

Палеосейсмодислокации района хребта Муста-Тунтури (СЗ Кольского региона)

Николаева С. Б. 

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, s.nikolaeva@ksc.ru

Аннотация. Представлены предварительные результаты палеосейсмологических исследований в районе хребта Муста-Тунтури на побережье Баренцева моря (Кольский регион). Детальное изучение разных типов сейсмодислокаций в зоне перешейка между п-овом Средний и материковой частью хребта Муста-Тунтури позволили установить, что в зоне перешейка располагались очаги палеоземлетрясений, пространственно и генетически связанные с подвижками по разлому Карпинского. На это указывают закартированные ареалы сейсмодислокаций, включающие как первичные (сеймотектонические), так и вторичные (сейсмогравитационные и сеймовибрационные) нарушения. Разрывные нарушения имели преимущественно сбросовый, реже сбросо-сдвиговый характер. Генеральную СЗ ориентировку разлома Карпинского осложняли системы нарушений СВ и СЗ простираний. Местная сейсмическая интенсивность событий, происходивших в голоцене, по INQUA Scale определяется как VII–VIII баллов. Полученные данные могут использоваться для разработки научно-методических основ для оценки рисков возникновения катастрофических процессов, а также сейсмической опасности в слабосейсмичных регионах.

Ключевые слова: палеосейсмодислокации, землетрясения, разлом Карпинского, Баренцево море, Кольский регион.

Paleoseismic dislocations of the Musta-Tunturi ridge area (NW Kola region)

Nikolaeva S. B. 

Geological Institute of Kola Science Center RAS, Apatity, s.nikolaeva@ksc.ru

Abstract. Preliminary results of paleoseismological studies in the area of the Musta-Tunturi ridge on the coast of the Barents Sea (Kola region) are presented. A detailed study of different types of seismic dislocations in the isthmus zone between the Sredny Peninsula and the mainland part of the Musta-Tunturi ridge made it possible to establish that in the zone there were foci of paleo-earthquakes, spatially and genetically associated with movements along the Karpinsky fault. This is indicated by the mapped areas of seismic dislocations, including both primary (seismotectonic) and secondary (seismogravitational and seismic-vibration) disturbances. The faults were predominantly of a normal fault type, less often of a normal fault-shear type. The general NW orientation of the Karpinsky fault was complicated by systems of faults of NE and NW strikes. The local seismic intensity of events that occurred in the Holocene, according to the INQUA Scale, is defined as VII–VIII points. The data obtained can be used to develop scientific and methodological foundations for assessing the risks of catastrophic processes, as well as seismic hazards in weakly seismic regions.

Keywords: paleoseismic dislocations, earthquakes, Karpinsky fault, Barents Sea, Kola region.

Введение

При оценке сеймотектонической активности любого региона приоритетными являются два основных вопроса. Первый – уровень максимальной магнитуды ожидаемых землетрясений, а второй – период повторяемости разрушительных сейсмических событий. По данным сейсмостатистики на эти вопросы далеко не всегда можно найти правильные ответы. Это объясняется непродолжительной летописью инструментальных записей землетрясений, поскольку период сейсмологических наблюдений ограничен, как правило, первыми десятилетиями. Палеосейсмогеологический метод, основанный на допущении, что сильнейшие землетрясения доисторического прошлого оставляют на поверхности следы в скальных породах и рыхлых осадках (палеосейсмодислокации), дает возможность решить эти проблемы.

Палеосейсмологические исследования к настоящему времени активно развиваются в странах западной, зарубежной Фенноскандии (Швеции, Норвегии, Финляндии), а также и России. Результаты этих исследований, проводимых в Карело-Кольском регионе стали составной частью, опубликованной в 2020 г. международной базы данных «International database of Glacially Induced Faults», где представлена сводка всех известных к настоящему времени поздне- и послеледниковых разломов и связанных с ними очагов палеоземлетрясений (Munier et al., 2020). В качестве одной из крупных тектонических структур выделяется зона разлома, ограничивающий Кольский полуостров со стороны Баренцева моря (Мурманская зона) (Nikolaeva et al., 2021). О неотектонической активности этой зоны, в том числе и о следах древних землетрясений, происходивших здесь до и после снятия ледниковой нагрузки, свидетельствуют многочисленные исследования (Авенариус, Белозеров, 2000; Nikolaeva, 2008; Лукашов, Романенко, 2010; Верзилин и др., 2013; Никонов, Зыков, 2017). Однако при таком видимом прогрессе в изучении новейших нарушений в рельефе, часто обнаруживается отсутствие детальных палеосейсмогеологических наблюдений, позволяющих оценить активность отдельных тектонических структур (или их сегментов) с установлением параметров генерируемых землетрясений.

