

Гляцио- и сейсмотектонические структуры на восточной окраине Фенноскандинавского щита: проблемы типизации и критерии выделения

Николаева С.Б., Вашков А.А.

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, nikolaeva@geoksc.apatity.ru; a.vashkov@ksc.ru

Аннотация. Рассматриваются гляцигенные и сейсмогенные структуры осадочного чехла восточной части Фенноскандинавского щита. Приводятся основные характеристики, типы и критерии отличия сейсмиков от гляциоструктур, наиболее часто встречающихся в позднечетвертичных отложениях Кольского региона и Карелии. Проведенные исследования могут быть использованы при палеогеографических реконструкциях и как дополнение к разработкам по классификации структур сейсмогенного генезиса, возникающих на территориях с невысоким уровнем современной сейсмичности.

Ключевые слова: гляциодислокации, сейсмодетформации, землетрясения, оледенения, Кольский регион, Карелия.

Glacio- and seismotectonic structures on the eastern margin of the Fennoscandian Shield: problems of typification and selection criteria

Nikolaeva S.B., Vashkov A.A.

Geological Institute of the Kola Science Centre RAS, Apatity, nikolaeva@geoksc.apatity.ru; a.vashkov@ksc.ru

Abstract. Glacigenic and seismogenic structures of the sedimentary cover of the eastern part of the Fennoscandian Shield are considered. The main characteristics, types and criteria for distinguishing seismites from glaciostructures, which are most common in the Late Quaternary deposits of the Kola region and Karelia, are given. The present studies can be used in palaeogeographic reconstructions and supplement the developments on the classification of seismogenic structures that occur in areas with low and moderate seismicity.

Keywords: glacioidislocations, seismically-induced deformations, earthquakes, glaciers, Kola region, Karelia.

Введение

В последнее время взгляды на тектонику Балтийского (Фенноскандинавского) щита, претерпели ряд существенных изменений. Господствующее представление о спокойном и плавном развитии природной обстановки изменилось на концепцию чередования периодов с разной тектонической активностью. В зонах крупнейших разломов устанавливаются признаки более высокой подвижности коры на плитных, в том числе новейших, стадиях развития, а инструментально регистрируемые землетрясения не всегда способны отражать реальную сейсмическую опасность (Юдахин и др., 2003; Лукашов, 2004; Никонов, 2013; Колодяжный и др., 2021). Кроме того, появившиеся новые данные о следах древних землетрясений, обобщенных в монографии Steffen et al. (2021), свидетельствуют о разрушительных, высокомагнитудных ($I \geq VIII-IX$, $M = 7.0 \pm 0.5$) событиях, происходивших в пределах всей Фенноскандии на протяжении последних 10–13 тыс. лет. В связи с этим, большая группа исследователей стала выделять в осадочном чехле Балтийского щита, а также в ряде районов Восточно-Европейской платформы множество нарушений и интерпретировать их как деформации сейсмогенного генезиса (сейсмиды) (Николаева, 2016; Poleshchuk et al., 2018; Колодяжный и др., 2021; Шварев, 2021 и др.). Помимо генезиса деформаций, активно обсуждаемыми являются вопросы классификации сейсмиков, определения местоположения очагов землетрясений и интенсивности событий, возрастных привязок и стадийности проявления сейсмогенных образований. Однако любая оценка нарушений в рыхлых осадках должна учитывать множество альтернативных механизмов их инициирования. Особенно это касается областей, неоднократно подвергавшихся оледенениям, где широко развиты деформации, образованные ледниковым воздействием на осадочный чехол.

В представленном сообщении внимание будет сконцентрировано только на одном аспекте: проблеме типизации и критериях отличия сейсмиков от гляциоструктур в позднечетвертичных отложениях восточной Фенноскандии. На основе изучения строения и состава рыхлых отложений региона и собственных многолетних наблюдений авторов, альтернативного рассмотрения различных нарушений в нормальном залегании осадков, а также анализа современной литературы, предлагается типизация и набор признаков, характерных для гляциодислокаций и сейсмодеформаций, наиболее часто встречающихся в осадочном чехле восточной Фенноскандии (Кольском регионе и Карелии).

