researcher, Polar Geophysical Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (15, Khalturina St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: shipilov@pgi.ru.

Lyubchich, Vladimir Alekseevich, PhD of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, Polar Geophysical Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (15, Khalturina St., Murmansk, Russia, 183010).

Saakyan, Oleg Tovmasovich, Senior Engineer, Polar Geophysical Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (15, Khalturina St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: saakyan@pgi.ru.

Shapovalova, Yulia Aleksandrovna, Junior Researcher, Polar Geophysical Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (15, Khalturina St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: yulia@pgi.ru.

Shvets, Mikhail Vasilievich, Leading Electronics Engineer, Polar Geophysical Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (15, Khalturina St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: shvec@pgi.ru.