В этом сообщении представлены предварительные результаты геолого-геоморфологических и палеосейсмогеологических работ, проводившихся в СЗ секторе Баренцевоморского побережья Кольского полуострова – в районе перешейка между хребтом Муста-Тунтури и полуостровом Средний (рис. 1 А). Приоритетными задачами исследования являлись: поиск первичных и вторичных сейсмогенных нарушений, отражающих активность структур зоны перешейка, оценка параметров

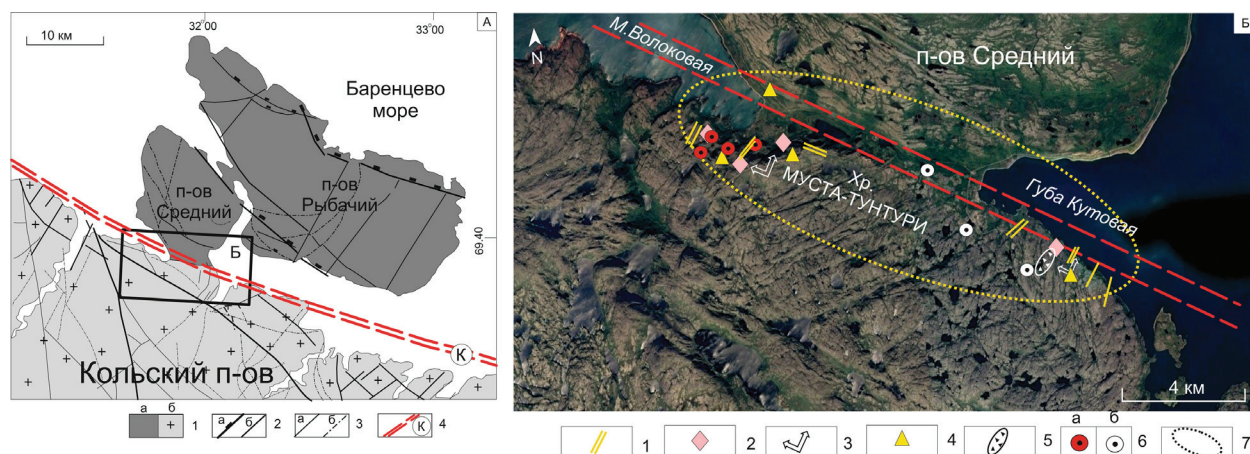


Рис. 1. Геолого-тектоническое положение района исследований (А) и расположение палеосейсмодислокаций в районе хребта Муста-Тунтури (Б).

А: 1 – Верхний протерозой: песчаники, алевролиты, аргиллиты, псаммиты, доломиты, мергели (а). Неоархей, нерасчлененный комплекс: гранодиориты, тоналиты, гнейсы, плагиограниты (б) (Митрофанов, 2001); Тектонические нарушения: главные: 2 – надвиги (а), с неопределенной кинематикой (б), 3 – второстепенные (а), выделенные по дешифрированию (б) (Шенкман, 1991), 4 – линия Карпинского.

Б: Палеосейсмодислокации: 1 – рвы и трещины, 2 – области интенсивной фрагментации и дробления пород, 3 – выколы блоков, 4 – скальные обвалы, вывалы, 5 – области разброса глыб в зонах разломов. 6 – Скважины в озерах: с деформациями в осадках (а), без видимых нарушений (б), 7 – ареал развития палеосейсмодислокаций (Google Earth Pro; Image U.S. Geological Survey).

Fig. 1. Geological-tectonic position of the study area (A) and location of seismic dislocations at the Musta-Tunturi ridge area (B).

A: 1 – Upper Proterozoic: sandstones, siltstones, mudstones, psammites, dolomites, marls (a). Neoproterozoic, undivided complex: granodiorites, tonalites, gneisses, plagiogranites (b) after (Mitrofanov, 2001); Faults: main: 2 – thrusts (a), with uncertain kinematics (b), 3 – minor (a), identified by interpretation (b) (Shenkman, 1991), 4 – Karpinsky line.