Гляциогенные дислокации

Гляциодислокациями называют комплекс нарушений в залегании горных пород и осадков различного генезиса, вызванных ледниковым воздействием (Гляциологический..., 1984; Астахов, 2008). При активном движении ледника возникают гляциодинамические дислокации. Дислокации, обусловленные неравномерным давлением льда на подстилающие породы, носят название гляциостатических. В отдельную группу выделяют деформации, связанные с вытаиванием мертвого льда и гляциокарстовые структуры. При пассивном воздействии ледникового покрова на рыхлые породы могут образовываться гляциодайки и гляциодиапиры. При вытаивании захоронённых в процессе формирования осадков линз мёртвого льда, в рыхлых отложениях происходит образование сбросовых нарушений (Benn, Evans, 2010).

Опыт изучения гляциодислокаций в восточной Фенноскандии показал, что наиболее часто гляциодинамические дислокации (иногда с сочетанием структур разных типов) встречаются в краевых ледниковых образованиях (Kolka et al, 2008; Евзеров, 2015, Вашков и др., 2019; Вашков, Носова, 2021). Гляциостатические дислокации распространены преимущественно между краевыми образованиями и проявляются на участках распространения алеврито-глинистых озерно-ледниковых осадков. Дислокации, связанные с вытаиванием мертвого льда приурочены обычно к флювиогляциальным аккумуляциям камов и озов (Ильин, Лак, 1972; Kolka et al, 2008; Носова, Вашков, 2021).

В качестве примера можно привести динамические и статические дислокации, нарушающие флювиогляциальные песчано-галечные отложения, вскрытые карьером у подножия юго-восточного склона Хибин (Korsakova et al., 2005). Гляциодинамические дислокации, развитые в центральной части карьера, представлены системой чешуйчатых надвигов, с падением плоскостей на СВ, а также песчаным диапиром, рассланцованным и нарушенным в верхней части. Образование диапира связывается с механической неустойчивостью пород за счет инверсии плотности и вязкости. Подморенные сбросы падают по азимуту 220–240° под углом 50–45°, протяженностью 6–10 м с амплитудами смещения от 0.1 до 0.5 м, нарушают отложения в западной части карьера. Гляциодинамические дислокации флювиогляциальных и лимногляциальных отложений с дизъюнктивными нарушениями установлены также у подножий склонов Ловозерских и Панских Тундр (Вашков и др., 2021). В то же время наиболее типичными дислокациями краевых зон являются гляциоскладки различной кинематики. Преобладают ассиметричные наклоненные и реже лежащие складки, с высотой крыльев до 4–6 м, которые выражаются в современном рельефе в виде гряд или овальных в плане холмов. В ядре складок нередко залегают выдавленные подморенные песчаные и песчано-галечные отложения (Евзеров и др., 1993; Вашков и др., 2021).

Сейсмогенные деформации (сейсмиды)

Термин «сейсмиды» объединяет различные деформации, возникающие в результате разжижения грунтов и сопровождающих его явлений в результате подъема различных флюидов (воды, газов, песчаных и грязевых масс и т. п.) под влиянием сейсмических волн и вибрации (Seilacher, 1969). В рыхлых отложениях они проявляются в виде каналов, обеспечивающих подъем грязевых масс к поверхности, структурами выдавливания и перемешивания слоев, перешедших во время землетрясения в жидкое состояние, а также в результате воздействия последних на более плотные, неразжиженные отложения. Критериям выделения сейсмоструктур в осадочном чехле сейсмоактивных регионов посвящена обширная литература (Obermeier et al., 2005; Owen, Moretti, 2011; Moretti, van Loon, 2014 и др.). Однако специфика сейсмических воздействий и их следствий не одинаковы в раз-

ных геолого-тектонических обстановках и зависят от самого землетрясения (характера волнового поля, глубины очага и его механизма, интенсивности), а также условий среды (равнинные пространства, горные местности, подводные условия и пр.).

