

## Комплексные исследования тектонических деформаций в зоне Имандра-Колвицкого активизированного разлома (Кольский полуостров)

Шварев С. В.<sup>1,2</sup>, Бондарь И. В.<sup>1,2</sup>, Гуринов А. Л.<sup>2</sup>, Королева А. О.<sup>1,2</sup>, Луговой Н. Н.<sup>1,3</sup>, Яковенко А. К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт географии РАН, Москва, shvarev@igras.ru*

<sup>2</sup> *Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва*

<sup>3</sup> *Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва*

**Аннотация.** Комплексные геолого-геоморфологические, геофизические, структурно-геологические и тектонофизические исследования проведены на двух участках выделенного ранее Имандра-Колвицкого активизированного разлома в юго-западной части Кольского п-ова. Имандра-Колвицкий разлом, северо-западного простирания, прослеживается на протяжении более 100 км от восточной части озера Имандра до п-ова Турий, пересекая низкогорный массив Кандалакшских тундр и обрамляя котловину Колвицкого озера и низкогорный массив Колвицких тундр по западному и восточному флангам соответственно. Цель работы – установление взаимосвязей между современным рельефом, рельефом поверхности фундамента, пространственной локализацией и строением четвертичного чехла, тектоническими и сеймотектоническими деформациями в рельефе, подстилающих рыхлых отложениях и скальных породах. В результате проведенных исследований составлены детальные батиметрические модели дна озер Колвицкое и Среднее Лувеньгское на ключевых участках, детальные цифровые модели рельефа прилегающей суши, выполнены георадарные профили в пределах акваторий и береговой зоны, задокументированы обнажения скальных пород и разрезы рыхлых отложений с сейсмогенными деформациями. Установлены: 1) детальная пространственная структура активизированного Имандра-Колвицкого разлома, его позиция в поле тектонических напряжений, генеральные кинематические характеристики; 2) проявления разлома в современном субаэральном и субаквальном рельефе; 3) соотношение разлома со структурой и распределением четвертичных отложений; 4) проявления разлома в рельефе поверхности фундамента; 5) признаки активности разлома в сейсмогенных деформациях (сеймотектонических, сейсмогравитационных, сейсмовибрационных) в рельефе и отложениях.

**Ключевые слова:** сейсмогенные деформации, георадиолокация, цифровые модели рельефа, батиметрическая съемка, геологические стресс-индикаторы.

## Comprehensive studies of tectonic deformations in the Imandra-Kolvitsky activated fault zone (Kola Peninsula)

Shvarev S. V.<sup>1,2</sup>, Bondar I. V.<sup>1,2</sup>, Gurinov A. L.<sup>2</sup>, Koroleva A. O.<sup>1,2</sup>, Lugovoy N. N.<sup>1,3</sup>, Yakovenko A. K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, shvarev@igras.ru*

<sup>2</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>3</sup> *Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow*

**Abstract.** Comprehensive geological and geomorphological, geophysical, structural-geological and tectonophysical studies were carried out at two sites of the previously declared Imandra-Kolvitsky activated fault in the south-western part of the Kola Peninsula. The Imandra-Kolvitsky fault, of northwestern extension, can be traced over 100 km from the eastern part of Lake Imandra to the Turii Peninsula, crossing the low-mountain massif of the Kandalaksha Tundra and framing the basin of Lake Kolvitsky and the low-mountain massif of the Kolvitsky Tundra on the western and eastern flanks, respectively. The aim of the work is to establish the interrelationships between the modern relief, the relief of the crystalline basement surface, the spatial localization and structure of the quaternary cover, tectonic and seismotectonic deformations in the relief, underlying loose sediments and rocks. As a result of the conducted research, detailed bathymetric models of the bottom of the Kolvitskoye and Sredneye Luvengskoye lakes in key areas, detailed digital models of the relief of the adjacent land, georadar profiles within the waters and coastal zone were made, rock outcrops and sections of loose sediments with seismogenic deformations were documented. Installed: 1) detailed spatial structure of the activated Imandra-Kolvitsky fault, its position in the field of tectonic stresses, general kinematic characteristics; 2) manifestations of the fault in modern subaerial and subaqueous relief; 3) the relationship

of the fault with the structure and distribution of quaternary sediments; 4) manifestations of the fault in the relief of the foundation surface; 5) signs of fault activity in seismogenic deformations (seismotectonic, seismogravitational, seismovibration) in relief and sediments.

**Keywords:** seismogenic deformations, GPR profiles, digital relief models, bathymetric survey, geological stress indicators.