B: Paleoseismic dislocations: 1 – ditches and cracks, 2 – areas of intense fragmentation and crushing of rocks, 3 – punctures of blocks, 4 – rock falls, fallouts, 5 – areas of scattering of blocks in fault zones. 6 – Boreholes in lakes: with deformations in sediments (a), without visible disturbances (b), 7 – area of development of paleoseismic dislocations (Google Earth Pro; Image U.S. Geological Survey).

(интенсивности и возрастных привязок), установление связей между деформациями и региональными сейсмогенерирующими структурами.

Методика исследований

Палеосейсмические наблюдения проводились в соответствии с общепринятыми методиками, обобщенными в монографии (McCalpin, 2009). При выявлении и анализе сейсмодислокаций в скальных массивах использовались космоснимки (сервисы Google и Yandex) и ЦМР высокого разрешения, а также полевые наземные обследования. Для доказательства сейсмического происхождения нарушений рассматривался их ареальный (очаговый) характер распространения, парагенетическая сгруппированность и плотность концентрации. Сейсмическая интенсивность оценивалась по степени выраженности и плотности концентрации дислокаций с учетом шкал INQUA Scale и ESI-2007 (Michetti et al., 2007). Относительный возраст образования сейсмогенных форм рельефа основан на определении их высотного положения над современным уровнем моря и следах абразионно-аккумулятивной деятельности на стенках и в днищах рвов, трещин и уступов. Наивысший уровень абразионной обработки внутри трещины или на уступе маркирует время ее образования (раскрытия). Для этого мы привлекаем данные по региональному тренду поднятия суши и выхода ее из-под уровня моря в позднеледниковье и голоцене (с кратковременными относительными опусканиями в результате трансгрессий). Этот тренд определяет отсутствие следов абразии на вышележащих уровнях в течение практически всего времени после раскрытия трещины. Изменения уровня моря для побережья Баренцева моря реконструируются по выходу суши в субэвральном режиме, изменению состава вод отчленяющихся от моря водоемов и возраста соответствующих отложений (Corner et al., 2001). Поэтому, зная относительные перемещения уровня моря в конкретном районе Баренцева моря (например, Тостобров и др., 2023; Kolka et al., 2023), можно определить время раскрытия рвов или смещения крыльев разрыва при условии, что это событие произошло не в субаквальных условиях. В дополнение к этому с помощью бурения проводилось исследование донных осадков озер, расположенных в зонах тектонических нарушений и датирование аномальных горизонтов с помощью радиоуглеродного метода (^{14}C).

Геолого-тектоническое положение района работ

Район исследований, охватывающий северные предгорья хребта Муста-Тунтури и побережья губ Мал. Волоковой и Кутовой, расположен вблизи зоны контакта между песчаниками, псаммитами и алевролитами рифея полуострова Средний и плагиогранитами, мигматит-гранитами и гранодиоритами неоархей Кольского полуострова (Митрофанов, 2001) (рис. 1 А). Рельеф района работ представляет собой возвышенную, расчлененную денудационную равнину, повышающуюся к югу и круто обрывающуюся к северу. Такой характер рельефа обусловлен крутым скальным уступом хребта Муста-Тунтури обращенным на север, высотные отметки которого достигают 190–269 м над уровнем моря (н. у. м.) у губы Мал. Волоковой. Возвышенность Муста-Тунтури протягивается в СЗЗ направлении на расстояние около 9.5–10 км. Многочисленные системы разрывных нарушений разных порядков формируют мелкоблоковое, тектогенное строение фундамента, хорошо отображаемое на космических снимках высокого разрешения.

Четвертичные отложения со стороны полуострова Средний в основном представлены морскими (голоценовыми и верхнеплейстоценовыми) и биогенными осадками (торфяниками мощностью до 2–2.5 м, расположенными в низинах между возвышенностями) (Государственная..., 2007). В континентальной части, на побережьях губ Мал. Волоковой и Кутовой и районе хребта Муста-Тунтури, скальные выходы плагиогранитов и гранито-гнейсов покрыты редким чехлом валунов и практически лишены рыхлых отложений. В голоцене в депрессиях и котловинах озер накапливались илы и сапропели.

Через район исследований проходит южная ветвь одной из наиболее крупных тектонических структур Балтийского (Фенноскандинавского) щита, получившая название в литературе как линия или «линеament Карпинского» (ЛК) (Карпинский, 1947). Вдоль линеамента серия эшелонированных разломов сбросо-сдвиговой кинематики разграничивают Балтийский (Фенноскандинавский)

кристаллический щит и Баренцевоморскую плиту Западно-Арктической платформы. Считается, что разлом был заложен в палеопротерозое и до сих играет большую роль в качестве краевой части щита (Балуев и др., 2016). К побережью Баренцева моря приурочены эпицентры слабых современных землетрясений, в основном имеющие магнитуду $M \leq 3$, и указывающие на продолжающую активность зоны вплоть до настоящего времени (Годзиковская и др., 2010).