В Карело-Кольском регионе сейсмичность выявлена, частично охарактеризована и датирована в разных геолого-тектонических обстановках (Зыков, 1997; Лукашов, 2004; Николаева, 2009; 2016). Разрезы с сейсмитами изучены почти вдоль всего Мурманского побережья (долины рек Печенга, Ура, Сайда и Кола) и тяготеют к береговой полосе шириной до 5–10 км, или, иначе, к резкому перегибу от денудационной равнины к обращенному в море береговому уступу высотой в десятки метров (даже без подводной части), т.е. к разлому Карпинского. В центральной части Кольского региона в районе Имандровской неотектонической впадины и сопряженного с ней сейсмоактивного узла – Хибинского горного массива, выявлены сейсмогенные деформации в разных генетических типах четвертичных отложений. Циклическое проявление сейсмичности, представленных 3 горизонтами складчатых деформаций, залегающих между ненарушенных отложений, задокументировано для позднеледниковых озерных ленточных суглинков и супесей, вскрытых карьером Коашва в юго-восточной части Хибин (Николаева, 2016). Наиболее выразительны в отношении насыщенности следами сейсмических сотрясений – песчано-супесчаные отложения западного побережья Имандры, где в разрезах наблюдается сочетание пластических (пликативных) деформаций с разрывными (хрупкими) (Николаева, 2021). На побережьях Белого моря в позднплейстоценовых отложениях развиты многочисленные разрывы со смещениями и складки, а также мощные горизонты разжижения (более 0.5 м), интерпретируемые как следы сильных сейсмических событий в одной из наиболее активных сейсмогенных зон (Шварев, 2021). Определяемый к настоящему времени возраст сейсмичности в основном охватывает периоды позднего плейстоцена и голоцена, причем устанавливается, что в раннем голоцене сейсмическая активность была выше, по сравнению с поздним и средним голоценом (Николаева, 2016; 2021; Шварев, 2021; Steffen et al., 2021).

Основные типы и критерии отличия гляциодислокаций от сейсмогенных деформаций приведены в таблице 1.

Обобщение полученных результатов позволяет выделить в позднчетвертичных осадках региона 3 основных типа сейсмичности, объединяющих 15 подтипов (табл. 1). Наиболее часто встречаются переходные формы и парагенезисы, образующие комплексы сейсмонарушений. С точки зрения авторов, гляциодислокации более масштабны, как по размеру структур, достигающих несколько метров – первых десятков метров, так и по площади проявления. Зачастую такие дислокации группируются на определенной площади, где они прямо выражены в современном рельефе в виде аккумулятивных гряд и холмов. Встречающиеся типы сейсмодифформаций, задокументированных к настоящему времени в регионе, характеризуются значительно меньшими размерами (как правило, циклично проявляющиеся сейсмогенные горизонты имеют мощности 10–30 см и намного реже 0.5–1 м). Возникновение этих структур часто встречается в сейсмоактивных зонах и узлах, сопряженных с разломными зонами. Ряд деформационных структур имеет явные признаки проявления вертикально направленных гидравлических сил.

Помимо приведенных в таблице критериев и отличий одних структур от других следует отметить и возможность встречаемости их совместно, что существенно затрудняет идентификацию и определение генезиса деформаций. Такие условия могут наблюдаться, прежде всего, в линейно ориентированных вдоль разломов систем озовых гряд и камовых плато (Benn, Evans, 2010; Шварев, 2019). Здесь одновременно могут наблюдаться и дизъюнктивные деформации, связанные с вытравливанием мертвого льда, и нарушения, связанные со смещением рыхлых отложений в результате сейсмических событий. В подобных случаях необходим тщательный анализ кинематики и направления ориентировки нарушений, а также анализ современного рельефа озовых и камовых аккумуляций.