### **Введение**

На территории Фенноскандии многочисленны свидетельства сильной сейсмической активности в поздне-последледниковое время (Mörner, 2004; Lagerbäck&Sund, 2008; Steffen et al., 2022). Обнаружены все характерные типы сейсмодеформаций – первичные (сейсмотектонические), вторичные (сейсмогравитационные, сейсмовибрационные), проявляющиеся в рельефе, строении и распространении рыхлого чехла, скальных породах кристаллического фундамента. К наиболее ярким проявлениям сильных землетрясений относятся постледниковые разломы, локализованные, главным образом, на севере западной части Фенноскандии в пределах Лапландской провинции (Lagerbäck, 1978). Протяженность систем разломов превышает 100 км, а постледниковые смещения, выраженные в уступах на поверхности – 25 м. В меньшей степени и по распространенности и по масштабам признаки постледниковых разломов наблюдаются и в других частях Фенноскандии. В Восточной Фенноскандии, несмотря на фиксируемые следы палеоземлетрясений, подобных многокилометровых уступов не отмечается. Хотя есть признаки подобных образований, скрытых под крупными бассейнами – в Кандалакшском заливе, Ладожском озере. Потенциальные зоны развития активизированных разломов– сейсмолинеаменты, выделяются на основании линейной локализации очагов землетрясений, установленных по совокупности нескольких источников данных – инструментальных наблюдений, исторических свидетельств, археологических находений и палеосейсмогеологических структур. Таких структур, протяженностью от нескольких десятков до нескольких сотен километров насчитывается в Восточной Фенноскандии более 20 и они сопряжены с крупнейшими формами рельефа (Никонов, Шварев, 2015). Признаки активизированных разломных зон на локальных участках с концентрацией нарушений в рельефе в виде ущелий, уступов, крупных скальных обвалов и постседиментационных деформаций в рыхлых осадках в целом соотносятся с сейсмолинеаментами (Nikolaeva et al., 2021), но крупных протяженных структур на суше до недавнего времени не было документально подтверждено. Анализ данных по активизированному блоковому строению Кольского полуострова (Шварев, 2022) в сопоставлении с локализацией сейсмогенных деформаций в низкогорном массиве Кандалакшских тундр (Николаева, Евзеров, 2018) и бассейне оз. Имандра (Николаева и др., 2017, 2018, 2020; Шварев, 2003), позволил выделить Имандра-Колвицкий разлом как единую структуру северо-западного простирания, трассирующуюся от юго-западного побережья оз. Имандра вдоль котловины оз. Пинозеро через массив Кандалакшских тундр вдоль восточного обрамления Колвицких тундр и западного борта котловины Колвицкого озера вплоть до основания полуострова Турий (Шварев и др., 2021). На пересечении с массивом Кандалакшских тундр детально обследована очаговая зона палеоземлетрясений, свидетельствующая о максимальной интенсивности генерируемых разломом землетрясений IX+ баллов и неоднократной активизации разлома до последнего оледенения, в позднеледниковье и голоцене (Шварев и др., 2024; в печати). Морфологическая выраженность разлома несомненно свидетельствует о его активности, однако, существенный интерес представляет соотношение внешних признаков с распространением и внутренним строением рыхлых отложений, а также с поверхностью кристаллического фундамента и деформированностью коренных пород. Для прояснения этих вопросов необходимо решить ряд задач, связанных с: 1) детализацией пространственного положения элементов разлома; его позицией в поле тектонических напряжений, кинематикой; 2) детальными чертами выраженности разлома в современном субаэральном и субаквальном рельефе; 3) соотношением разлома с распределением четвертичных отложений, их генетических и морфологических типов, внутренним строением; 4) проявлением разлома в рельефе поверхности фундамента; 5) детальной фиксацией и документацией сейсмогенных деформаций (сейсмотектонических, сейсмограви-

тационных, сейсмовибрационных) в рельефе и отложениях зоны разлома. Для решения этих задач применен комплекс геоморфологических, структурно-геологических, тектонофизических и геофизических методов с локализацией на двух ключевых участках – очаговой зоне в районе котловины оз. Среднее Лувеньгское и вдоль западного побережья оз. Колвицкое. Эти участки, расположенные по простирацию Имандра-Колвицкого разлома существенно отличаются друг от друга по геолого-геоморфологическим условиям: в первом случае это сквозная долина в низкогорном массиве с преимущественно скальными приразломными деформациями и локальным распространением рыхлых отложений, во втором – крупная озерная котловина с равнинным рельефом и сплошным покровом водно-ледниковых и озерных осадков. Сопряжение этих участков максимально отражает весь спектр условий проявления Имандра-Колвицкого разлома в рельефе и подстилающем субстрате.

### **Методы исследований**

*Геоморфологические исследования.* Детальный характер активизированного блокового строения территории выполнен с помощью методов морфотектонического и сейсмостектонического дешифрирования цифровых моделей рельефа ArcticDEM (<https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>) и FABDEM (<https://data.bris.ac.uk/data/dataset/>) с вертикальной точностью 2–10 м и 30 м соответственно. Это позволяет идентифицировать морфологически выраженные линейные структуры протяженностью в первые сотни метров и с перепадами высот в первые метры с приуроченными к ним сейсмогенными деформациями рельефа (рвы, трещины, приразломные уступы, обвально-оползневые, каменно-лавиновые и селевые ниши, террасы и аккумулятивные тела и др. Для пространственной увязки геофизических и тектонофизических данных выполнены работы по построению единой цифровой модели дна озера и окружающей суши. Батиметрическая съемка рельефа дна озера проведена с использованием эхолота Garmin Echomap plus 72sv по сетке ортогонально сопряженных галсов со средним шагом 30–40 м, позволившая построить цифровую модель дна озера с разрешением 1 м. Суммарная длина промерных галсов около 80 км. Для прибрежной территории цифровая модель построена по результатам аэрофотосъемки с квадрокоптера (DJI Phantom 4 Pro v. 2.0), совмещенной с ЦМР FabDEM. По геофизическим профилям осуществлялись геолого-геоморфологические и сейсмостектонические наблюдения с фиксацией параметров видимых сейсмодформаций различного типа. На участках поверхностных аномалий в рельефе четвертичных отложений в зонах разломов произведено изучение естественных обнажений и искусственных выемок с сейсмо-стратиграфической документацией разрезов.