Результаты и обсуждение

В районе хребта Муста-Тунтури выявлены молодые нарушения рельефа, образующими ареалы сейсмодислокаций. Они маркируют линейные структуры северо-восточных, субмеридиальных и, реже, северо-западных простираций. Среди нарушений рельефа выделены первичные (сейсмотектонические) и вторичные (сейсмогравитационные и сейсмовибрационные) дислокации (рис. 1 Б).

Первичные сейсмодислокации. Среди этой группы нарушений преобладают трещины и рвы, хорошо выраженные в береговой, полностью лишенной растительности зоне побережья губы Кутовой. Они следуют в северо-восточных румбах по двум основным направлениям $10\text{--}15^\circ$ и $25\text{--}30^\circ$. Один из таких рвов мы наблюдали на скальной площадке-выступе с выс. отм. 66.8 м н. у. м., обрывающимся круто к морю (рис. 2 А). Здесь скальный массив нарушен свежим разрывом – сейсморвом, глубиной 2–6 м и шириной от 0.5 до 10 м. Ров сужается в сторону моря, расширяется вглубь материка, и, выполаживаясь, представляют собой уже грабенообразную просадку в рельефе (рис. 2 Б–Г). При удалении от берега моря разрывное нарушение прослеживается по отчетливо выраженным линейным неоднородностям – приразломным зонам дробления, протягивающимся на расстояние 400–500 м. Днище рва частично завалено глыбовым материалом. Сохранившиеся свежие зеркала скольжения на бортах указывают на сбросовые смещения (аз. пад. $130^\circ \angle 78^\circ$) с видимой амплитудой вертикального смещения 0.5–1.5 м с приподнятым северо-западным крылом.

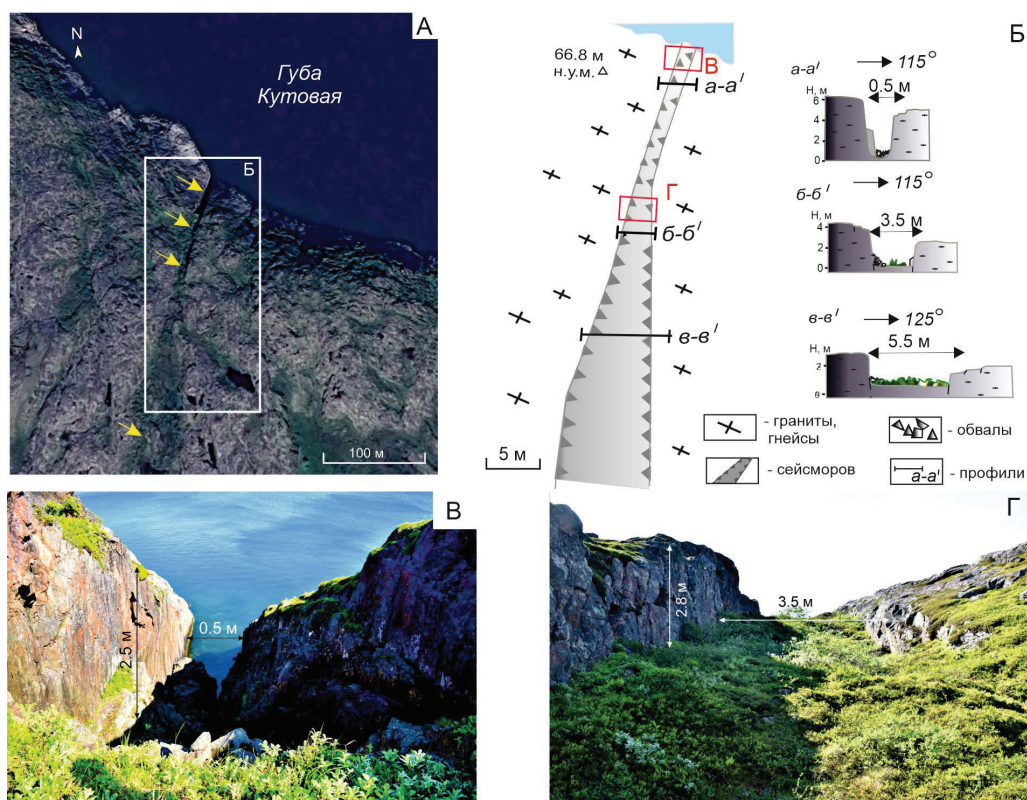


Рис. 2. Общий вид сейсмотектонического рва на южном побережье губы Кутовой (Google Earth Pro; Image U.S. Geological Survey) (А), план и профиль (Б), отдельные фрагменты разрыва (В, Г) (положение фото В и Г показано на рис. Б).