Следует отметить, что приведенные данные не претендуют на полный обхват всей проблемы, по многим видам этих нарушений существует специальная, часто дискуссионная литература и следует признать, что в настоящее время архив наблюдаемых сейсмичности далеко не полный и недостаточно изучен.

Таблица 1. Основные характеристики сейсмогенных деформаций и гляциодислокаций в позднечетвертичных отложениях Карело-Кольского региона.

Table 1. Main characteristics of seismically-induced deformations and glaciодислокаций in Late Quaternary deposits of the Karelian-Kola region.

Основные характеристики осадков	Генезис структур	
	Сейсмогенный	Гляцигенный
Генетические типы отложений, затронутые разными структурами	Озерные, морские, аллювиальные, ледниково-морские, озерно-ледниковые, осадки флювиогляциальных дельт (преимущественно в дистальной части).	Все отложения ледникового парагенетического ряда, иногда с участием морских, озерных, аллювиальных отложений.
Литология	Алевриты, ленточные глины, гиттия, ил, пески (тонко- и мелкозернистые до алевритистых), реже гравийно-песчаные отложения.	Диамиктоны различного состава (морены) – от галечно-гравийных до супесчано-суглинистых разностей, гравийно-песчано-галечные осадки, пески разной зернистости, алевриты, глины.
Основные типы и подтипы текстур и структур	<p><i>Тип I. Пластические</i></p> <p>(1) конволютные; (2) отпечатки нагрузки; (3) структуры «пламя»; (4) текстуры удаления воды (столбчатые и блюдцеобразные), размерами до 1–1.5 см; (5) пластические интрузии (песчаные вулканчики); (6) псевдонодули; (7) потеря первичной седиментационной слоистости и «размытость» рисунка разреза в результате ликвифакции; (8) складки и флексуры, оползневые структуры.</p> <p><i>Тип II. Хрупко-пластические</i></p> <p>(1) структуры разломно-градационной слоистости (внутрислоевые мелкие трещины со ступенчатыми смещениями); (2) песчаные дайки, мощностью от 3–4 мм до 20 см (реже до 1 м), протяженностью первые м (редко первые десятки м); (3) текстуры брекчирования и будинажа с плавающими фрагментами деформированного слоя; (4) провалы.</p> <p><i>Тип III. Хрупкие</i></p> <p>(1) трещины в песках (деформации растяжения) и разрывы разной кинематики (сбросы, взбросы, сдвиги) с амплитудами смещения слоев от первых см до первых м; (2) клиновидные структуры (обычно с заполнением); (3) перекосы отложений.</p>	<p><i>Тип I. Пластические</i></p> <p>Складки изгиба, течения, нагнетания (в том числе диапировые формы), колчановидные и очковые складки, складчато-чешуйчато-надвиговые комплексы. Распространены антиформы, синформы, флексуры и их сочетание. Масштаб складок – от первых см при деформациях пород ледникового ложа до нескольких метров (реже до нескольких десятков метров) в краевых зонах.</p> <p><i>Тип II. Хрупко-пластические</i></p> <p>Чешуйчатые надвиги с плоскостями скольжения длиной до нескольких метров (реже – до нескольких десятков метров), сдвиги со срывом вершин складок, сланцеватая текстура основных и напорных морен, кливажирование и будинаж отдельных элементов гляциоскладок.</p> <p><i>Тип III. Хрупкие</i></p> <p>Отторженцы устойчивых к разрушению пород, сбросы, ступенчатые сбросы, грабенноидные формы амплитудой до нескольких метров.</p>
Характер распространения	Линейный, линейно-площадной. Преимущественно в зонах активизированных разрывных нарушений разного порядка, в сейсмоактивных зонах и узлах, вблизи развития палеосейсмодислокаций в скальных породах.	Площадной, реже линейно-площадной. Преимущественно в краевых зонах ледника: моренных грядах, озах, камах и пр. Почти всегда – в подморенных образованиях.