*Геофизические исследования.* Геофизические исследования проводились с использованием метода георадиолокации, основанного на излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от различных объектов исследуемой среды. В данном случае речь идет о границах раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью. Георадиолокационная съемка проводилась при помощи георадара ОКО-3 антеннами 100, 250 и 400/900 МГц. В процессе экспедиционных работ в впервые проведена георадиолокационная съемка на суше и в пределах акваторий. Для полученных радарограмм в ПО CartScan («Логис-Геотех») была проведена обработка по и интерпретация на основе анализа волновой картины по стандартной методике (Старовойтов, 2008). Цель геофизической съемки – определение условий залегания четвертичных отложений, их соотношения с рельефом, а также выявление пространственной связи блоковой структуры кристаллического фундамента и деформаций в рельефе и рыхлых отложениях. По наличию высокоамплитудных отражений от границ и характеру волновых картин было выделено три основных георадиолокационных комплекса: А – донные стратифицированные отложения (слоистая волновая картина); Б – нестратифицированные отложения впадин (хаотическая волновая картина); В – кристаллический фундамент (акустически прозрачная волновая картина). Исследование пространственного рисунка разрезов и соотношений выделенных комплексов позволило выделить разрывные нарушения в породах кристаллического фундамента по следующим признакам (Родионов, 2018; Ercoli, 2021): а) разрывы и вертикальное смещение осей синфазности отраженных волн; б) резкое изменение наклонов осей синфазности; в) резкое падение амплитуды отражений; г) гиперболы и полугиперболы (от точек разрыва).

*Тектонофизические исследования.* Для реконструкции напряженно-деформированного состояния земной коры были применены методы, основанные на полевом изучении геологических стресс-индикаторов. Применение метода *катакластического анализа (МКА) разрывных смещений* (Ребецкий и др., 2017) опирается на результаты замеров зеркал скольжения в виде матрицы данных, по которой производится реконструкция положения осей главных напряжений в автоматическом режиме с использованием программы STRESSgeol. В *структурно-парагенетическом методе (СПМ)* используются не только пространственная ориентировка геологических стресс-индикаторов, но и их описание, структура, строение и тому подобное (Расцветаев, 1987). Важнейшим при анализе является выявление и исследование геомеханических семейств дизъюнктивных нарушений. Это семейство составляет вся совокупность дизъюнктивов определенного ранга, сформированных или активизированных в данном объеме деформируемой геологической среды в результате единого процесса тектонической деформации.

### **Результаты исследований**

*Активизированная блоково-разломная структура.* Анализ цифровых моделей рельефа позволил идентифицировать нарушения в рельефе, которые можно отнести к тектоническим и сейсмогенным (рис. 1).

Сейсмогенные формы рельефа распространены на всей территории с очевидной концентрацией в пределах низкогорных массивов Кандалакшских и Колвицких тундр. Блоковое строение территории подчеркивается обособленными массивами, разделенными тектоническими долинами, часть из которых унаследованы озерными бассейнами и долинами рек. Среди сейсмогенных форм выделяются крупные сеймотектонические проявления – ущелья и рвы, пересекающие массивы и сейсмогравитационные образования – скальные оползни, обвалы, шлейфы каменных лавин. Вероятно, аккумулятивный шлейф аномально большой площади, расположенный на южном склоне массива г. Баранья Иолга является не только продуктом слияния обвальных шлейфов с противоположных склонов распадка, но и частично «мобилизованной» мореной, разуплотненным и смещенным чехлом ледниковых осадков. Крупнейшие сейсмогравитационные и сеймотектонические образования приурочены к основным активизированным разрывным нарушениям (рис. 2). Анализ цифровых моделей рельефа позволил уточнить детальное строение Имандра-Колвицкого разлома и его положение в активизированной блоково-разломной структуре исследуемой территории.

Выделяется четыре основные зоны, определяющие активную тектонику территории: I – Имандра-Колвицкая, II – Восточно-Колвицкая, III – Колвицкая, IV – Восточно-Кандалакшская. Имандра-Колвицкая зона вытянута с СЗ на ЮВ и в северной части представлена тремя субпараллельными ветвями (западной (1), центральной (2) и восточной (3)), пересекающими массив Кандалакшских тундр и формирующими крупные сквозные тектогенные долины (Шварев и др., 2024, в печати). К юго-западу все три ветви сливаются в единый магистральный разрыв, обрамляющий с востока низкогорный массив Колвицких тундр и отделяющий депрессию, занятую оз. Колвицкое. На пересечении с Кандалакшскими тундрами все три ветви характеризуются крупными сеймотектоническими и сейсмогравитационными формами, а в пределах депрессии в южной части пространственно сопрягается с аккумулятивной водно-ледниковой озовой грядой. Восточно-Колвицкая зона (II) включает в себя две субпараллельные ветви (западная (4) и восточная (5)), в северной части обрамляющие фланги межгорной депрессии, занятой котловинами озер Большое и Малое Глубокие и наследующими сквозную тектогенную долину, а южнее – основную котловину оз. Колвицкое. К обеим ветвям зоны приурочены крупные сейсморвы и скальные оползне-обвалы в пределах низкогорного массива и озовые гряды, простирающиеся вдоль берегов и в акватории оз. Колвицкое. Западная ветвь на юге сливается с Имандра-Колвицкой разломной зоной. Колвицкая зона (III) субшироко дугообразно обрамляет северный фланг низкогорного массива Колвицких тундр. Зона контролирует межгорную впадину, соединяющую котловину оз. Колвицкое и грабен Кандалакшского залива и наследуемую долиной р. Колвица. Южный фланг зоны определяется дугообразным нарушением на западе контролирующим сквозную долину, пересекающую низкогорный мас-