Fig. 2. General view of the seismotectonic ditch on the southern coast of Kutovaya Bay ((Google Earth Pro; Image U.S. Geological Survey) (A), plan and profile (B), individual fragments of a fault (C, D) (the position of photos C and D is shown in Fig. B).

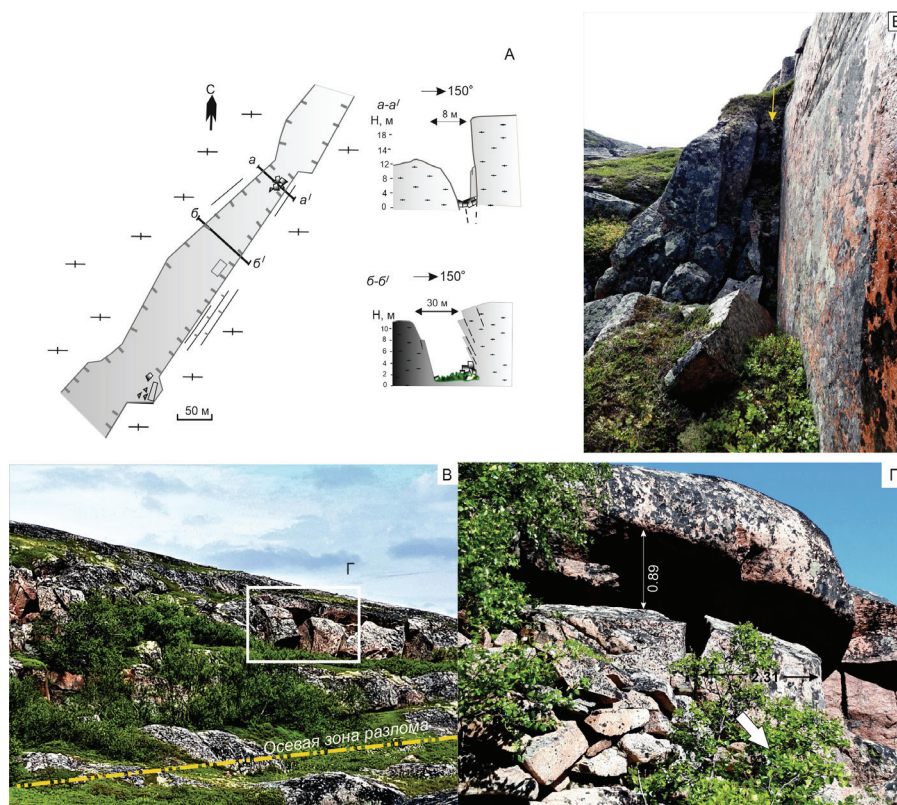


Рис. 3. План и профили тектонической зоны нарушений СВ простирания у северного подножия хребта Муста-Тунтури (А), зеркало скольжения с зоной дробления (показана стрелкой) и коллювием в основании (Б), дробление и вывалы крупных блоков в бортах уступов (В, Г). Условные обозначения к рис. А см. на рис. 2 Б.

Fig. 3. Plan and profiles of the tectonic zone of NE-trending faults at the northern foot of the Musta-Tunturi ridge (A), slip surface with a crushing zone (shown by an arrow) and colluvium at the base (B), crushing and fallout of large blocks on the sides of the ledges (C, D). For the legend to fig. A, see fig. 2 B.

Изучение перемещения береговой линии моря в районе исследований показало, что после освобождения этой территории ото льда линия моря находилась выше высотной отметки 83.5 м относительно современного уровня моря (Толстобров и др., 2023). Однако в заложении рва мы не обнаружили следов активного воздействия экзогенных процессов (абразии или экзарации), которая непременно должна была бы присутствовать вблизи морского берега. Это может свидетельствовать только о том, что разрыв был образован (или обновлен) в позднем голоцене, после выхода скального выступа из моря.