Критерии, выделения структур	(1) сочетание деформаций сжатия и растяжения в одном горизонте; (2) признаки внезапного воздействия высокого порового давления на связный материал; (3) циклическое происхождение структур в одном разрезе; (4) подходящий состав осадков для образования явлений разжижения и флюидизации; (5) залегание деформированного слоя между осадками с ненарушенной слоистостью; (6) несогласованность конволютных и других форм с направлением движения ледника (не всегда); (7) отсутствие приуроченности к определенному типу слоистости; (8) сопряженность с сейсмодислокациями в скальном субстрате, эпицентрными областями современных и исторических землетрясений.	(1) устойчивые азимуты падения осевых плоскостей складок и надвинутых пластин в сторону источника движущегося льда. (2) складчато-надвиговые ансамбли открываются в том направлении, откуда притекал лед. Туда же наклонены плоскости надвигов и слои дислоцированных пакетов. (3) в кинематическом и структурно-геологическом отношении дислокации часто повторяют структуру ледника вблизи его края. (4) образование при горизонтальных (касательных) к земной поверхности напряжений, в условиях местного сжатия или растяжения, причем исключается одновременность этих процессов. (5) простирающиеся плоскости сместителя разрывов обычно субпараллельно склонам форм.
------------------------------	--	---

Выводы

1. В позднечетвертичных осадках восточной части Фенноскандии выделены 3 основных типа сейсмитов, объединяющих 15 подтипов.
2. Установлены основные критерии отличия сейсмогенных деформаций от гляциоструктур.
3. Выявленные группы сейсмогенных деформаций, охватывающие разновозрастные отложения, указывают на повышенную сейсмическую активность щита в позднеледниковое время и в голоцене.

Проведенные исследования могут быть использованы при палеогеографических реконструкциях и как дополнение к разработкам по классификации структур сейсмогенного генезиса, возникающих на территориях с невысоким уровнем современной сейсмичности.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме НИР ГИ КНЦ РАН г. Апатиты, (проект АААА-А19-119100290145-3, FMEZ-2022-0027).

Литература

1. Астахов В.И. Начала четвертичной геологии. Учеб. Пособие. СПб. Изд-во: С.-Петербург. ун-та. 2008. 224 с.
2. Вашков А.А., Носова О.Ю., Колька В.В., Толстобров Д.С., Костромина Н.А., Крикунова А.И., Крошинский В.А. Строеие и морфология ледникового рельефа в бассейне р. Кица (Умбозерская) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 44–48. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.009>.
3. Вашков А.А., Носова О.Ю. Краевые ледниковые образования в районе пос. Умба (юго-запад Кольского полуострова) // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 2. С. 39–51. doi:10.31857/S0435428121020103.
4. Вашков А.А., Носова О.Ю., Толстобров Д.С. Краевые ледниковые образования в бассейне р. Цага (западная часть Кольского полуострова) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 74–78. <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.013>.
5. Гляциологический словарь. Л. Изд-во: Гидрометеиздат. 1984. 527с.
6. Евзеров В.Я. Строеие и формирование внешней полосы одного из поясов краевых образований позднеледниковой ледниковой покровы в Кольском регионе // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2015. № 4. С. 5–12.
7. Евзеров В.Я., Горбунов Е.О., Колька В.В. Краевые ледниковые образования позднего дриаса в северной и центральной частях Кольского полуострова // Четвертичные отложения и новейшая тектоника ледниковых областей Восточной Европы. Апатиты. 1993. С. 26–38.
8. Зыков Д.С. Об активных структурах и вероятных палеосейсмодеформациях в Карелии // Геоморфология. 1997. № 3. С. 58–62.
9. Ильин В.А., Лак Г.Ц. Типы озовых образований в южной Карелии // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука. 1972. С. 24–31.
10. Колодяжный С.Ю., Певзнер М.М., Полещук А.В., Зыков Д.С., Леонов М.Г., Варенцов И.М., Иванов П.В. Признаки сейсмичности и новейшей активности древних разломов в районе Слободского геодинамического узла (запад Восточно-Европейской платформы) // Вулканология и сейсмология. 2021. № 6. С. 43–58.