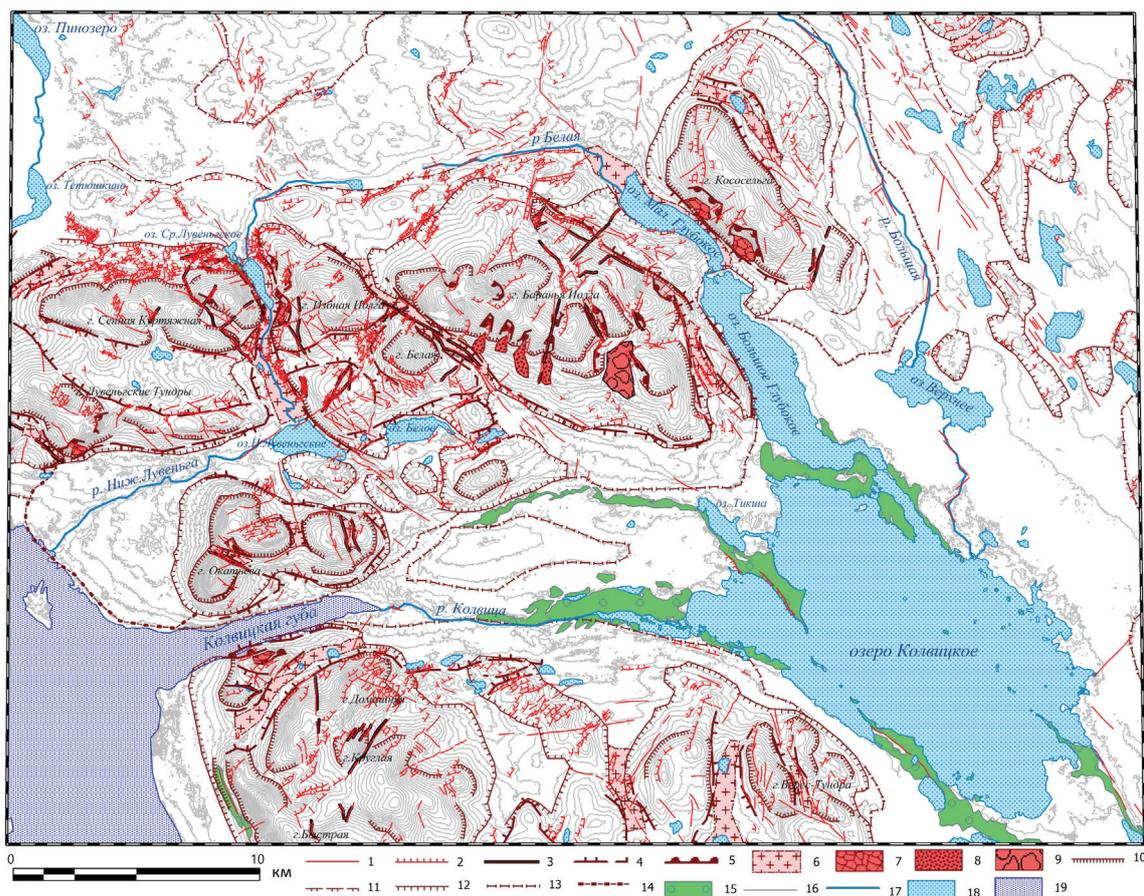


Рис. 1. Тектонические и сейсмогенные формы рельефа.

1 – линейные канавообразные ложбины (сейсмогенные рвы), 2 – линейные скальные уступы, 3 – ущелья и глубокие распадки, 4 – бровки тектонических долин, 5 – сейсмогравитационные уступы, 6 – днища тектонических долин; сейсмогравитационные аккумулятивные образования: 7 – обвальнo-оползневые тела, 8 – обвальнo-оползневые и каменно-лавиные конусы и шлейфы, 9 – моренно-сейсмогенные шлейфы; элементы строения рельефа: 10 – подошвы крутых склонов скальных массивов, 11 – подошвы предгорных ступеней, 12 – подошвы предгорных пологих склонов, 13 – тыловой шов плоской аккумулятивной равнины, 14 – дистальная граница полигенетического шлейфа, 15 – аккумулятивные водно-ледниковые гряды (озы); прочие обозначения: 16 – изогипсы (по данным ЦМР ArcticDEM, сечение горизонталей 20 м), 17 – реки, 18 – озера, 19 – Канда-лакшский залив Белого моря.

Fig. 1. Tectonic and seismogenic landforms.

1 – linear ditch-shaped hollows (seismogenic ditches), 2 – linear rocky scarps, 3 – gorges and deep linear depressions, 4 – edges of tectonic valleys, 5 – seismogravitational scarps, 6 – bottoms of tectonic valleys; seismogravitational accumulative formations: 7 – rockslide bodies, 8 – rockslide and rock-avalanche cones and plumes, 9 – moraine-seismogenic plumes; elements of the relief structure: 10 – fooths of steep slopes of rock massifs, 11 – fooths of piedmont steps, 12 – the fooths of the piedmont gentle slopes, 13 – the joint of a flat accumulative plain, 14 – the distal boundary of the polygenetic plume, 15 – accumulative water-glacial ridges (eskers); other designations: 16 – isohypses (according to the DEM ArcticDEM, 20 m), 17 – rivers, 18 – lakes, 19 – Kandalaksha Bay.

сив, а на востоке – исток и верховья р. Колвица, сопряженные с системой субширотного оза. Осевая часть Колвицкой разломной зоны в западной части выражена в виде структур Колвицкого грабена (7), занятого акваторией Колвицкой губы. Активность Колвицкого грабена особенно заметна на его южном борту, где развиты крупные сейсмогравитационные образования. Восточное замыкание Колвицкого грабена связано с нарушением (8), виргирующим от Колвицкой зоны в северо-западном направлении. Этот разлом, кроме четкой структурной роли в строении межгорной впадины и Колвицкого грабена, к западу, на пересечении с массивами Домашних тундр (г. Окатьева) и Лувеньгских тундр проявляется в виде узких тектонических ущелий, сопровождаемых комплексом сеймотектонических и сейсмогравитационных форм. Восточно-Кандалакшская зона (IV) является