На участке северного подножия хребта Муста-Тунтури преобладают разрывные нарушения двух направлений: $50\text{--}60^\circ$ и реже, $315\text{--}320^\circ$. Тектоническим индикаторами разломных зон являются плоскости скольжения, указывающие на сбросовые и сбросо-сдвиговые смещения в зонах разломов (рис. 3 А, Б). В рельефе это узкие ущелья, ложбины и уступы. В бортах уступов наблюдаются следы активного подновления в виде раздробленности и расщепления склонов, вывалов и отколов блоков с образованием ниш в бортах (рис. 3 В, Г). Нарушения более мелких порядков – трещины, шириной 10–15 см и протяженностью до нескольких десятков см, сопровождают сейсморвы и нарушают отдельные выходы кристаллических пород.

Вторичные сейсмодислокации. Основная роль принадлежит сейсмогравитационной и сейсмовибрационной тектонике, развитой в районе исследования. Зоны интенсивного дробления пород, выколы и скальные обвалы, представляют собой вторичную группу нарушений (рис. 4 А–Д). Расколы краевых бортов уступов, однонаправленные вывалы скальных пород, массовые смещения блоков и трещины сопровождают зоны разрывных нарушений СВ простирания ($40\text{--}50^\circ$) у северного подножия хребта Муста-Тунтури. В бортах уступов и на прилежащих к ним вершинных поверхностях, более чем в 20 пунктах обследованы отколотые, отодвинутые, отброшенные от исходного по-



Рис. 4. Примеры сейсмогравитационных дислокаций: расколы краевых частей уступов (А), выколы блоков, смещенные по горизонтали на расстояние более чем 40 см (Б), скальные обвалы с двумя генерациями обломков (I и II) (В), трещины встряхивания (Г), разброс остроугольных глыб на скальных поверхностях (Д).

Fig. 4. Examples of seismic-gravitational dislocations: splits of the edges of ledges (A), splits of blocks displaced horizontally by a distance of more than 40 cm (B), rock falls with two generations of fragments (I and II) (C), shaking cracks (D), scattering of acute-angled blocks on rocky surfaces (E).

ложения в материнском субстрате глыбы и блоки, средние величины которых достигают 1.1–2.5 м. Основное смещение глыб отражает южный (170°) и юго-восточной импульсы (110°). Смещения и отрыв отдельных блоков от основного массива по горизонтальной поверхности (выколы), зафиксированы на расстояния до 0.4–2.2 м и в районе губы Кутовой (рис. 4 Б).

Скальные обвалы развиты незначительно. Они сосредоточены в зонах пересечения разрывных нарушений и/или в основании уступов. В одном из таких обвалов присутствуют несколько генераций обломков, свидетельствующих об их разновозрастности и неоднократном подновлении разломных зон (рис. 4 В). На остроугольных и раковистых сколах глыб в последней генерации обвалов отсутствуют следы выветривания и лишайники, что определенно указывает на их послеледниковое образование.

Еще один характерный элемент рельефа участка, наблюдаемый на побережье губы Кутовой – скопления глыбового материала, развитого отдельными полями на скальных поверхностях, вдали от зоны приливной деятельности (на расстоянии 0.8–1.5 км) (рис. 4 Д). Разброс (рассеяние)

таких глыб и блоков, их крупный размер (до 2–3 м) и сохранность острых граней ставит под сомнение участие приоритетной роли ледникового или ледового разноса. Не исключено, что их образование связано с раздроблением и/или первично коллювиальном или вибрационном отчленении от скального массива и переносе материала (транзите) от недалеко расположенного источника (уступа, зоны дробления).

Для обвалов, скальных оползней, выколов и вывалов характерны следующие признаки: 1) формирование их в прочных породах (плагиогранитах и гранито-гнейсах), для которых оползнеобразование не типично (т. е. в условиях отсутствия других реальных факторов, способных вызвать смещение); 2) в отдельных случаях большие горизонтальные смещения блоков или обвальных тел относительно зон отрыва (т. е. аномально большое расстояние между ними); 3) формирование оползневых ниш в бортах уступов, а также ниш шарнирного типа; 4) тесная пространственная связь с сейсмогенерирующим разломом. В целом же, сейсмогравитационные образования перемещаются на гораздо большее расстояние, имеют иную динамику, а часто и направление смещения, чем обычные склоновые гравитационные явления. Их динамика и дальность распространения определяются, прежде всего, объемом и энергией явления. То есть, обследованные группы нарушений обладают явными признаками сейсмогенности. Они отличаются от таковых, образованных в результате морозного выветривания или абразии, характеризуются признаками импульсного, преимущественно, латерального и, местами, вертикального смещения и выброса из раздробленных частей скального массива, расположены в зоне динамического влияния крупной разломной структуры Карпинского.