11. Лукашов А.Д. Геодинамика новейшего времени // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск. Изд-во: Кар НЦ РАН. 2004. С. 150–178.
12. Николаева С.Б. Сейсмичность в позднеплейстоцен-голоценовых осадках северо-запада Кольского региона (северная часть Балтийского щита) // Геология и геофизика. Т. 50. № 7. 2009. С. 830–839.
13. Николаева С.Б. Сейсмически индуцированные структуры в четвертичных отложениях СВ Фенноскандинавского щита: особенности проявления и возрастные привязки // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного университета. Т. 19. № 11. 2016. С. 110–122. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/1-110-122>.
14. Николаева С.Б. Отражение палеосейсмических событий в позднеплейстоцен-голоценовых отложениях террас озера Имандра (Кольский регион) // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 1. С. 86–99. <https://doi.org/10.31857/S0435428121010119>.
15. Никонов А.А. Новый этап познания сейсмичности Восточно-Европейской платформы и её обрамления // ДАН. 2013. Т. 450. № 4. С. 465–469.
16. Носова О.Ю., Вашков А.А. Петрографический состав крупнообломочной фракции тиллов западного сегмента ледникового аккумулятивного комплекса Терских Кейв (юг Кольского полуострова) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 86. С. 11–22. https://doi.org/10.52349/08697892_2021_86_11-22.
17. Шварев С.В. Сейсмогенные деформации позднеплейстоценовых отложений побережий Белого моря // Пути эволюционной географии. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). М. Изд-во: Институт географии РАН. 2021. С. 437–440.
18. Шварев С.В. Постледниковые сейсмогенные деформации озовой гряды в северной части Карельского перешейка // Геоморфология. 2019. № 3. С. 19–35. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019319-35>.
19. Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург. Изд-во: УрО РАН. 2003. 299 с.
20. Benn D.I., Evans D.J.A. *Glaciers and Glaciation*. Second Edition. London: Hodder Education. 2010. 816 p. doi: 10.4324/9780203785010.
21. Kolka V., Korsakova O., Nikolaeva S., Yevzerov V. The Late Pleistocene interglacial, late glacial landforms and Holocene neotectonics of the Kola Peninsula. ICG excursion № 34. August 14–23, 2008. Apatity. 2008. 72 p.
22. Korsakova O., Hättestrand C., Kolka V. Locality 6. Late Glacial landforms on Southern Khibiny Mountains and Prikhibinskaja plane. In: *Quaternary Geology and Landforming processes. Proceedings of the International Field Symposium, Kola Peninsula, NW Russia, September 4-9. 2005*. P. 47–61.
23. Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites // *Sedimentology*. 1969. V. 13. P. 155–159.
24. Steffen H., Olesen O., Sutinen R. (Eds). *Glacially-Triggered Faulting*. Cambridge University Press. 2021. 350 p. <https://doi.org/10.1017/9781108779906>.
25. Obermeier S.F., Olson S.M., Green R.A. Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking // *Engineering Geology*. 2005. V. 76. P. 209–234.
26. Owen G., Moretti M. Identifying triggers for liquefaction-induced soft-sediment deformation in sands. *Sedimentary Geology* 235. 2011. P. 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.10.003>.
27. Moretti M., van Loon A.J. Restrictions to the application of ‘diagnostic’ criteria for recognizing ancient seismites. *Journal of Palaeogeography* 3(2). 2014. P. 162–173. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1261.2014.00050>.
28. Poleshchuk A., Zykov D. and Shvarev S. Some features of deformation structures in an esker on the southern margin of the Fennoscandian shield // *Bulletin of the Geological Society of Finland*. V. 90. 2018. P. 291–300. <https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.01>.