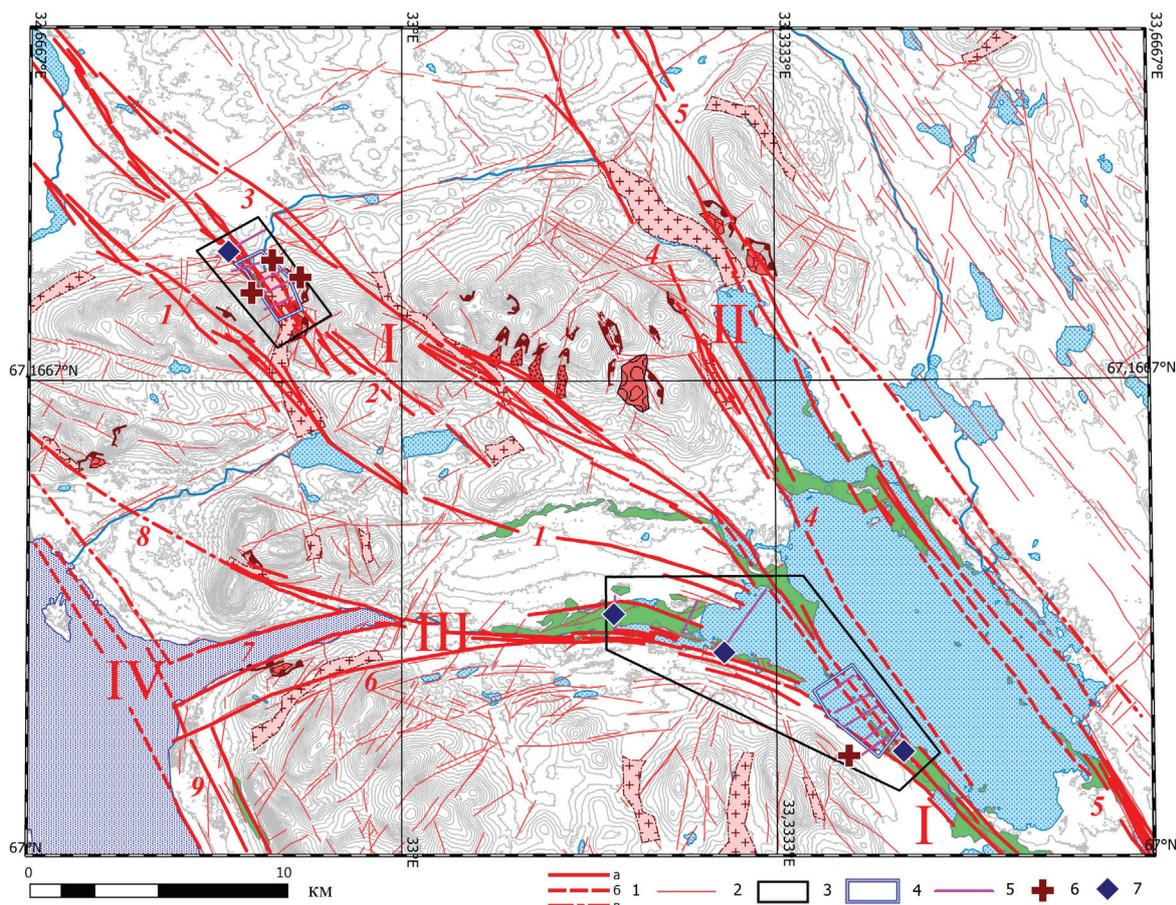


Рис. 2. Активизированные разрывные нарушения.

Активизированные разломы: 1 – главные: а – выраженные в рельефе, б – предполагаемые в пределах акваторий, в – предполагаемые под чехлом рыхлых отложений; 2 – второстепенные, район работ: 3 – ключевые участки комплексных исследований, 4 – участки батиметрической съемки, 5 – георадарные профили, 6 – тектонофизические наблюдения, 7 – разрезы рыхлых отложений.

Fig. 2. Activated fault-block pattern.

Symbols: activated faults: 1 – major: a – expressed in relief, b – assumed within the waters, c – assumed under the cover of loose sediments; 2 – secondary, area of work: 3 – key sites of complex research, 4 – sites of bathymetric survey, 5 – georadar profiles, 6 – tectonophysical observations, 7 – cross-sections of sediments.

частью восточного борта новейшего Кандалакшского грабена и включает серию субпараллельных нарушений (9), в целом определяющих ступенеобразное погружение фундамента в западном направлении. Следует отметить, что для массива Кандалакшских тундр не выделяется единой структуры, обрамляющей низкогорный массив с севера. Здесь наблюдается серия ортогонально замещающих друг друга разрывов СЗ и СВ простирающихся, определяющих ступенчатую форму подножья массива в плане. При этом, отдельные блоки массива оказываются визуально «смещенными» относительно друг друга. В особенности это заметно для Имандра-Колвицкой зоны, восточный сегмент которой отделяет массив Елки-Тундры (г. Баранья Иолга) и расположенный заметно южнее, от восточной части массива Лувеньгских тундр (г. Избная Иолга), расположенного севернее. По морфологическим признакам можно предполагать преимущественно сбросовые смещения для Кандалакшской и Колвицкой зон, сбросо-сдвиговые для Восточно-Колвицкой и сдвиговые для Имандра-Колвицкой.