Интенсивность и возраст. Выявленные нарушения рельефа, типичные для эпицентральных областей землетрясений, согласно сейсмическим шкалам, отвечают сотрясениям в VII–VIII баллов (Michetti et al., 2007). Ареалы дислокаций связаны с несколькими сейсмическими событиями, происходившими неоднократно в период дегляциации и после исчезновения последнего Валдайского ледника. Региональный тренд поднятия суши и выхода ее из-под уровня моря до и после снятия ледниковой нагрузки (с кратковременными относительно опусканиями в результате трансгрессий, в частности трансгрессии Тапес) в районе хребта Муста-Тунтури – полуострова Средний (Толстобров и др., 2023), определяет отсутствие следов абразии на вышележащих уровнях в течение практически всего времени после раскрытия обследованных нарушений (трещин, рвов). Изменения уровня моря здесь реконструируются по выходу суши в субэвральный режим, отчленению водоемов от моря, датированию переходных зон в донных осадках озер от морских к пресноводным (и наоборот), и определению возраста соответствующих отложений.

О послеледниковом, голоценовом возрасте событий косвенно могут свидетельствовать вышедшие после отступления моря на поверхность уступы и трещины, не несущие следов ледникового воздействия, свежие обвалы. Кроме того, для уточнения возраста дислокаций мы привлекли данные по изучению донных осадков в озерных котловинах, расположенных в основании обследованных тектонических зон (см. подробнее в Толстобров и др., 2023; Николаева, Толстобров, 2023). Обнаруженные нарушения в поднятых кернах свидетельствуют о резком изменении гидродинамики водоема, характерном для цунамилов, образованных в результате сейсмических событий. Аналогичные явления в донных осадках озер были выявлены и на других участках Баренцево-морского побережья, в частности на островах Баренцева моря в Норвегии (Romundset et al., 2013). Время образования нарушений предполагаемых сейсмогенных слоев по данным радиоуглеродного анализа (^{14}C) относится к трем возрастным интервалам: 12.1–11.4 тыс. л. н., 11.4–10.9 тыс. л. н. и 9.1–8.9 тыс. л. н. (календарных).

Заключение

Обобщение полученных результатов предварительных палеосейсмогеологических исследований свидетельствует, что зона разлома в СЗ секторе Мурманского побережья в была активна как в позднеледниковье, так и в голоцене. Перешеек между полуостровом Средний и северным подножием хребта Муста-Тунтури сформирован в пределах разрывной зоны, подвергавшейся неоднократной реактивации в этот период. Этот же период сопровождался и повышенной сейсмиче-

ской активностью. На это указывают закартированные ареалы сейсмодислокаций и предполагаемые сеймонарушения в донных осадках озер. Можно предполагать, что в зоне перешейка располагались очаги землетрясений, с местной сейсмической интенсивностью событий VII–VIII баллов, пространственно и генетически связанные с подвижками по разлому Карпинского. Смещения имели преимущественно сбросовый, реже сбросо-сдвиговый характер. Генеральную СЗЗ ориентировку разлома Карпинского вероятно осложняли системы нарушений СВ и СЗ простираций.

Полученные данные могут использоваться для разработки научно-методических основ для оценки рисков возникновения катастрофических процессов, а также сейсмической опасности в слабосейсмичных регионах.

Благодарности

Мы благодарим за помощь в проведении палеосейсмогеологических работ Д. С. Толстоброва (ГИ КНЦ РАН, Апатиты) и А. Н. Королеву (ОИФЗ РАН, Москва).

Работа выполнена в рамках госзадания по теме НИР ГИ КНЦ РАН г. Апатиты, FMEZ-2024-0007.

Литература

1. Авенариус И. Г., Белозеров С. Н. Морфоструктурный план и древние береговые линии Дальнезelenецкого района Мурманского побережья // Геоморфология. 2000. № 3. С. 35–41.
2. Балув А. С., Морозов Ю. А., Терехов Е. Н. и др. Тектоника области сочленения Восточно-Европейского кратона и Западно-Арктической платформы // Геотектоника. 2016. № 5. С. 3–35.
3. Верзилин Н. Н., Бобков А. А., Кулькова М. А., Нестеров Е. М., Нестерова Л. А., Мадянова Н. П. О возрасте и образовании современного расчлененного рельефа севера Кольского полуострова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология. География. 2013. Т. 2. С. 79–93.
4. Годзиковская А. А., Асминг В. Э., Виноградов Ю. А. Ретроспективный анализ первичных материалов о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XXI веке. М.: Ваш полиграфический партнер. 2010. 130 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта четвертичных отложений. Новая серия. Масштаб 1: 1 000 000. Лист R-35(37) Мурманск. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
6. Карпинский А. П. Очерки геологического прошлого Европейской России. М.-Л. Изд-во: АН СССР, 1947.
7. Лукашов А. А., Романенко Ф. А. Характер и морфодинамика дизъюнктивного северо-восточного ограничения Балтийского щита («линии Карпинского») // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя. Материалы XLIII Тектонического совещания. Т. 1. М. Изд-во: ГЕОС, 2010. С. 430–434.
8. Митрофанов Ф. П. (ред). Геологическая карта Кольского региона. Масштаб 1:1000000 Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 1 л.
9. Николаева С. Б., Толстобров Д. С. Следы древних землетрясений и палеоцунами на Баренцевоморском побережье Кольского полуострова (на примере района хребта Муста-Тунтури) и их значимость при палеосейсмических реконструкциях // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: материалы XXIII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции (Воронеж, 2–6 октября, 2023 г.) / ред. Л. И. Надежка, М. А. Ефременко, И. Н. Сафронич. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. С. 150–154.
10. Никонов А. А., Зыков Д. С. О признаках мощных землетрясений в восточном секторе Мурманской зоны (линия Карпинского) // Труды XIV Ферсмановской научной сессии. Апатиты. 2017. С. 143–48.
11. Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н., Шихирина К. А. Предварительные данные об изменении уровня Баренцева моря в районе хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. № 20. С. 211–217 <https://doi.org/10.31241/FNS.2023.20.026>.
12. Шенкман Е. Я. Геодинамическая карта Кольского полуострова. М-б 1:500000. Мингео СССР. НПО «Аэрогеология». МОМКАГЭ. 1991. 7 л.
13. Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Y., M. Y. r J.J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, Northwestern Russia // Global and Planet. Change. 2001. V. 31. P. 155.
14. McCalpin J. P. Paleoseismology // International Geophysics. 2009. V. 95. 802 p. Elsevier. ISSN 0074-6142. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(09\)95001-X](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(09)95001-X).

15. Michetti A. M., Esposito E., Guerrieri L., Porfi do S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpinar A., Mc Calpin J., Mohammadioun B., Mörrner N.A., Ota Y., Roghozin E. Intensity scale ESI 2007 // *Memore Descrittive della Carta Geologica d'Italia* / Eds. L. Guerrieri, E. Vittori. Rome, Italy: Servizio Geologicod'Italia. Dipartimento Difesa del Suolo. APAT. 2007. V. 74.
16. Munier R.; Adams J.; Brandes C.; Brooks G.; Dehls J.; Gibbons S. J.; Hjartardóttir Á. R.; HogaasF.; Johansen T. A.; Kvaerna T.; Mattila J.; Mikko H.; Müller K.; Nikolaeva S.; Ojala A.; Olesen O.; Olsen L.; Palmu J-P; Ruskeeniemä T.; Ruud B. O.; Sandersen P.; Shvarev S.; Smith C. A.; Steffen H.; Steffen R.; Sutinen R.; Tassis G. 2020: International database of Glacially Induced Faults. PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.922705>.
17. Kolka V., Tolstobrov D., Corner G. D., Korsakova O., Tolstobrova A., Vashkov A. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change on the Barents Sea coast at Teriberka, Kola Peninsula, northwestern Russia // *The Holocene*. 2023. V. 33(9). P. 1060–1072. <https://doi.org/10.1177/09596836231176489>.
18. Nikolaeva S. B. Disastrous earthquakes in the vicinities of the town of Murmansk: Paleoseismological and geological evidence // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2008. V. 2 (3). P. 189–198. <https://doi.org/10.1134/S0742046308030068>.
19. 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: Steffen H., Olesen O., Sutinen R. Publisher: Cambridge University Press. 2021. P. 246–260. <https://doi.org/10.1017/9781108779906.018>.
20. Romundset A., Bondevik S. Propagation of the Storegga tsunami into ice-free lakes along the southern shores of the Barents Sea // *Journal of Quaternary Science*. 2011. V. 26. No 5. P. 457–462.