Для получения фактических данных о соотношении между признаками активности Имандра-Колвицкого разлома и сопряженных с ним разрывных структур в современном субаэральном и субаквальном рельефе, пространственной структуре, стратиграфии и постседиментационных изменениях (деформациях) четвертичных отложений, рельефе поверхности кристаллического фунда-

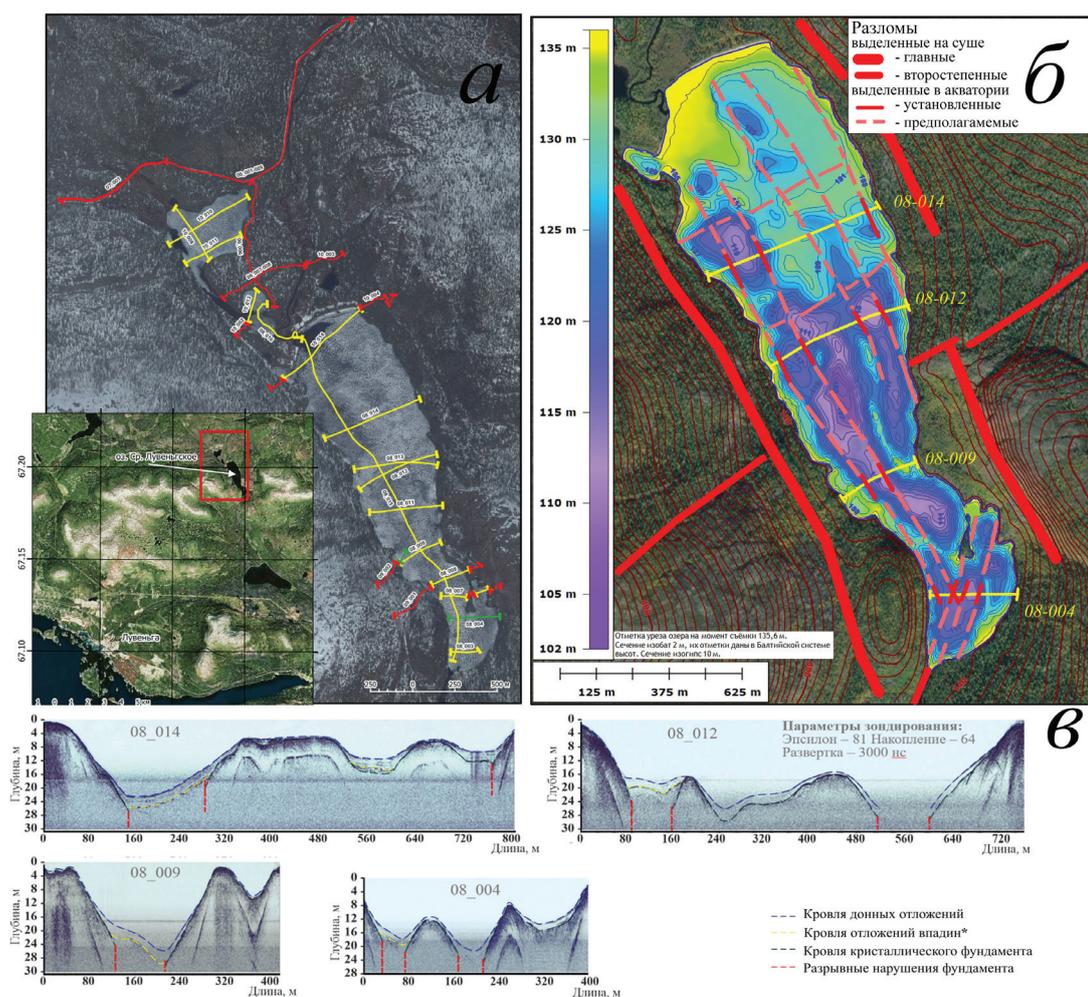


Рис. 3. Комплексные исследования в котловине озера Среднее Лувеньгское: а – расположение георадарных профилей (красным – на суше, желтым – в акватории), б – совмещенная цифровая модель рельефа (по данным FABDEM) и батиметрическая карта, полученная по результатам полевых исследований, в – георадарные профили.

Fig. 3. Comprehensive studies in the basin of Lake Sredne Luvengskoye: a – the location of GPR profiles (red – on land, yellow – in the water area), б – a combined digital relief model (according to FABDEM data) and a bathymetric map obtained from field research, с – GPR profiles.

мента выполнены комплексные исследования на двух ключевых участках (рис. 2). В качестве примера рассмотрим северный участок, расположенный в установленной нами ранее (Шварев и др., 2024, в печати) очаговой зоне палеоземлетрясений, приуроченной к центральной ветви Имандра-Колвицкого разлома.

**Тектонический рельеф.** Субаквальный рельеф котловины оз. Среднее Лувеньгское, расположенной в центральной части очаговой зоны палеоземлетрясений имеет весьма контрастный характер и ярко выраженные блоковые черты (рис. 3 б) с наложенной экзогенной моделировкой. Максимальные глубины достигают 33 м, глубокие впадины локализованы на ограниченных площадях и разделяются отмелыми перемычками. В целом, рельеф представляет собой две генеральные продольные ложбины ССЗ-простираения, разделенные возвышенными ступенями или гребнями. Котловина в продольном сечении разделяется на северную, относительно мелкую, и южную, глубокую, части с определенной ступенчатостью по поперечным зонам ВСВ-простираения. Ориентировка как продольных ложбин и гряд, так и поперечных ступеней соответствует генеральным и второстепенным разрывам, выраженным на бортах котловины выше уреза озера в виде сейсмогенных уступов (рис. 3 б).

Очевидно, что на распределение глубин в определенной мере может влиять аккумуляция четвертичных осадков – водно-ледниковых, озерных, аллювиальных. В том числе, на продольное увеличение глубин в южном направлении, очевидно, оказывает влияние вынос аллювиального материала р. Верхняя Лувеньга, образующий аккумулятивный шлейф (дельту) в северо-западной части озера. Также, вполне закономерно влияние водно-ледниковой аккумуляции в южной оконечности озера, где наблюдается диагонально расположенная озовая гряда ССВ простирания. Однако, и здесь ориентировка аккумулятивных образований соответствует структуре и носит зависимый характер. Тектоническая обусловленность рельефа котловины подтверждается данными георадарного профилирования (рис. 3 в).

*Строение донных отложений и поверхности фундамента.* Разрывные нарушения наблюдаются на протяжении всего озера Среднее Лувеньгское и приурочены в основном к глубоким впадинам (рис. 3 б, в). Четвертичные отложения донных осадков прослеживаются во впадинах, в большинстве своем, повторяя кровлю фундамента. На склонах и возвышенных участках фундамента слой донных отложений минимален. Нарушения сплошности волновой картины во впадинах связано, по-видимому, с мощными приразломными зонами дробления, образованными в результате неоднократных сильных землетрясений. Георадиолокационные данные подтверждают предположение о вторичной роли денудационно-аккумулятивных процессов в распределении глубин. Относительно мощные накопления донных осадков, достигающие первых метров (максимально до 4–5 м) наблюдаются только в пределах глубоководных впадин. На поверхности мелководных ступеней напротив, чехол практически отсутствует и вблизи поверхности располагаются породы фундамента. Выделенные на дне оз. Среднее Лувеньгское тектонические нарушения хорошо согласуются с субэдральными сейсмогенными разрывами по бортам котловины, установленными визуально и исследованными ранее (Шварев и др., 2024; в печати), а также прослеживаются на протяженном георадарном профиле, совмещенном с геоэлектрическим профилем (выполнен П. А. Рязанцевым, КарНЦ, неопубликовано) к северу от озерной котловины (рис. 2 а) и вскрывающим мощную толщу водно-ледниковых, озерных и аллювиальных осадков. На профилях прослеживается несколько субвертикальных разрывных зон в рыхлых отложениях, причем для наиболее выразительной, расположенной в западной части профиля, характерно развитие нескольких плоскостей с высокоамплитудными (несколько метров) смещениями рыхлых отложений, постседиментационными наклонами и смятиями.

*Тектонические напряжения и кинематика разрывных нарушений.* Реконструкция главных осей напряжения методом катакластического анализа выполнена для нескольких точек наблюдения, расположенных как в восточном, так и в западном борту разлома. Преобладает ориентировка оси максимального сжатия северо-восточной ориентировки, однако, угол погружения оси в некоторых точках наблюдения пологий, а в других – крутой. Это говорит о разных геодинамических типах в каждой отдельной точке. С помощью структурно-парагенетического метода построено 9 круговых диаграмм. Анализ информации и взаимоотношения всех зеркал скольжения, а также небольших разрывных нарушений, отрывов и других геологических стресс-индикаторов позволил выявить преобладающую для данного района ориентировку оси максимального сжатия – северо-восточную, а максимального растяжения – запад-северо-западную. При такой ориентировке, расположенные по бортам Центральной ветви Имандра-Колвицкого разлома сейсморвы субширотного простирания будут иметь левосдвиговую кинематику с взбросовой компонентой, сейсморвы северо-восточного простирания – растяжение с левосдвиговой компонентой, а смещения по самому Имандра-Колвицкому разлому будут происходить по правому сдвигу с незначительной взбросовой компонентой. Полученные данные хорошо согласуются с результатами морфотектонического анализа, согласно которому, в целом, для Имандра-Колвицкого разлома характерны сдвиговые деформации с суммарным правосторонним смещением.

*Сейсмогенные деформации в рыхлых отложениях.* По простиранию Центральной ветви Имандра-Колвицкого разлома к северу от котловины оз. Среднее Лувеньгское вскрыта верхняя часть разреза водно-ледниковых отложений с толщей, нарушенной сбросовым разрывом (рис. 4).

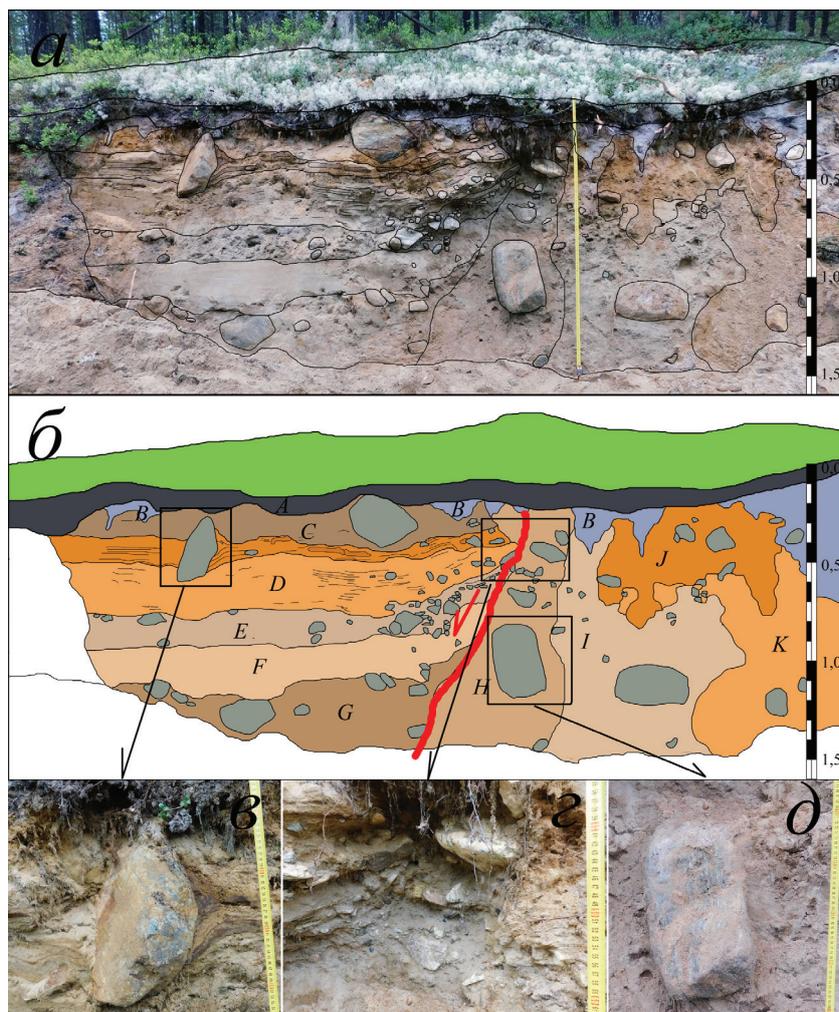


Рис. 4. Разрез водно-ледниковых отложений к северу от оз. Среднее Лувеньгское: а – общий вид, б – интерпретация, в–д – фрагменты разреза с деформациями.

Fig. 4. Section of water-glacial deposits north of the lake. Middle Luvengian: а – general view, б – interpretation, в–д – fragments of the section with deformations.

В разрезе (рис. 4) горизонтально стратифицированная толща (С-Г), развитая в восточной части по круто наклонной плоскости контактирует с микшированными отложениями в западной части (Н-К), вблизи контакта заметно ориентированной вдоль его плоскости (рис. 4 д). Ориентировка и сбросовый характер наблюдаемого разрыва соответствует разломной зоне, наблюдаемой в георадарном профиле в рельефе западного борта котловины озера Среднее Лувеньгское.

В результате проведённых комплексных исследований с применением геоморфологических, сейсмотектонических, тектонофизических и геофизических методов:

1. Выявлены разрывные зоны на дне озера Среднее Лувеньгское, Колвицкое и прилегающей суше, нарушающие кристаллический фундамент и вышележащие рыхлые отложения.
2. Установлены пространственно-кинематические параметры тектонических нарушений по деформациям в кристаллических породах.
3. Установлены пространственно-кинематические параметры разрывных нарушений в четвертичных отложениях.
4. Установлена пространственная корреляция между нарушениями в кристаллическом фундаменте и рыхлых отложениях, между субаквальными и субаэральными проявлениями сейсмогенного рельефа, что позволяет воссоздать комплексную картину сейсмогенных нарушений системы Имандра-Колвицкого разлома.

## **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект 23-27-00205.

## **Литература**

5. Николаева С. Б., Евзеров В. Я. К геодинамике Кольского региона в позднем плейстоцене и голоцене: обзор и результаты исследований // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2018. №1. С. 5–14.
6. Николаева С. Б., Толстобров Д. С., Вашков А. А. Палеосейсмогеологические исследования в европейской субарктике (Кольский регион): полевые экспедиционные работы 2018–2020 гг. // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Вып. 7. 2020 С. 129–133. doi:10.24411/2687-1092-2020-10719.
7. Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Денисов Д. Б. Катастрофическое событие голоцена в донных осадках озер Кольского полуострова (СВ Фенноскандинавского щита) // ДАН. 2017. Т. 473. № 1. С. 88–92. doi: 10.7868/S0869565217070209.
8. Никонов А. А., Шварев С. В. Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Материалы Международной конференции Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности. Изд-во: Технического института (ф) СВФУ Нерюнгри. 2015. С. 243–251.
9. Ребецкий Ю. Л., Сим Л. А., Маринин А. В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. Москва. Изд-во: ГЕОС, 2017. 225 с.
10. Расцветаев Л. М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М. Изд-во: ГИН АН СССР. 1987. С. 173–235.
11. Родионов А. И., Николаева С. Б., Рязанцев П. А. Оценка возможностей георадиолокации при изучении сейсмогенных нарушений и деформаций в донных осадках (на примере озера Уполокшское, С-В Фенноскан. щита) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 4. С. 1189–1203.
12. Шварев С. В. Последледниковые тектонические движения и формирование террас оз. Имандра (Кольский полуостров) // Геоморфология. 2003. № 4. С. 97–105.
13. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. М. Изд-во: МГУ, 2008. С. 192. ISBN 978-5-211-05541-4.
14. Шварев С. В. Морфотектоника, сейсмичность и экзогенные процессы Кольского полуострова // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 8. С. 1135–1152. DOI: 10.15372/GiG2021126.
15. Шварев С. В., Николаева С. Б., Королева А. О. Морфологические проявления постледниковой сейсмической активности Имандра-Колвицкого активного разлома в Лувеньгской очаговой зоне (Мурманская область) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 425–429.
16. Шварев С. В., Николаева С. Б., Бондарь И. В., Королева А. О., Комаров А. О. Морфотектоника Имандра-Колвицкого разлома и параметры очаговой зоны палеоземлетрясений в Лувеньгских тундрах (Кольский полуостров) // Вопросы инженерной сейсмологии, 2024 (в печати).
17. Ercoli M., Cirillo D., Pauselli C., Jol H. M. and Brozzetti F.: Ground-penetrating radar signature of Quaternary faulting: a study from the Mt. Pollino region, southern Apennines. Italy. Solid Earth. V. 12. P. 2573–2596. <https://doi.org/10.5194/se-12-2573-2021>, 2021.
18. Lagerbäck R. Neotectonic structures in northern Sweden // Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar. 1978. V. 100. Issue 3. P. 263–269. <https://doi.org/10.1080/11035897809452533>.
19. Lagerbäck R. and Sundh M. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. Geological Survey of Sweden Research Paper. 2008. С. 836. 80 pp.
20. Mörner N.-A. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden. Primary structures and secondary effects // Tectonophysics. 2004. V. 380. P. 139–157.
21. Nikolaeva S. B., Nikonov A. A., Shvarev S. V. Late Glacial and postglacial faulting in the russian part of the fennoscandian shield. Chapter no 14 // Glacially-Triggered Faulting Eds: Holger Steffen, Odleiv Olesen, Raimo Sutinen. United Kingdom: Cambridge University Press. 2021. P. 246–260. DOI: 10.1017/9781108779906.018.
22. Steffen H., Olesen O., Sutinen R. (eds.) Glacially-Triggered Faulting. United Kingdom: Cambridge University Press. 2022. 460 p. DOI: 10.1017/9781108779906.